

Coletânea Brasileira



de Engenharia Produção 2

1ª edição
2018

STELLATA EDITORA

Vinicius de Carvalho Paes
Organizador

Coletânea Brasileira de Engenharia de Produção 2

STELLATA EDITORA
ITAJUBÁ - BRASIL
2018

© 2018 – Stellata Editora

stellata.com.br

✉ publicacao@stellata.com.br

Editor Chefe e Organizador: Vinicius de Carvalho Paes

Arte e Capa: Thaise Ribeiro Luz

Revisão: Respectivos autores dos artigos

Conselho Editorial

Prof. Dr. Pedro José Papandréa

Prof. Dr. João Ederson Corrêa

Prof. Me. Alexandre Fonseca Torres

Prof. Me. Juliana Helena Daroz Gaudencio

C694

Coletânea brasileira de engenharia de
produção 2 / Organizador Vinicius de Carvalho
Paes. - Itajubá (MG) : Stellata Editora, 2018.
248p. : il.

Formato: PDF

ISBN 978-85-94105-03-5

Inclui bibliografia

1. Engenharia de produção . 2. Gestão da
produção. 3. Administração da produção. I.
Paes, Vinicius de Carvalho. II. Título.

CDD: 620

O **conteúdo** dos artigos científicos incluídos nesta publicação são de **responsabilidade** exclusiva dos
seus respectivos **autores**.

Apresentação

O curso Engenharia de Produção cresceu de forma expressiva nos últimos anos no Brasil. O volume total de cursos disponíveis em instituições de ensino superior públicas e privadas equivale a aproximadamente 17% de todos os cursos de Engenharia no Brasil. Desta forma, temos também o interesse pela pesquisa científica, direcionada pelo volume de profissionais na área.

A **Coletânea Brasileira de Engenharia de Produção 2** reúne artigos científicos aceitos em eventos de Engenharia de Produção e Gestão e/ou revisados por pesquisadores da área; e que apresentam considerações pertinentes sobre os temas abordados. Esta obra tem por objetivo garantir visibilidade destes conteúdos científicos por meio de um canal de comunicação preferível de muitos leitores.

Este ebook conta com 14 trabalhos científicos de diferentes áreas da Engenharia de Produção e Gestão, contabilizando contribuições de 39 autores. Diversas metodologias de pesquisa aplicada poderão ser encontradas nesta coletânea, assim como uma variedade de objetos de estudo.

Sumário

Capítulo 1

ANÁLISE DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE UMA DISCIPLINA DE ENGENHARIA FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Camila Pereira Pinto, Anna Paula Galvao Scheidegger, Juliana Helena Daroz Gaudêncio e Joao Batista Turrionip.6

Capítulo 2

ANÁLISE MULTIVARIADA EM UM PROCESSO DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA EM CHAPAS DE AÇO GALVANIZADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Paulo Roberto Maiap.21

Capítulo 3

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA ATENDIMENTO DE DEMANDA E OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS EM UMA EMPRESA DE AUTOPEÇAS

Diego Jean de Melo, Rodrigo Reis Leite, Laila Alves da Silva, Kaique Osorio Alves Neto Silva e Jose Arnaldo Barra Montevechip.47

Capítulo 4

APLICAÇÃO DE MODELO ARIMA NA DEMANDA TURÍSTICA INTERNACIONAL DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL, BRASIL

Bruno Matos Porto, Vanessa Aline Wagner Leite e Daniela Althoff Philippip.66

Capítulo 5

INVESTIGANDO A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO AGREGADOS NA MATÉRIA PRIMA PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Carlos Alberto de Albuquerque, Carlos Henrique Pereira Mello, Vinicius de Carvalho Paes, José Henrique de Freitas Gomes e Daniel Soares de Alcântarap.82

Capítulo 6

ISO 9001: CERTIFICAÇÃO DIANTE IMPACTOS ECONÔMICOS, UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Rodrigo Júlio Cerqueira, Vinicius de Carvalho Paes e João Batista Turrionip.91

Capítulo 7

LEAN MANUFACTURING: REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E APADRONIZAÇÃO DO PROCESSO

Dênis Mateus de Paiva, Pedro José Papandréa, Aline de Cássia Baisso, Cristiane Aparecida Gonçalves das Chagas e Rita Gabriela da Silvap.107

Capítulo 8

OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO COM IDENTIFICAÇÃO DE PESOS ÓTIMOS: APLICAÇÃO EM UM PROCESSO DE TORNEAMENTO DE AÇO ENDURECIDO

Alexandre Fonseca Torres, José Henrique de Freitas Gomes, Paulo Henrique da Silva Campos e Anderson Paulo de Paivap.120

Capítulo 9

OTIMIZAÇÃO ROBUSTA DA DILUIÇÃO E DA LARGURA DO CORDÃO NA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR PARA APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO DO AÇO CARBONO ABNT 1020 COM AÇO INOXIDÁVEL ABNT 316L

José Henrique de Freitas Gomes, Paulo Henrique da Silva Campos, Luiz Gustavo Dias Lopes, Sebastião Carlos da Costa e Anderson Paulo de Paivap.137

Capítulo 10

PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DE UMA DISCIPLINA COM FOCO NO ENSINO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Juliana Helena Daroz Gaudêncio, Camila Pereira Pinto, Anna Paula Galvão Scheidegger e João Batista Turrionip.156

Capítulo 11

PLANEJAMENTO FINANCEIRO, UMA REVISÃO DA LITERATURA

Pedro José Papandrea, Marília Graciela Machado e Vanessa Maria da Silva.....p.173

.

Capítulo 12

PROPOSTA E INTERPRETAÇÃO DE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO ADOTADO EM UMA DISCIPLINA DE ENGENHARIA BASEADA NO ENSINO ATIVO

Anna Paula Galvao Scheidegger, Juliana Helena Daroz Gaudêncio, Camila Pereira Pinto e Joao Batista Turrionip.188

Capítulo 13

SISTEMA DE GESTÃO DA INOVAÇÃO EM PEQUENAS EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA: UM NOVO MODELO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO SISTÊMICO

Estevão Luiz Romão, Adriana Ferreira de Faria, Jaqueline Akemi Suzuki, Anna Laura Teixeira de Almeida e Sarah de Oliveira Teixeira Cardoso.....p.205

Capítulo 14

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETRO ROBUSTO MULTIVARIADO NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO ENDURECIDO ABNT 52100 COM FERRAMENTA DE GEOMETRIA ALISADORA

Paulo Henrique da Silva Campos, João Roberto Ferreira, Anderson Paulo Paiva, Rogério Peruchi, José Henrique de Freitas Gomes e Julian Ignacio López Arcosp.222

Sobre o organizador.....p.243

Sobre os autores.....p.244

Capítulo 1

ANÁLISE DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE UMA DISCIPLINA DE ENGENHARIA FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Camila Pereira Pinto
Anna Paula Galvao Scheidegger
Juliana Helena Daroz Gaudêncio
Joao Batista Turrioni

ANÁLISE DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE UMA DISCIPLINA DE ENGENHARIA FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Camila Pereira Pinto (UNIFEI)

Anna Paula Galvao Scheidegger (UNIFEI)

Juliana Helena Daroz Gaudêncio (UNIFEI)

Joao Batista Turrioni (UNIFEI)

Resumo

O mundo globalizado de hoje exige que os profissionais, em especial, os engenheiros estejam preparados para lidar com um cenário dinâmico e de inúmeros desafios. Com isso, as escolas de engenharia têm sido desafiadas a repensar seu método de ensino, considerado muitas vezes ultrapassado pelos atuais graduandos. Neste cenário, as Universidades vêm buscando adotar metodologias de ensino ativo em sua estrutura curricular, como a Abordagem Baseada em Problemas. Porém, ensinar ativamente por si só já não é uma tarefa simples. Quando se considera as formas de avaliar o conhecimento adquirido através desse método, a atividade se torna ainda mais complexa. Por isso, este trabalho pretende analisar o método de avaliação adotado na condução de uma disciplina fundamentada na abordagem ativa no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Para isso, os pesquisadores adotaram a metodologia de pesquisa-ação, onde atuaram como facilitadores, em conjunto com os demais envolvidos, planejando, implementando e monitorando o método de avaliação adotado. Por fim, foi possível identificar os pontos fortes e fracos do método, bem como propor melhorias para futuras disciplinas.

Palavras-chave: Aprendizagem baseada em problemas, Projeto semestral europeu, Métodos de avaliação, Metodologia ativa, Ensino de engenharia.

1. Introdução

O mundo está passando por um processo de rápidas e profundas transformações. Tais mudanças desafiam as empresas que, para se manterem competitivas, precisam buscar profissionais cada vez mais competentes e completos. Para Macambira (2012) e Masson *et al.* (2012), uma das áreas particularmente afetadas pelo ritmo acelerado das mudanças é a

Engenharia. Como destacado por Dias *et al.* (2012), além dos conhecimentos tradicionalmente adquiridos em sala de aula, os profissionais, em especial os engenheiros, precisam apresentar habilidades e atitudes exigidas pelo mercado.

Além disso, a entrada de uma nova geração, a Geração Y, nas salas de aula e, conseqüentemente, no mercado de trabalho desafiam ainda mais as empresas e universidades. Ribeiro & Mizukami (2005), afirmam que, nesse sentido, a revolução tecnológica vivenciada afeta também o ensino em Engenharia ao promover uma rápida expansão na base de conhecimento e, ao mesmo tempo, uma obsolescência imprevisível do que se aprende nas Universidades.

Assim, é preciso repensar o ensino em Engenharia como um todo, de modo a se adaptar ao novo ambiente e superar metodologias incompatíveis com os desejos dos atuais graduandos e com as necessidades correntes do mercado profissional. Para enfrentar este desafio, metodologias de ensino ativo vêm sendo desenvolvidas e implementadas por diversas Universidades no mundo.

Dias *et al.* (2012) indicam a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), que vem do inglês *Problem Based Learning* (PBL), como uma abordagem pedagógica ativa que tem sido amplamente estudada e aplicada no ensino das ciências médicas. Esse método centra-se no aluno e favorece o desenvolvimento de novas habilidades e atitudes. Porém, Cardoso (2011) ressalta que, apesar da ABP já ser utilizada em áreas como medicina há vários anos, no ensino da engenharia é algo relativamente raro. Por outro lado, recentemente tem sido discutido o *European Project Semester* (EPS) ou, em português, Projeto Semestral Europeu, outro método de ensino ativo, com maior foco no ensino em engenharia.

Porém, apesar dos benefícios para o aprendizado resultante da adoção de metodologias de ensino ativo, avaliar a evolução do conhecimento e se os objetivos de aprendizagem foram alcançados de forma satisfatória dentro desta nova forma de ensinar não é uma tarefa trivial.

Desse modo, considerando a relevância e necessidade de novas práticas de ensino ativo em Engenharia que favoreçam a formação de profissionais capacitados às exigências do mercado, bem como as dificuldades em avaliar a absorção de conhecimento dentro destas novas metodologias, este trabalho visa analisar o método de avaliação adotado na condução de uma disciplina fundamentada na abordagem ABP no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). O objetivo geral se desdobra nos seguintes objetivos específicos: (i) apresentar o método de avaliação adotado na disciplina

fundamentada em ensino ativo; (ii) avaliar os pontos fortes e fracos do método de avaliação utilizado; e, (iii) propor melhorias no método para as futuras execuções da disciplina.

2. Fundamentação Teórica

Atualmente tem se falado muito no termo “globalização” e nos seus efeitos para a sociedade. A cada momento surgem novas empresas, produtos e tecnologias e, desta forma, os engenheiros de hoje devem estar preparados e dispostos a lidar com essas mudanças rápidas e nelas fazer uso de habilidades de comunicação e pró-atividade (CAMPOS *et al.*, 2011). Sendo assim, novas metodologias vêm sendo propostas, desafiando as escolas de engenharia a sair do método tradicional de ensino e a atuar de forma mais ativa, a fim de envolver o aluno em seu próprio processo de aprendizagem e a desenvolver aptidões fundamentais para um profissional de engenharia.

A ABP é uma das metodologias utilizadas para o desenvolvimento da linha ensino-aprendizagem na engenharia. Ribeiro (2008) explica que este método é caracterizado pela aplicação de problemas reais como ferramenta para o desenvolvimento de habilidades para resolução de problemas e assimilação dos conceitos fundamentais sobre a área em questão. Para o ensino superior, a ABP também é um meio eficiente de interagir a teoria com a prática, ou seja, o mundo acadêmico com o mercado de trabalho, através de parcerias com empresas e, assim, proporcionando a evolução de atitudes e posturas profissionais.

Este método foi aplicado inicialmente na Escola de Medicina no final dos anos 1960, no Canadá, em resposta ao descontentamento dos alunos quanto à ausência de aulas práticas que validassem o conhecimento adquirido. Atualmente, essa metodologia de aprendizagem é aplicada em vários países, áreas de conhecimento e níveis educacionais (RIBEIRO, 2008). Na engenharia, a prática da ABP vem sendo bem vista e seus resultados favorecem a formação de profissionais competentes e capacitados para uma atuação imediata no mercado de trabalho. Enemark & Kjaersdam (2009) ressaltam alguns resultados proporcionados pela ABP para seus participantes:

- Maior integração entre a universidade e a empresa;
- Maior integração entre o ensino e a pesquisa;
- Mais soluções interdisciplinares;
- Uso de conceitos atuais;
- Atualização do conhecimento dos professores;

- Incentivo a criatividade e inovação;
- Expansão de habilidades em desenvolvimento de projetos e de comunicação; e,
- Favorecimento de um aprendizado eficaz.

A qualidade profissional e acadêmica da ABP pode ser afirmada através de um bom sistema de avaliação, pois é a avaliação da aprendizagem que vai mensurar o nível de conhecimento absorvido pelo aluno (ENEMARK & KJAERSDAM, 2009). Para a aplicação deste estudo, a avaliação formativa é a que melhor se relaciona e estima a aprendizagem baseada em problemas. Almeida (1997) traz que a avaliação formativa é favorável para o ensino e para a aprendizagem, pois consiste em um tipo de avaliação que ocorre durante todo o processo de ensino, permitindo verificar se a aprendizagem está de fato sucedendo. Ela também identifica as carências da aprendizagem para que modificações e incorporações possam ser feitas no programa, a fim de supri-las. A avaliação formativa fornece os melhores resultados quanto às informações sobre os itens aprendidos quando os testes não resultam em notas.

“A avaliação dita formativa tem, antes de tudo, uma finalidade pedagógica, o que a distingue da avaliação administrativa, cuja finalidade é probatória ou certificativa” (HADJI, 1994). Sua essência é o fato de estar associada à ação de formação, ligada ao ato de ensino e com o objetivo de contribuir na melhoria da aprendizagem em andamento, mantendo o professor informado das condições em que se encontra este processo e atualizando o aluno sobre o seu rumo, êxitos e dificuldades. Esta avaliação abrange funções que desempenham o papel do verdadeiro apoio aos alunos, como estimular a confiança em si próprio; a assistência como um apoio para prosseguir; o *feedback* sobre as etapas vencidas e as dificuldades encontradas e o diálogo para alimentar as informações necessárias (HADJI, 1994).

Uma abordagem interessante, empregada no projeto abordado por este artigo, é a aplicação da avaliação 360 graus ou *feedback* 360 graus como uma forma de resposta bem estruturada ao desempenho do aluno avaliado através da avaliação formativa. Em geral, o termo “360 graus” é aplicado em ambientes empresariais, para medir a avaliação feita por pares de trabalho, superiores, subordinados, clientes e a avaliação do próprio funcionário (REIS, 2010).

Chiavenato (2008) aponta que uma avaliação feita por múltiplas fontes é mais rica por produzir diferentes informações advindas de todos os lados e funciona também para garantir o ajuste e a adaptação das pessoas às várias demandas que ele recebe em seu ambiente de trabalho. É por esta razão que a avaliação 360 graus se adequa a avaliação formativa presente na área acadêmica e principalmente a uma abordagem como a ABP, que incentiva os alunos a desenvolverem suas habilidades diante de situações reais e diversas.

Independente do tipo de avaliação aplicada é evidente a sua importância dentro do ambiente acadêmico tanto para o docente quanto para o aluno. Ela proporciona ao estudante uma revisão e um levantamento de seu desempenho e para o professor, ela resulta em uma orientação para sua metodologia de ensino, de forma a incentivar seu aperfeiçoamento contínuo. Além das formas de avaliação descritas acima, em resumo, os tipos mais comuns encontram-se dispostos na “Tabela 1”.

Tabela 1 – Tipos de avaliação

Tipos de avaliação	Descrição
Autoavaliação	Os avaliados avaliam o seu próprio desempenho, preenchendo formulários que realizam os julgamentos sobre a sua performance no trabalho ou projeto, com base nos parâmetros fornecidos pelo avaliador.
Por pares	Os integrantes da equipe avaliam a equipe como um todo e cada pessoa individualmente, deixando a responsabilidade pelo sucesso do trabalho por conta do grupo.
Tradicional ou Direta	O responsável pela avaliação é o avaliador direto (professor), que assume a função e o compromisso de emitir um parecer sobre o desempenho de todos os seus avaliados.
Feedback	Parecer feito sobre uma pessoa ou grupo na realização de um trabalho ou projeto, com a intenção de avaliar o seu desempenho. Nesta ação são revelados os pontos fortes e as deficiências do trabalho executado tendo em vista seu crescimento pessoal e profissional.

Fonte: Bayot (2011) e Chiavenato (2008)

3. Método de Pesquisa

Como método de pesquisa, optou-se pela adoção da pesquisa-ação, onde os pesquisadores participam ativamente do trabalho, de modo cooperativo ou participativo, em conjunto com os envolvidos. Além disso, na pesquisa-ação os pesquisadores atuam como facilitadores, induzindo mudanças dentro de um grupo, o que está estritamente alinhado com os objetivos dos tutores e professores dentro da ABP.

Para a condução do trabalho, foi adotada a estrutura proposta por Coughlan & Coghlan (2002), conforme etapas abaixo.

a) Coleta de dados: coleta de informações sobre as metodologias de avaliação utilizadas em ensino ativo em trabalhos já publicados nas bases de dados e levantamento das necessidades da empresa parceira e das exigências curriculares da Universidade para planejamento dos métodos de avaliação;

b) Devolução e análise dos dados: discussões entre empresa e Universidade sobre os métodos de avaliação existentes e a proposta de método a ser adotado;

c) Planejamento das ações: planejamento do método de avaliação a ser adotado, detalhando sua estrutura e responsabilidades;

d) Implementação e monitoramento: aplicação e acompanhamento dos métodos de avaliação ao longo do semestre em que a disciplina foi conduzida; e,

e) Avaliação: avaliação dos pontos fracos e fortes percebidos pelos tutores, alunos e professor a respeito do método de avaliação adotado.

4. Desenvolvimento

A disciplina, em questão, que será o objeto de estudo deste presente trabalho foi conduzida no 2º semestre de 2013 para os alunos do 8º período do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) fundamentada na Aprendizagem Baseada em Problemas. A disciplina, nomeada “Projeto Semestral em Engenharia de Produção”, foi conduzida em parceria entre a UNIFEI e uma empresa multinacional do Vale do Paraíba, com o intuito de que os alunos pudessem resolver problemas reais da empresa, ambientando-os ao meio empresarial antes de iniciarem no mercado de trabalho.

Os alunos matriculados foram divididos em quatro grupos de oito alunos cada. Cada grupo foi monitorado por dois tutores, sendo um da empresa e outro da universidade. Os tutores da universidade foram alunos de pós-graduação convidados a ajudar o professor na condução da disciplina, de modo a propiciar um melhor monitoramento dos grupos. Os tutores da empresa, denominados “embaixadores”, eram compostos por funcionários que trabalhavam diretamente nas áreas afetadas pelos problemas propostos e, assim, poderiam repassar todas as informações e contatos necessários para que os alunos pudessem entender o problema.

Formadas as equipes, deu-se início as atividades com quatro visitas pré-agendadas na empresa durante os meses de agosto, setembro, outubro e novembro e encontros semanais, às sextas-feiras, na universidade. Neste momento, iniciou-se também o processo de avaliação dos alunos e da condução da disciplina como um todo.

4.1. Método de avaliação adotado na disciplina

Com base nos métodos de avaliação descritos na Seção 2 deste trabalho, o professor responsável pela disciplina “Projeto Semestral em Engenharia de Produção” propôs que

avaliações periódicas fossem realizadas durante todo o semestre com o intuito de monitorar a participação de cada aluno em seu grupo de trabalho e os conhecimentos por ele adquiridos. Como proposto, os alunos foram avaliados de quatro maneiras diferentes: avaliação por pares (aluno-aluno), avaliação tutor-aluno, avaliação professor-aluno e, por fim, a avaliação embaixador-grupo. Caracterizando, pois, uma avaliação formativa de 360° como é normalmente conhecida nas indústrias. A seguir, os quatro tipos de avaliações estão detalhados:

- Avaliação por pares: cada integrante do grupo avaliou os demais integrantes do mesmo grupo considerando os dezoito critérios listados na “Tabela 2”, com notas de 0-10, sem repetição, ou seja, cada aluno teve que ordenar os seus colegas de equipe do melhor para o pior em todos os critérios. Desta forma, haveria uma nítida diferença das participações dos alunos dentro do grupo e buscava-se evitar possíveis interferências de amizades na avaliação;

- Avaliação tutor-aluno: através de avaliações semanais, os tutores avaliaram a evolução do projeto e o desempenho individual de cada aluno do seu grupo. Os tutores representam o olhar do professor em cada grupo já que este não poderia estar presente nos quatro grupos ao mesmo tempo. As avaliações realizadas pelos tutores foram: 1) a cada reunião semanal com seu grupo, o tutor pontuou cada aluno, com notas de 0-10, sem repetição, com o intuito de diferenciar a participação de cada aluno durante a evolução do projeto, 2) avaliação da pré-apresentação oral de cada um dos grupos realizada na terceira visita à empresa, para os tutores, embaixadores e alguns funcionários das áreas relacionadas ao problema da empresa com o intuito de verificar se os alunos conseguiriam transmitir a ideia geral do trabalho, no dia da apresentação final, para um público diversificado e que não possuía um entendimento sólido do problema exposto. Nesta apresentação prévia cada tutor avaliou os quatro grupos considerando os dezesseis critérios listados na “Tabela 3”, com notas de 1-6, sem repetição, de acordo com a escala: 6 – extremamente favorável, 5 – muito favorável, 4 – favorável, 3 – quase desfavorável, 2 – desfavorável, 1 – extremamente desfavorável;

- Avaliação professor-aluno: avaliações periódicas em que o professor pontuava a presença e participação dos alunos durante os encontros às sextas-feiras, na Universidade, e, também, a evolução do projeto a cada semana com o intuito de medir se os grupos estavam cumprindo as metas estabelecidas pelos embaixadores da empresa;

- Avaliação embaixador-grupo: avaliações mensais durante as visitas pré-agendadas em que o embaixador avaliou a evolução das propostas de solução apresentadas pelo grupo. Durante as visitas, cada grupo se reunia com o seu respectivo embaixador para absorver o

maior número possível de informações a respeito do problema que eles teriam que resolver e, assim, o embaixador conseguia avaliar o quanto o grupo havia evoluído desde a última visita. Os embaixadores também avaliaram, na terceira visita, no mês de outubro, a pré-apresentação dos grupos considerando os mesmos dezesseis critérios avaliados pelos tutores da “Tabela 3”.

Tabela 2 - Critérios de avaliação de competências utilizados na avaliação por pares

Critérios de avaliação	
01	Empatia: Capacidade de se colocar no lugar do outro, enxergando pelos olhos do outro, pelas motivações, interesse e percepções. É perceber sentimentos e emoções no outro e interagir de forma positiva com esses sentimentos e emoções
02	Equilíbrio: Capacidade de manter ponderação e bom senso em situações de imprevistos, adversidade e pressão, comunicando-se de maneira exemplar e conduzindo as ações de forma equilibrada.
03	Comunicação: Capacidade de criar canais de comunicação, recebendo e transmitindo informações de maneira eficaz. Habilidade de influenciar, de convencer. Ter clareza, objetividade e profundidade.
04	Iniciativa: Capacidade de antecipar, decidir e realizar ações de forma empreendedora e responsável, visando suprir e otimizar suas atividades de trabalho.
05	Pró-atividade: Capacidade de se antecipar aos fatos, tendo ações preventivas no sentido de conduzir a equipe a atingir os melhores resultados.
06	Flexibilidade e Inovação: Capacidade de adaptação rápida e situações inesperadas e facilidade de encontrar novas soluções para resolver problemas e adversidade.
07	Planejamento e Organização: Capacidade de organizar e estabelecer ordem de prioridades às tarefas, mesmo diante de situações adversas, e otimizar procedimentos em favor da eficácia em resultados.
08	Tomada de decisão: Capacidade de escolher alternativas adequadas e eficazes para os problemas identificados, comprometendo-se com o resultado, respeitando a hierarquia, visando cumprimento das estratégias organizacional e pautado na missão e valores.
09	Autodesenvolvimento: Capacidade de buscar o seu próprio desenvolvimento profissional.
10	Ética: Capacidade de agir com integridade e justiça, respeitando as pessoas e as normas.
11	Comprometimento: Capacidade de disponibilizar todo o potencial em prol dos objetivos e metas da organização, dando suporte com total dedicação e empenho.
12	Responsabilidade: Capacidade de responder por suas ações, cumprir tarefas, deveres e normas, agir com zelo e ser pontual.
13	Consciência ecológica e Sustentabilidade ambiental: Capacidade de agir de forma consciente, evitando o desperdício, utilizando os recursos de maneira econômica, sendo socialmente justo, buscando aceitação cultural e preservando o meio ambiente.
14	Relacionamento interpessoal: Capacidade de se relacionar de forma construtiva com a equipe, demonstrando consideração e respeito pelos colegas, promovendo a união e integração de todos e se sentindo parte da equipe e compartilhando problemas e soluções.
15	Espírito de equipe: Desenvolver uma relação de complementariedade com os membros da equipe, ser capaz de promover divisões justas de tarefas, ter iniciativa para cooperar, estar comprometido com os objetivos, compartilhar e comemorar metas atingidas e resultados.
16	Foco no cliente: Capacidade de tomar providências rápidas diante de problemas, conflitos, visando o melhor atendimento das necessidades do cliente.
17	Foco em resultados: Capacidade de pautar suas ações no alcance dos resultados esperados pela organização.
18	Orientação pela qualidade: Capacidade de agir buscando a qualidade do serviço prestado e o atendimento ao cliente, visando obter resultados com excelência.

Fonte: Autores

Tabela 3 - Critérios de avaliação da pré-apresentação utilizados pelos tutores e embaixadores

Critérios de avaliação	
01	A exposição foi estruturada de forma clara?
02	O apresentador soube conduzir a sequência entre os tópicos dos slides?
03	A ideia principal do trabalho foi apresentada de forma clara e compreensível?
04	Os exemplos apresentados foram relevantes?
05	Os exemplos apresentados foram interessantes?
06	O ritmo da apresentação foi adequado?
07	O volume de informação contido na apresentação foi adequado?
08	O tom de voz do apresentador foi adequado?
09	Os slides foram eficientemente utilizados?
10	A apresentação foi bem preparada?
11	A apresentação foi interessante e motivadora?
12	O contato visual do apresentador com o público foi correto e adequado?
13	O apresentador conseguiu prender a atenção do público?
14	O apresentador mostrou/resumiu os pontos principais da apresentação?
15	O apresentador demonstrou confiança e conhecimento no assunto apresentado?
16	O tempo gasto na apresentação foi bem gerenciado?

Fonte: Autores

4.2. Análise do método de avaliação adotado na disciplina

Segundo a percepção dos autores deste trabalho, o método de avaliação adotado para a disciplina “Projeto Semestral em Engenharia de Produção” proporcionou uma ampla avaliação do desempenho dos alunos já que estes foram avaliados sob várias perspectivas (integrantes da equipe, professor, tutores e embaixadores). A não repetição de notas foi caracterizada como um ponto positivo já que propiciou uma diferenciação entre os grupos e entre os integrantes de cada grupo e, por menor que fosse essa diferenciação, fez com que os alunos avaliassem com maturidade os seus colegas de equipe através da avaliação por pares, já que tiveram que diferenciar entre o melhor e o pior colega de equipe dentre vários critérios. A avaliação por pares (“Tabela 2”) proporcionou aos autores uma análise interessante dos alunos já que foi uma avaliação feita pelos próprios alunos, isto é, feita pelas pessoas que participavam diretamente do projeto e que estavam em constante contato com os demais integrantes. Um dos pontos a se destacar, foi a combinação de notas entre os integrantes do grupo 4 que fez com que todos os alunos obtivessem a mesma média de notas demonstrando uma certa falta de maturidade do grupo, pois perderam a oportunidade de avaliar corretamente aquele aluno que se destacou dentro do grupo e, também, aquele aluno que não participou

ativamente. Esta combinação de notas foi detectada e, após uma conversa do professor com os integrantes do grupo, estes decidiram refazer a avaliação. Outro ponto a se destacar da avaliação por pares foi que a avaliação obtida por cada um dos alunos representa fielmente a percepção que os tutores tinham do grupo, ou seja, o monitoramento dos tutores fez com que estes obtivessem o mesmo ponto de vista dos alunos que estavam participando ativamente da execução dos projetos.

5. Conclusão

A partir dos detalhes apresentados, pode-se concluir que o método de avaliação adotado na disciplina baseada na ABP mostrou-se adequado, por se tratar de um método completo e contínuo, onde os alunos não tiveram seus conhecimentos testados a partir de uma única prova, isto é, um único momento. No processo avaliativo adotado, os alunos foram avaliados sob diversas óticas e em diferentes momentos, minimizando a possibilidade de realizar erros ou “injustiças” na avaliação, bem como fornecendo oportunidade para evolução dos mesmos. Desse modo, como pontos positivos do processo de avaliação, os autores destacam: realizou-se a avaliação durante todo o processo de ensino, permitindo verificar a evolução do conhecimento adquirido pelos alunos e de sua participação nas atividades; possibilitou identificar, durante o desenvolvimento dos projetos selecionados, lacunas de conhecimento a serem trabalhadas com os alunos; possibilitou um amadurecimento comportamental dos alunos, que aprenderam a receber *feedbacks* e críticas construtivas; manteve o professor constantemente informado das condições em que se encontra o processo de ensino; atualizou o aluno periodicamente sobre o seu rumo na disciplina e no projeto, de modo que eles tivessem tempo hábil para ajustar sua postura diante do aprendizado; reuniu avaliações oriundas de todos os membros, ensinando aos alunos como se adaptar às várias demandas existentes em um ambiente profissional ou de trabalho em equipe. Apesar de ser um método denso, pela quantidade de avaliações realizadas, não foi considerado pelos envolvidos um processo cansativo, pois a periodicidade da avaliação variava de acordo com o papel e responsabilidades desempenhados por cada um dentro da disciplina.

Por outro lado, apesar dos diversos pontos fortes identificados, os autores também acreditam ser importante mencionar os pontos fracos observados, pois eles podem auxiliar no planejamento e melhoria de futuras disciplinas. São eles: o método não avaliou a nova abordagem de ensino em si e, portanto, não identificou dificuldades ou benefícios que os

alunos estavam enxergando na nova metodologia em relação à tradicional; não foi realizada uma avaliação do papel e desempenho dos tutores, embaixadores e do professor pelos alunos, ou seja, sugestões e críticas a respeito do desempenho dos primeiros não foram consideradas; na avaliação por pares foi dada nota de 0 a 10, sem relacionar qualitativamente o significado dessas notas, o que dificultou a diferenciação das notas pelos alunos, em especial por ser obrigatória a não repetição dos números; a avaliação dos embaixadores foi focada apenas na apresentação (qualidade dos slides, forma de apresentar, etc...), deixando de lado a avaliação do conteúdo da apresentação propriamente dito, a qual foi feita apenas de forma informal; as avaliações semanais dos tutores não eram estruturadas e nem padronizadas entre eles; não foi feita uma auto avaliação pelos alunos, isto é, em uma disciplina onde se espera responsabilidade e amadurecimento, seria interessante possibilitar uma avaliação feita por cada indivíduo; e, exigir, no início da disciplina a definição de metas semanais da equipe, para que o professor possa ter um maior embasamento das entregas das equipes. Por último, os autores ressaltam que apesar de ter ocorrido combinação de notas pelos alunos, este ponto não se tratou de uma fraqueza do método de avaliação, mas sim do comportamento dos alunos.

Como melhorias para o método de avaliação, considerando os objetivos da metodologia de ensino ativo, que incluem o desenvolvimento de competências técnicas, comportamentais e gerenciais nos alunos, sugere-se a divisão dos critérios de cada avaliação (por pares, tutor-aluno, embaixador-equipe e professor-aluno) em áreas de competências, que compreendem o conjunto de conhecimentos, habilidades e atitudes (CHA). Além disso, para minimizar as fraquezas identificadas propõe-se: adotar, além da escala quantitativa de nota, uma escala qualitativa em todas as avaliações, como, por exemplo, foi seguido na avaliação realizada pelos embaixadores e tutores (“Tabela 3), onde 1 significava extremamente desfavorável e 6 extremamente favorável; desenvolver um roteiro de perguntas para que os alunos possam fazer uma auto avaliação e questionários para a avaliação do método de ensino e do desempenho dos tutores, embaixadores e professor; e um *checklist* para que os tutores padronizem a avaliação realizada por eles. Por fim, recomenda-se a adoção de ferramentas mais dinâmicas para realização das avaliações, como os questionários eletrônicos que podem ser aplicados através de sites como o Survey Monkey®.

As “Tabela 4” e “Tabela 5” sintetizam o método de avaliação e a composição das notas, avaliador e periodicidade adotados atualmente, bem como a nova estrutura de avaliação proposta para a disciplina a ser realizada no segundo semestre de 2014.

Tabela 4 – Estrutura de avaliação adotada atualmente e proposta para o próximo semestre

	Tipo de avaliação adotado		Forma de avaliar	
	Atual	Proposta	Atual	Proposta
Por pares	X	X	Questionário com escala quantitativa	Questionário com escala quantitativa e qualitativa e dividido de acordo com o CHA
Tutor-aluno	X	X	1. Não estruturado e não padronizado 2. Questionário com escala quantitativa e qualitativa	1. <i>Checklist</i> para padronização 2. Questionário com escala quantitativa e qualitativa e dividido de acordo com o CHA
Professor-aluno	X	X	1. Avaliação de presença e participação 2. Avaliação dos relatórios entregues	1. Avaliação de presença e participação com base nas metas pré-estabelecidas no início do projeto 2. Avaliação dos relatórios entregues
Embaixador-grupo	X	X	1. Não estruturado e não padronizado 2. Questionário com escala quantitativa e qualitativa	1. <i>Checklist</i> para padronização 2. Questionário com escala quantitativa e qualitativa e dividido de acordo com o CHA
Auto avaliação		X		Roteiro de perguntas
Aluno-tutor		X		Questionário com escala quantitativa e qualitativa
Aluno-professor		X		Questionário com escala quantitativa e qualitativa
Aluno-embaixador		X		Questionário com escala quantitativa e qualitativa
Aluno-método de ensino		X		Questionário com escala quantitativa e qualitativa

Fonte: Autores

Tabela 5 – Estrutura da composição das notas, avaliador e periodicidade adotados atualmente e proposta para o próximo semestre

	Composição das notas		Responsável pela avaliação		Periodicidade da avaliação	
	Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta
Por pares	20%	25%	Aluno	Aluno	Única	Mensal
Tutor-aluno	20%	25%	Tutor	Tutor	1. Semanal 2. Única	1. Semanal 2. Mensal
Professor-aluno	30%	20%	Professor	Professor	1. Semanal 2. Duas vezes	1. Semanal 2. Duas vezes
Embaixador-grupo	30%	25%	Embaixador	Embaixador	1. Semanal 2. Única	1. Semanal 2. Mensal
Auto avaliação		5%		Aluno		Única
Aluno-tutor		0%		Aluno		Única
Aluno-professor		0%		Aluno		Única
Aluno-embaixador		0%		Aluno		Única
Aluno-método de ensino		0%		Aluno		Duas vezes

Fonte: Autores

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, à Capes e ao CNPQ pelo apoio concedido a esta pesquisa. Ressalta-se, também, a gratidão à UNIFEI e à empresa, pela oportunidade em participar do projeto e condução da disciplina.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ana Maria Freire da Palma Marques de. Avaliação da aprendizagem e seus desdobramentos. Revista da Rede de Avaliação da Educação Superior, Campinas, v.2, n.2, p.37-50, 1997.

BAYOT, Paula Cristina Porto. Avaliação por Competência no Mundo Globalizado. In: Anais do VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Niterói e Rio de Janeiro, RJ, 2011.

CAMPOS, Luiz Carlos de; DIRANI, Ely Antônio Tadeu; MANRIQUE, Ana Lúcia. Educação em Engenharia. Novas Abordagens. São Paulo: EDUC, 2011.

CARDOSO, Igor de Moraes. Métodos Ativos de Aprendizagem: o uso do aprendizado baseado em problemas no ensino de logística e transportes. Itajubá: UNIFEI, 2011. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 2011.

CHIAVENATO, Idalberto. Gestão de Pessoas. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.
COUGHLAN, Paul; COUGHLAN, David. Action research for operations management. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DIAS, Michele de Cacea; TURRIONI, João Batista; SILVA, Cristiano Vieira da. O uso do aprendizado baseado em problemas no ensino da engenharia de produção. In: Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

ENEMARK, Stig; KJAERSDAM, Finn. A ABP na teoria e na prática: a experiência de Aalborg na inovação do projeto no ensino universitário. In: ARAÚJO, Ulisses F.; SASTRE, Genoveva (orgs.). Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino Superior. 1ª. ed. São Paulo: Editora Summus, 2009.

HADJI, Charles. A avaliação, regras do jogo: das intenções aos instrumentos. 4ª. ed. Portugal: Porto Editora Ltda, 1994.

MACAMBIRA, Paulo Marcelo Fecury. A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): uma aplicação na disciplina “gestão empresarial” do curso de Engenharia Civil. In: Anais do XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Belém, PA, Brasil, 2012.

MASSON, Terezinha Jocelen; MIRANDA, Leila Figueiredo de; MUNHOZ JR., Antonio Hortêncio; CASTANHEIRA, Ana Maria Porto. Metodologia de Ensino: Aprendizagem Baseada Em Projetos (PBL). In: Anais do XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Belém, PA, Brasil, 2012.

REIS, Germano Glufke. Avaliação 360 graus: Um instrumento de desenvolvimento Gerencial. 3ª. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL): uma experiência no ensino superior. São Carlos: EdUFSCar, 2008.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo; MIZUKAMI, Maria da Graça Nicoletti. Student Assessment of a Problem-Based Learning Experiment in Civil Engineering Education. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, v. 131, p. 13-18, 2005.

Capítulo 2

ANÁLISE MULTIVARIADA EM UM PROCESSO DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA EM CHAPAS DE AÇO GALVANIZADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Paulo Roberto Maia

ANÁLISE MULTIVARIADA EM UM PROCESSO DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA EM CHAPAS DE AÇO GALVANIZADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Paulo Roberto Maia (UNIFEI)

Resumo

Processos de solda a ponto por resistência elétrica possui grande aplicação na fabricação de diversos produtos da indústria, por ser um processo de fácil aplicação, rápido, baixo custo e boa adaptabilidade à automação. Estes processos em sua maioria são multivariados, para avaliar o desempenho do produto, múltiplas características devem alcançar simultaneamente um resultado desejável. Resultados conflitantes podem ser obtidos ao avaliar essas respostas individualmente, devido à estrutura de correlação entre as características. Um experimento realizado inicialmente em um novo processo de produção, pouco compreendido, as chances são de que as condições de operação inicial $x_1, x_2, \dots, x_k$ estarão localizados longe da região no qual os fatores possam atingir um valor máximo ou mínimo para a resposta de interesse, é provável que as variáveis de controle sejam configuradas em condições não ótimas. A ACP é utilizada para combinação linear das respostas originais com redução de dimensionalidades sem perda das informações originais. De acordo o objetivo estabelecido define-se o melhor escore de componente principal como ponto central do experimento, constrói o arranjo fatorial de dois níveis (baixo e alto). Com os níveis definidos estimam-se os modelos lineares codificados para as respostas correlacionadas. Estudos de simulação com base em planejamento e análise de experimentos de Amaral (2011) foram aplicados e com os resultados obtidos torna possível observar as variações na qualidade e definição dos parâmetros ótimos do processo a fim de reduzir e até mesmo eliminar produtos não conformes no processo de solda a ponto, além de avaliar as vantagens de desvantagens do método aplicado. Os resultados obtidos validam o método proposto para respostas com correlação alta, média e baixa.

Palavras-chave: Solda a ponto por resistência elétrica, projeto e análise de experimentos, Metodologia de Superfície de resposta, análise de componentes principais.

1. Introdução

Um problema comum em um projeto de produto ou processo é a determinação de ajustes de variáveis do projeto que, simultaneamente, otimizam múltiplas características de qualidade correlacionadas Salmasnia et al (2012). Na maioria das vezes tratam-se as respostas de forma isolada na fase de construção dos modelos de regressão. Este processo pode ser ineficiente, especialmente se as respostas forem fortemente correlacionadas, análises separadas podem levar a recomendações conflitantes sobre os níveis de fatores importantes, porque o nível de um fator pode melhorar a qualidade de uma resposta, mas piorar a de outra Chiao e Hamada (2001) e Tong et al (2005). As existências de correlação entre as características de qualidade em um processo de fabricação afetam significativamente a qualidade do produto e estas correlações devem ser consideradas quando os problemas de otimização de múltiplas respostas forem resolvidos Wang (2007).

Soldagem por resistência é o principal processo de união de chapas metálicas na maioria das indústrias, entre elas: a automotiva, eletrodomésticos, aeroespacial. Tendo sido inventada por Elihu Thomson em 1877, que aplicou esse processo de soldagem para unir fios de cobre. Logo percebeu que esta técnica poderia ser usada para a soldagem de outros materiais. A soldagem por resistência tem crescido enormemente desde a primeira chapa automotiva soldada, a qual foi introduzida em 1933. Tornou-se o processo predominante na montagem das carrocerias automotivas, com uma média de 4500 pontos soldados em cada carro (AGASHE, 2003, AWS, 1997, VOGLER, 2003).

Neste contexto, o aprimoramento dos processos e a busca por condições otimizadas são elementos fundamentais para que as operações de soldagem de pontos por resistência elétrica em ligas de aços apresentem a qualidade desejada nas características geométricas e mecânicas, além da ocorrência mínima de descontinuidades que muitas vezes são inerentes à solda. Desta forma, visando atingir o que foi mencionado anteriormente é preciso conhecer como os parâmetros da soldagem de pontos em ligas de aço influenciam a geometria e qualidade do ponto de solda, visando esclarecer o que foi mencionado utilizase o planejamento e otimização de experimentos.

A necessidade de processos cada vez mais eficientes e econômicos proporcionou que diversos métodos de otimização fossem desenvolvidos nas últimas décadas. Alguns métodos não consideram todas as respostas simultaneamente, outros a estrutura de correlação entre as respostas é descartada, podendo levar a um erro de determinação do ponto ótimo. Assim,

métodos como o desirability e prioridade ponderada, que permite a otimização simultânea de múltiplas características, vêm sendo constantemente empregados. Da mesma forma, a utilização de ferramentas estatísticas sofisticadas como o Projeto e Análise de Experimentos permite uma ampla compreensão a respeito de um dado fenômeno, o que tem contribuído substancialmente para a melhoria da eficiência dos processos e aumento dos níveis de qualidades dos produtos. O objetivo deste artigo é a aplicação do método de análise de componentes principais em um processo de solda a ponto por resistência em chapas de aço galvanizada.

2. Revisão de literatura

2.1. Processo de Soldagem

No processo de Soldagem a ponto por resistência (*Resistance Spot Welding*), as peças sobrepostas a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra por meio de dispositivo de montagem movimentado por forças: mecânica, pneumática, hidráulica ou uma mistura delas. Em seguida, um curto pulso de baixa tensão e alta corrente é fornecido e passa pelos eletrodos, não consumíveis, através do material base. A resistência deste material base à passagem da corrente ocasiona uma quantidade de calor nas superfícies de contato das peças proporcional ao tempo, resistência elétrica e intensidade de corrente a qual deverá ser suficiente para permitir que esta região atinja o ponto de fusão do material formando-se uma região fundida que recebe o nome de lente de solda (Goodarzi et al., 2008; Aslanlar et al., 2007).

Quando o fluxo de corrente cessa, a força dos eletrodos ainda é mantida enquanto o metal de solda rapidamente resfria e solidifica. Os eletrodos são retraídos após cada ponto de solda. A área por onde passa a corrente de soldagem, a forma e o diâmetro das lentilhas de solda geradas são limitados pelo diâmetro e contorno da face do eletrodo (Aslanlar et al., 2007).

Durante o processo em uma solda perfeitamente controlada, a temperatura de soldagem seria atingida em uma área insignificante das superfícies sobrepostas e daria origem a lente de solda com o passar do tempo. Um ponto de solda é composto pelo Tempo de compressão, Tempo de soldagem, Tempo de espera e Tempo de pausa, os tempos de solda são determinados pela quantidade de ciclos da corrente. No Brasil a frequência da rede é de 60 Hz, então cada ciclo tem um tempo (período) de $1/60 = 0,0167$ s, considerando um mesmo

material, quanto maior a espessura da peça a ser soldada maior é sua resistência, necessitando para um ponto de solda de qualidade, maior número de ciclos ou até mesmo pulsos de corrente. A figura 2.1 mostra os efeitos em um processo de soldagem que envolve uma série de etapas desde o início até a formação definitiva do ponto de solda. Estas etapas são caracterizadas como sendo as seguintes:

Etapa 1: Os eletrodos iniciam o processo de descida para que as chapas sejam pressionadas;

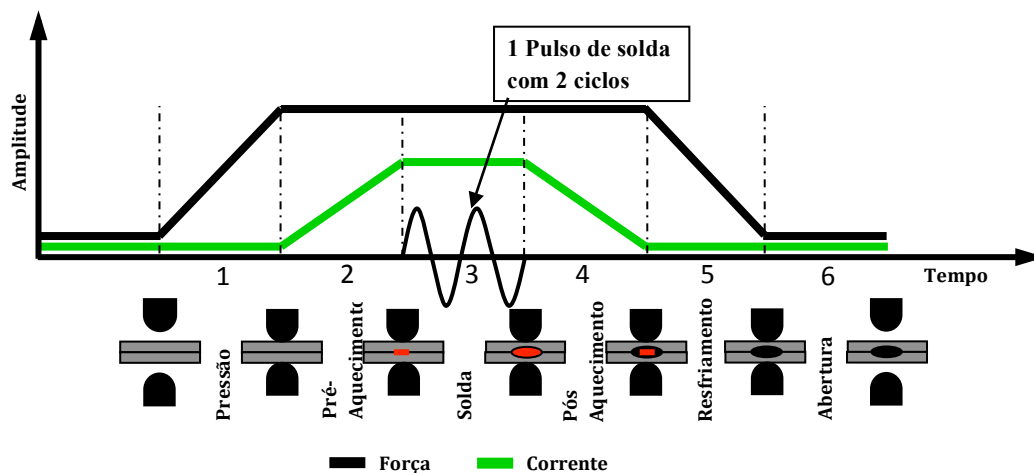
Etapa 2: As chapas devem ser pressionadas de modo a garantir um bom assentamento do metal base evitando problemas como a expulsão do metal fundido da zona de solda;

Etapa 3: O material é mantido sobre pressão e a corrente de soldagem é liberada através do eletrodo, iniciando a formação do ponto de solda;

Etapa 4: Quando o processo de formação é concluído a corrente cessa, mas os eletrodos mantêm a pressão nas chapas até que o ponto se solidifique;

Etapa 5 e 6: A força aplicada é interrompida e os eletrodos se abrem.

Figura 2.1 – Ciclo para realização de um ponto de solda.



Fonte: Branco, 2004 (modificado).

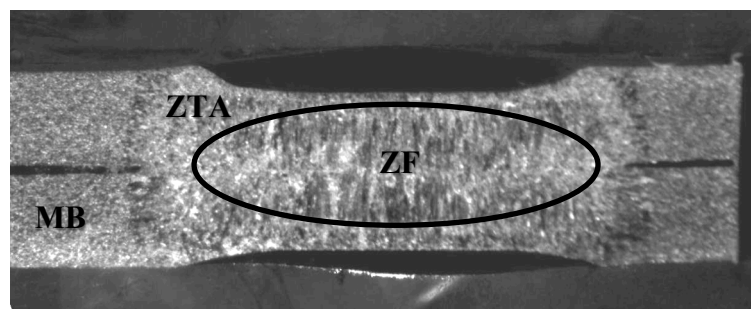
A corrente de soldagem por unidade de área onde ela é aplicada caracteriza a densidade de corrente de soldagem. Se essa densidade de corrente for excessiva poderá causar a expulsão do metal fundido, resultando em vazios internos, ruptura da solda e resistência mecânica mais baixa. Uma corrente excessiva superaquecerá o metal base e resultará em indentação profunda nas chapas, isto é, uma penetração dos eletrodos na chapa à medida que estas amolecem, promovendo superaquecimento e rápida deterioração dos eletrodos, já que há uma contaminação crescente dos eletrodos. Antes da soldagem, o metal base pode ser pré-aquecido

usando-se uma corrente baixa. Após a formação da lente de solda, a corrente pode ser reduzida para algum valor menor para pós-aquecimento da zona de solda.

Segundo Pouranvari et al. (2007) devido ao ciclo térmico de soldagem uma estrutura heterogênea será criada no local da solda e em torno dela, sendo dividida em três regiões:

- Zona de fusão (ZF) ou ponto de solda: corresponde à região fundida;
- Zona termicamente afetada (ZTA), a região não derreteu, mas passou por mudanças estruturais devido ao calor gerado pela soldagem;
- Metal base (MB)

Figura 2.2 – Esquema da Solda Ponto



Fonte: Adaptado de Pouranvari et al. (2007)

O processo de solda a ponto é muito utilizado na fabricação de peças e conjuntos, com chapas metálicas finas com espessura de até aproximadamente 3 mm. É aplicável em uma vasta gama de materiais como os aços carbono, aços inoxidáveis, aços galvanizados, Al, Cu, Mg, Ni e suas ligas entre outros (MARQUES, 2009).

2.2. Projeto e análise de experimentos

A técnica de projeto e análise de experimentos é uma metodologia relativamente antiga, desenvolvida por Ronald A. Fisher, entre 1920 e 1930, sendo posteriormente aperfeiçoada por outros importantes pesquisadores como Box, Hunter e Taguchi, dentre outros.

Fisher através de trabalhos realizados no Rothamsted Agricultural Experimental Station em Londres, na Inglaterra, descobriu que falhas no modo como a experiência é realizada interferem na análise dos os dados, definiu-se então os três princípios básicos do Projeto de Experimentos, a aleatorização, a replicação e a blocagem. A aleatorização consiste na

execução dos experimentos em ordem aleatória para que os efeitos desconhecidos dos fenômenos sejam distribuídos entre os fatores, aumentando a validade da investigação. A replicação é a repetição de um mesmo teste várias vezes, criando uma variação para a variável de resposta utilizada para avaliação do erro experimental. A blocagem deve ser utilizada quando não for possível manter a homogeneidade das condições experimentais. Esta técnica permite avaliar se a falta de homogeneidade interfere nos resultados Montgomery (2009).

Segundo o mesmo autor, define-se processo como uma combinação de máquinas, métodos, pessoas e outros recursos que transforma alguma entrada para uma saída que tem uma ou mais respostas observáveis. As variáveis do processo $x_1, x_2, \dots, x_p$ são controláveis, enquanto que outras variáveis $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$, são incontroláveis. Os objetivos da experiência podem incluir o seguinte:

1. Determinar quais variáveis possuem maior influência na resposta y ;
2. Determinar valor atribuído aos x 's que influenciam de modo que y esta quase sempre perto do valor nominal desejado;
3. Determinar valor atribuído aos x 's que influenciam na variabilidade de y .
4. Determinar valor atribuído aos x 's que influenciam de modo que os efeitos das variáveis não controláveis $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$ sejam minimizados.

Experimentos muitas vezes envolvem vários fatores. Normalmente, um dos objetivos é o de determinar a influência que estes fatores têm sobre a resposta de saída do sistema.

Com relação aos projetos experimentais, a Tabela 2.1, apresentada por Nilo Júnior (2003), reúne as principais características relacionadas a cada uma dessas técnicas experimentais.

Tabela 2.1 – Características fundamentais das principais técnicas de DOE

Projeto experimental	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Fatorial Completo 2^k	Permite a varredura completa da região de estudo, pois utiliza todos os fatores e respectivos níveis	Não identifica variação intermediária, pois só trabalha em dois níveis Necessita de um alto número de experimentos para problemas com grande número de variáveis	Processos no qual já se tem um prévio domínio e no qual a realização dos experimentos não demanda maior tempo ou custo

Fatorial Fracionado $2^{(k-p)}$	Permite uma pré-análise do processo com um número reduzido de experimentos	Não promove a varredura completa da região experimental	Processos no qual se deseja um pré-conhecimento e no qual a literatura é limitada Experimentos que demandam maior tempo ou custo
Taguchi	Permite a análise de um processo com muitas variáveis de entrada com um número extremamente reduzido de experimentos	Fornecer uma idéia do processo, porém pode apresentar modelos matemáticos não confiáveis	Processos no qual há pouco ou quase nenhum conhecimento prévio de comportamento. Processos com alta dispersão ou que os experimentos demandem alto custo ou tempo
Metodologia da Superfície de Resposta	Permite a verificação de variações intermediárias do processo	Pode apresentar erros na extrapolação dos pontos estrela, já que são realizados poucos experimentos nestes níveis	Otimização de processos, principalmente bem conhecidos e com baixa dispersão

Fonte: Adaptado de NILO JÚNIOR (2003)

2.3. Metodologia de superfície de resposta

A Metodologia da Superfície de Resposta (Response Surface Methodology – RSM) é um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas que são úteis para modelagem e análise nas aplicações em que a resposta de interesse seja influenciada por várias variáveis e o objetivo seja otimizar essa resposta (Montgomery, 2009) e He et al (2012). A MSR originou no trabalho de Box e Wilson em 1951 em processos químicos.

Projetos com RSM são usados para:

- Encontrar as configurações de processo melhores ou ótimas;
- Solucionar problemas de processo e pontos fracos;

- Fazer um produto ou processo mais robusto contra influências externas e não controláveis.

Evidentemente, múltiplas respostas de interesse são geralmente consideradas em problemas práticos de modo a otimizar um processo industrial, métodos RSM sugerem a construção de um modelo paramétrico para a resposta esperada utilizando experimentos planejados. Estes modelos devem ser aproximações locais, válidas em uma pequena região experimental Castilho (2007).

Assim a primeira etapa do MSR é encontrar uma aproximação adequada para a relação verdadeira entre resposta de interesse e as variáveis do processo.

Normalmente, um polinômio de ordem inferior de alguma região das variáveis independentes é empregado. Se a resposta é bem modelada por uma função linear das variáveis independentes, então a função aproximada é o modelo de primeira ordem representada pelo modelo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.1)$$

Da qual: y – Resposta de interesse

x_i – Variáveis independentes

β_i – Coeficientes a serem estimados

k – Número de variáveis independentes

ε – Erro experimental

Uma aproximação polinomial de segunda ordem como descrito pela eq. (2.2) deve ser realizada caso exista curvatura no modelo de primeira ordem apresentado.

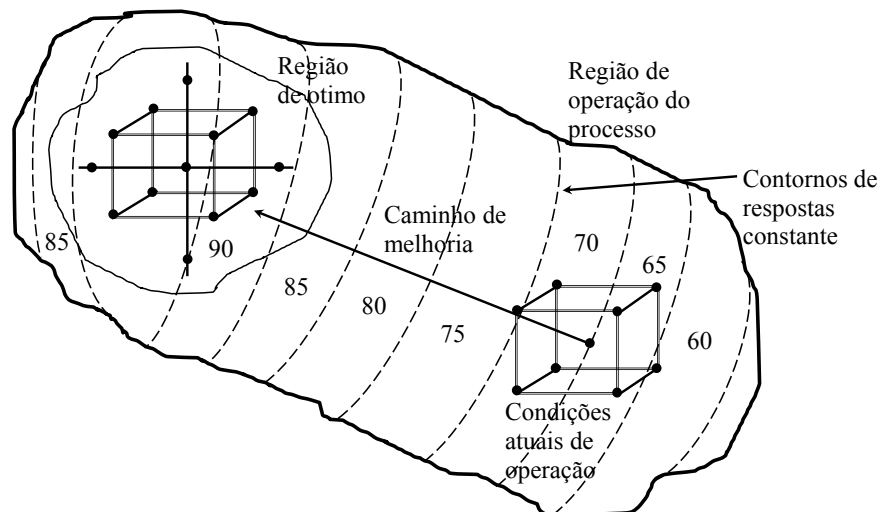
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.2)$$

Tais modelos (modelo de primeira e segunda ordem) são chamados empíricos. Estes modelos são muito utilizados em problemas de superfície de resposta para uma região específica, a fim de chegar às condições operacionais ótimas com as variáveis de controle que maximizam (ou minimizar) a resposta prevista Montgomery (2009), Box e Draper (1987).

RSM é um procedimento sequencial, geralmente quando se está em um ponto na superfície de resposta que é afastada da região de ótimo, há pouca curvatura no sistema e o modelo de primeira ordem é apropriado. O objetivo é de deslocar com rapidez e eficiência até a região de

ótimo. Uma vez que a região é encontrada, um modelo mais elaborado, tal como o modelo de segunda ordem, pode ser empregado. A partir da **Figura 2.3**, vê-se que a análise de uma superfície de resposta pode ser considerada como máxima ascensão, se o ideal é um ponto de mínimo, íngreme descida Montgomery (2009).

Figura 2.3 – Sequência natural do MSR



Fonte: Montgomery (2009).

2.4. Método vetor gradiente

Uma experimentação é realizada inicialmente em um novo processo de produção, pouco compreendido, as chances são de que as condições de operação inicial $x_1, x_2, \dots, x_k$, estão localizados longe da região no qual os fatores possam atingir um valor máximo ou mínimo para a resposta de interesse.

Segundo Box e Wilson (1951) quando o erro experimental é pequeno, o experimento inicial envolvendo fatores quantitativos deve ser limitado a uma sub-região pequena da região experimental viável. Neste caso, uns pequenos números de ensaios permitiram estimar efeitos principais lineares para os fatores, e este vetor de estimativas proporciona uma direção de busca de que deve trazer melhoria rápida na resposta à medida que se afasta da sub-região inicial. A direção de respostas a ser aumentada ou diminuída é denominada direção de máxima ascensão ou íngreme descida (Path of Steepest Ascent or Descent).

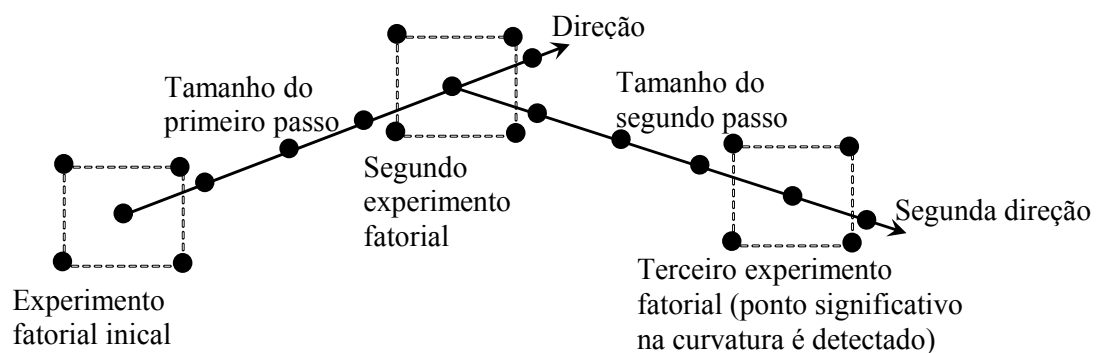
Para descobrir a direção de melhoria deve-se manter o experimento ao longo da direção de máxima ascensão até que a resposta não experimente melhorias adicionais.

Como o resultado da operação pode envolver mais do que uma experiência, a simplicidade do modelo é muito importante. Assume-se que um modelo de primeira ordem Eq.(2.1) é uma aproximação razoável do sistema na região inicial de $x_1, x_2, \dots, x_k$.

Tal método inclui as seguintes etapas:

- 1- Ajuste do modelo de primeira ordem, utilizando um projeto ortogonal.
- 2- Cálculo da direção de máxima ascensão se a resposta requerida for maximizar.
Cálculo da direção de íngreme descida, se a resposta requerida for minimizar.
- 3- Realização de ensaios experimentais ao longo da direção, até que não exista melhora na resposta.
- 4- Um novo experimento deve ser conduzido para determinar uma nova direção. Este processo é repetido até que em algum ponto significativo na curvatura é detectado.
- 5- Realização de um arranjo de superfície de resposta, tal como um arranjo composto central (CCD).

Figura 2.4 – Método vetor gradiente direção de máxima ascensão



Fonte: Montgomery (2009).

Segundo Myers e Montgomery (2009), mesmo quando os coeficientes das interações são relativamente grandes, ao ignorá-los o caminho da máxima ascensão difere muito pouco do verdadeiro caminho. Na prática, as interações têm pouco efeito sobre o resultado final. Pode-se realizar uma corrida adicional de máxima ascensão para compensar os erros no cálculo do caminho.

2.5. Análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) é um método de análise multivariado criado por Pearson (1901) e desenvolvida por Hotelling (1933) para combinações lineares não correlacionadas das respostas originais com redução de dimensionalidade sem perda da maioria das informações originais Ful e Chiu (2004).

A ACP geralmente revela relacionamentos que não seriam previamente identificados com o conjunto original, o que resulta em uma interpretação mais abrangente do fenômeno. Segundo Johnson e Wichern (2007), a ACP serve como um passo intermediário na análise dos dados.

Os componentes principais são combinações lineares não correlacionadas de p variáveis aleatórias $x_1, x_2, \dots, x_p$. Estas combinações lineares descrevem a seleção de um novo sistema de coordenadas obtido pela rotação do sistema original com $x_1, x_2, \dots, x_p$ como eixos coordenados. Os novos eixos descrevem as direções com a variabilidade máxima e fornecem uma descrição mais concisa da estrutura de covariância.

Suponha agora vetor $X^T = [X_1, X_2, \dots, X_p]$, assumindo que Σ é a matriz de variância-covariância associada a este vetor, então Σ pode ser fatorada em pares de autovalores-eigenvetores, $(\lambda_1, e_1), \dots, (\lambda_p, e_p)$, onde, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ tal como a i -ésimo componente principal pode ser escritos como $PC_i = e_i^T X = e_{1i}X_1 + e_{2i}X_2 + \dots + e_{pi}X_p$ com $i = 1, 2, \dots, p$, Johnson e Wichern, (2007).

Em seu estudo Tong et al (2005) desenvolve um procedimento de otimização para múltiplas respostas correlacionadas. A razão sinal-ruído (SN) é inicialmente utilizada para avaliar o desempenho de cada resposta. A Análise de Componentes Principais (ACP) é conduzida sobre os valores SN para obter um conjunto de componentes principais não correlacionados, a direção de otimização para cada componente é determinada com base no correspondente gráfico de variação.

Segundo Salmasnia et al (2012) um inconveniente das abordagens baseadas em ACP é não assegurar que todas as características de qualidade estarão dentro dos limites de especificação. Em sua pesquisa é proposto um procedimento sistemático através da análise Componentes Principais Ponderados (CPP) e abordagem *desirability* para otimizar múltiplas respostas correlacionadas. Esta abordagem não só obtém condições ideais de operação, mas também considera diferentes variâncias e níveis de correlação das respostas e impõe os

objetivos satisfazendo as restrições. O método CPP utiliza o coeficiente de determinação, quando a proporção do autovalor para o número de respostas originais são os pesos para combinar todos os componentes principais, a fim de formar um índice de desempenho multivariado. Unificar todos os efeitos de localização e dispersão através da correlação entre cada duas respostas e incluir limites de especificação para as mesmas.

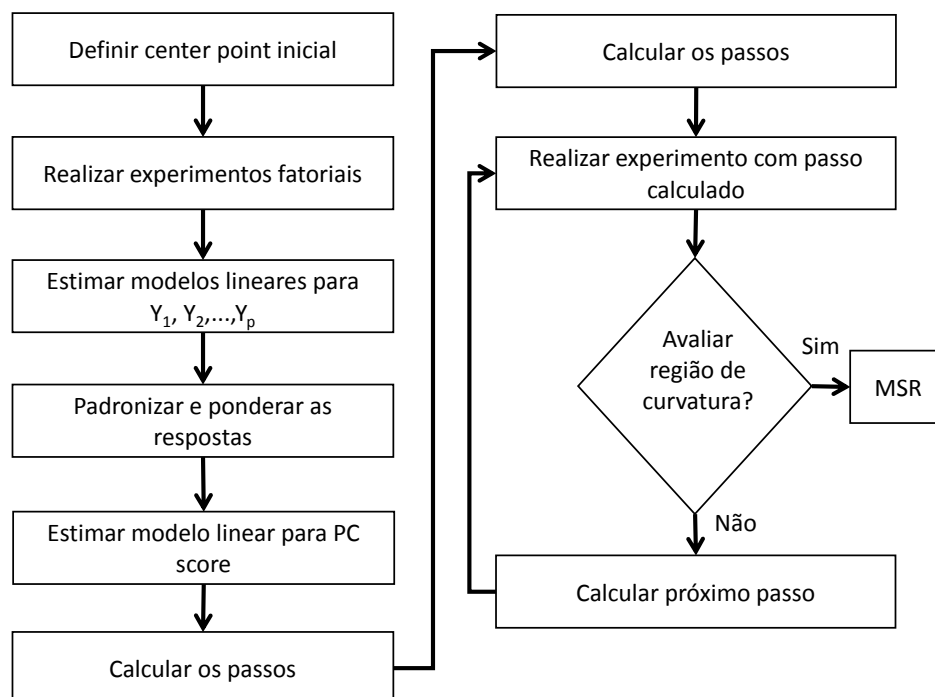
Salmasnia (2011) menciona que existem vários métodos que utilizam análise de componentes principais para otimizar respostas múltiplas correlacionadas, mas a maioria deles não considera corretamente o efeito de localização de todas as respostas, para tal situação Paiva (2008) desenvolveu o método Multivariável Erro quadrado (MMSE).

Paiva (2008) menciona outra dificuldade em trabalhar com componentes, definir a direção de otimização de uma equação em termos dos componentes principais que refletem a direção esperada pelas funções originais.

3. Método experimental

Para um melhor entendimento do método proposto, foi construído um fluxograma com os passos até a região onde deve ser aplicado a MSR.

3.1 – Fluxograma do método proposto para otimização multivariada.



Segundo Castilho, 2007), na maioria das vezes esses processos deverão atender a mais de uma característica de projeto (resposta). É muito comum se desejar que o máximo de requisitos ou características de um produto ou processo, que determinem a satisfação de um cliente, sejam totalmente atendidas. Assim a etapa de padronização dos objetivos é definida quais respostas serão estudadas, conforme estrutura de correlação apresentado na sessão 4 Negligenciar esta correlação entre as respostas pode levar a recomendações conflitantes sobre os níveis de fatores Johnson e Wichern (2007) e Salmasnia (2012).

As variáveis correlacionadas são substituídas pelos escores de componentes principais sem que haja perda significativa de informações e de acordo com o objetivo estabelecido define-se o melhor escore de componente principal como ponto central do experimento.

Para definição dos níveis dos fatores adotou-se o critério desenvolvido por Myers et al (2009), descritos na sessão 2.4.1, tem-se:

$$\frac{\Delta x_i}{\Delta x_j} = a_{ij}^2 = \frac{r_i}{r_j} \text{ para } i, j = 1, 2, \dots, k \text{ } i \neq j \quad (3.1)$$

Da qual

r_i = intervalo para o fator um fator A;

r_j = intervalo para o fator um fator B;

Δx_i = comprimento do passo relativo ao fator A;

Δx_j = comprimento do passo relativo ao fator B;

Constrói-se o arranjo fatorial de dois níveis (baixo e alto), segundo Myers e Montgomery (2009) como o resultado da operação pode envolver mais do que um experimento (corrida), a simplicidade do modelo é muito importante. Assume-se que um modelo de primeira ordem é uma aproximação razoável do sistema na região inicial de $x_1, x_2, \dots, x_k$.

Os experimentos são simulados em planilha desenvolvida para modelagem matemática das respostas dos experimentos realizados por Amaral (2011) e estimam-se os modelos lineares codificados para as respostas correlacionadas.

As respostas são então padronizadas, na sequência calcula-se o escore do componente principal ponderado das respostas padronizadas e ponderadas. Estima-se o modelo linear codificado para o componente principal ponderado. Em seguida calcula-se o cone de confiança para o escore do componente principal ponderado.

Para o modelo de primeira ordem do componente principal ponderado é realizado a sequência de passos:

- 1- Cálculo do passo na direção da região de ótimo com a confiabilidade dada pelo cone de confiança;
- 2- Simulação de ensaios experimentais com base nos coeficientes estimados para os modelos quadráticos reduzidos do escore do componente principal das respostas analisadas, até que em algum ponto significativo na curvatura é detectado;
- 3- Simulação de um arranjo de superfície de resposta, tal como um arranjo composto central (CCD).

4. Aplicação do método

Como o objetivo testar a eficiência do método proposto, este capítulo apresenta a aplicação de duas respostas correlacionadas (Y_1 e Y_2).

O caso em estudo é estrutura de correlação média, com conflitos de mínimos e máximos. De acordo com os experimentos realizados por Amaral (2010) é desejado força máxima de cisalhamento suportada pelo ponto de solda e indentação mínima no ponto.

Table 4.1 - Composição Química (%) do aço carbono galvanizado

Material	C	Mn	P	S	Al	Camada de Zn
Stainless steel E316LT1-1/4	0.08%	0.45%	0.03%	0.03%	0.005	42.4 – 85 g/m ²

Table 4.2 – Objetivo de cada resposta a ser avaliada

Resposta	Unidade	Notação	Objetivo
Força de cisalhamento	N	F	Maximizar
Indentação	mm	I	Minimizar

Tabela 4. 2 – Níveis dos parâmetros para experimento de superfície de resposta.

Termo	Níveis Fatoriais		Pontos centrais	Níveis Axiais	
Corrente de solda (C)	86% (5,16kA)	88% (5,28kA)	87% (5,24kA)	85%	89%
Tempo de solda (T)	10 ciclos	12 ciclos	11 ciclos	9 ciclos	13 ciclos
Pressão (P)	4 bar	5 bar	4,5 bar	3,5 bar	5,5 bar
Pré-aquecimento (PRE)	0	6 ciclos, 50%	3 ciclos, 50%	0	9 ciclos , 50

Para a realização dos testes, os corpos de prova foram cortados nas dimensões 105 x 45 mm. Os parâmetros variáveis foram combinados de acordo com a matriz experimental Tabela 4.3.

A correlação entre Identação e Força máxima de cisalhamento foi de 0.657 e P-Value = 0.000, que indica correlação moderada mais significativo.

Tabela 4.3 – Matriz experimental e respostas dos experimentos

Teste	Parâmetros				Respostas	
	Corrente (%)	Tempo (ciclos)	Pressão (bar)	Pré-aquecimento	Identação Máx	Força Máx (N)
1	86	12	4	0	0,13	4184
2	88	12	4	0	0,18	4312
3	88	12	5	6c, 50%	0,27	4384
4	88	10	4	6c, 50%	0,17	4206
5	87	11	4	3c, 50%	0,16	4130
6	86	10	4	6c, 50%	0,13	4118
7	88	10	5	0	0,18	3916
8	88	10	5	6c, 50%	0,20	4269
9	87	11	5	9c, 50%	0,19	4510
10	86	10	4	0	0,10	3904
11	87	13	5	3c, 50%	0,28	4450
12	87	11	5	3c, 50%	0,17	4250
13	87	11	6	3c, 50%	0,21	4127
14	87	9	5	3c, 50%	0,15	3857
15	86	10	5	6c, 50%	0,17	4024
16	87	11	5	3c, 50%	0,18	4202
17	88	12	4	6c, 50%	0,24	4490
18	86	12	5	6c, 50%	0,26	4197
19	86	12	5	0	0,21	4177
20	89	11	5	3c, 50%	0,23	4279
21	85	11	5	3c, 50%	0,16	4028
22	87	11	5	3c, 50%	0,17	4226
23	87	11	5	3c, 50%	0,19	4167
24	87	11	5	3c, 50%	0,18	4159
25	88	10	4	0	0,12	3947
26	88	12	5,00	0	0,24	4222
27	86	12	4,00	6c, 50%	0,19	4334
28	86	10	5,00	0	0,16	4001

Após a execução dos experimentos foi gerado um banco de dados para modelagem matemática das respostas. A **Tabela 4.4** apresenta o resumo dos valores obtidos para as variáveis de respostas que passam a ser consideradas para efeito de simulação.

Tabela 4.4 – Coeficientes estimados para os modelos quadráticos

Coeficiente	Respostas	
	F	I
<i>Constante</i>	4200,80	0,01780
<i>C</i>	54,54	0,01625
<i>T</i>	129,21	0,03125
<i>P</i>	-12,96	0,02208
<i>PRE</i>	88,40	0,01967
<i>C</i> ²	-15,30	0,00396
<i>T</i> ²	-15,30	0,00896
<i>P</i> ²	-21,55	0,00146
<i>PRE</i> ²	26,10	-0,00742
<i>CT</i>	14,10	0,00187
<i>CP</i>	-1,40	-0,00437
<i>CPRE</i>	34,10	0,00063
<i>TP</i>	-23,40	0,00313
<i>TPRE</i>	-21,20	0,00563
<i>PPRE</i>	-15,20	-0,00562

A partir do modelo reduzido foi construída uma planilha no Microsoft Excel®, para otimização do processo de solda a ponto por resistência em chapas de aço galvanizada.

A partir do center point foi construído o fatorial completo para F e I.

O modelo de superfície de resposta de segunda ordem é usado para representar a aproximação entre as respostas F e I e os parâmetros de entrada do processo C, T, P e PRE.

$$F = 4200,8 + 54,54C + 129,21T - 12,96P + 88,4PRE - 15,3C^2 - 15,3T^2 - 21,55P^2 + 26,1PRE^2 + 14,1CT - 1,4CP + 34,1CPRE - 23,4TP - 21,2TPRE - 15,2PPRE \quad (4.1)$$

$$I = 0,1780 + 0,0163C + 0,0313T + 0,0221P + 0,0197PRE + 0,0040C^2 + 0,0090T^2 + 0,0015P^2 - 0,0074PRE^2 + 0,0019CT - 0,0044CP + 0,0006CPRE + 0,0031TP + 0,056TPRE - 0,056PPRE \quad (4.2)$$

$$PC = -0,0530 + 0,4858C + 1,0353T + 0,2985P + 0,6810PRE - 0,0040C^2 + 0,0793 - 0,0663P^2 - 0,0098PRE^2 + 0,0883CT - 0,0758CP + 0,1515CPRE - 0,0475TP + 0,017TPRE - 0,1528PPRE \quad (4.3)$$

Após definição dos modelos lineares para F e I, calculam-se o componente principal ponderado (*PC*) das duas respostas. Da Tabela 4.5, padroniza as respostas F e I calcula-se o PC e estima-se o modelo entre as respostas PC e os parâmetros do processo C, T, P e PRE. Definido o componente, estima-se o modelo linear para o mesmo. Com os coeficientes estimados, aplica-se o método do vetor gradiente para o *PC* até que um ponto de curvatura seja detectado.

Tabela 4.5 – Matriz de experimentos para F e I

Experimento	C	T	P	PRE	F	I
1	86	10	4,00	0	3903,960	0,097
2	88	10	4,00	0	3916,640	0,133
3	86	12	4,00	0	4223,380	0,138
4	88	12	4,00	0	4292,460	0,182
5	86	10	5,00	0	3955,240	0,170
6	88	10	5,00	0	3967,920	0,188
7	86	12	5,00	0	4181,060	0,223
8	88	12	5,00	0	4250,140	0,250
9	86	10	4,00	6	4085,360	0,150
10	88	10	4,00	6	4234,440	0,189
11	86	12	4,00	6	4319,980	0,214
12	88	12	4,00	6	4525,460	0,260
13	86	10	5,00	6	4075,840	0,170
14	88	10	5,00	6	4224,920	0,192
15	86	12	5,00	6	4216,860	0,247
16	88	12	5,00	6	4422,340	0,275
17	87	11	4,50	3	4200,800	0,178

Table 4.6 – Coeficientes estimados do modelo linear para F e I

	F	I	PC
Variável	4.176,280	0,192	0,000
C	-54,540	0,016	0,458
T	-129,210	0,031	0,980
P	12,960	0.022	0,269
PRE	-88,400	0.020	0,645
R2 (adj.)	97,89%	91,76%	99,43%

Table 4.7 – Caminho de máxima ascensão para F

Passo	C	T	P	PRE	F	Fpadron.
D	-0,211	-0,060	0,050	-0,684		
cp	87,000	11,000	4,500	3,000		
1	86,789	10,940	4,550	2,316	4162,499	1,720
2	86,578	10,880	4,600	1,632	4129,043	1,012
3	86,367	10,820	4,650	0,948	4100,431	0,408
4	86,156	10,760	4,701	0,263	4076,664	-0,094
5	85,945	10,700	4,751	-0,421	4057,741	-0,494
6	85,734	10,640	4,801	-1,105	4043,663	-0,792
7	85,523	10,580	4,851	-1,789	4034,429	-0,987
8	85,312	10,520	4,901	-2,473	4030,040	-1,080
9	85,101	10,460	4,951	-3,157	4030,495	-1,070
10	84,889	10,400	5,002	-3,842	4035,795	-0,958
11	84,678	10,340	5,052	-4,526	4045,939	-0,744
12	84,467	10,280	5,102	-5,210	4060,928	-0,427
13	84,256	10,220	5,152	-5,894	4080,761	-0,008
14	84,045	10,160	5,202	-6,578	4105,439	0,514
15	83,834	10,100	5,252	-7,262	4134,962	1,138
16	83,623	10,040	5,302	-7,947	4169,328	1,864

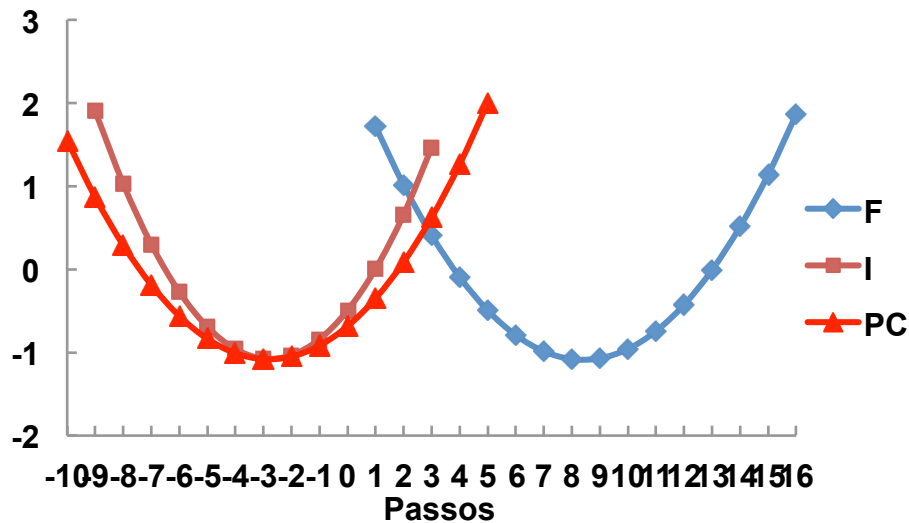
Table 4.8 – Caminho de máxima ascensão para I

Passo	C	T	P	PRE	I	Ipadron.
D	0,260	0,800	0,177	0,297		
cp	87,000	11,000	4,500	3,000		
-9	84,660	3,800	2,910	0,327	0,399	1,907
-8	84,920	4,600	3,087	0,624	0,318	1,027
-7	85,180	5,400	3,264	0,921	0,251	0,301
-6	85,440	6,200	3,440	1,218	0,198	-0,272
-5	85,700	7,000	3,617	1,515	0,160	-0,692
-4	85,960	7,800	3,793	1,812	0,135	-0,959
-3	86,220	8,600	3,970	2,109	0,125	-1,073
-2	86,480	9,400	4,147	2,406	0,128	-1,033
-1	86,740	10,200	4,323	2,703	0,146	-0,840
0	87,000	11,000	4,500	3,000	0,178	-0,494
1	87,260	11,800	4,677	3,297	0,224	0,006
2	87,520	12,600	4,853	3,594	0,284	0,658
3	87,780	13,400	5,030	3,891	0,358	1,464

Table 4.9 – Caminho de máxima ascensão para PC de F e I

Passo	C	T	P	PRE	PC	PCpadron.
D	0,935	2,000	0,069	0,329		
cp	87,000	11,000	4,500	3,000		
-10	77,648	-9,000	3,815	-0,294	20,694	1,546
-9	78,583	-7,000	3,883	0,036	14,375	0,867
-8	79,519	-5,000	3,952	0,365	9,000	0,289
-7	80,454	-3,000	4,020	0,694	4,568	-0,188
-6	81,389	-1,000	4,089	1,024	1,078	-0,563
-5	82,324	1,000	4,157	1,353	-1,468	-0,837
-4	83,259	3,000	4,226	1,682	-3,071	-1,009
-3	84,194	5,000	4,294	2,012	-3,731	-1,080
-2	85,130	7,000	4,363	2,341	-3,448	-1,050
-1	86,065	9,000	4,431	2,671	-2,222	-0,918
0	87,000	11,000	4,500	3,000	-0,053	-0,684
1	87,935	13,000	4,569	3,329	3,059	-0,350
2	88,870	15,000	4,637	3,659	7,114	0,086
3	89,806	17,000	4,706	3,988	12,113	0,624
4	90,741	19,000	4,774	4,318	18,054	1,263
5	91,676	21,000	4,843	4,647	24,938	2,003

Figura 4.1 – Caminho de máxima ascensão para F, I e PC



4. Conclusão

Este artigo apresentou uma versão multivariada do método de ascensão mais íngreme usando a análise de componentes principais. Para processos com respostas múltiplas, a subida mais íngreme padrão é de uso limitado, porque muitas vezes otimiza uma resposta em detrimento de outras. Basicamente, o procedimento proposto adaptou a ascensão mais íngreme original a pontuações de componentes principais que mostrou-se eficaz mesmo para respostas com conflitos de objetivos e respostas originais correlacionadas. Como pode ser visto a partir de um exemplo numérico, esta nova abordagem foi capaz de orientar o praticante numa direção de compromisso para atingir uma região de máxima melhoria.

REFERÊNCIAS

- Box, G. E. P., Hunter, W. G., MacGregor, J. F., & Erjavec, J. (1973). **Some problems associated with the analysis of multiresponse data.** *Technometrics*, 15, 33-51.
- Bratchell, N. (1989). Multivariate response surface modeling by principal components analysis. *Journal of Chemometrics*, 3, 579-588.

Brito, T.G., Paiva, A.O., Ferreira, J.R., Gomes, J.H.F., Balestrassi, P.P. (2014) A normal boundary intersection approach to multiresponse robust optimization of the surface roughness in end milling process with combined arrays. *Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*.

Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust tests for the equality of variance. *Journal of the American Statistical Association*, 69, 364-367.

Busacca, G. P., Marseguerra, M., & Zio, E. (2001). Multiobjective optimization by genetic algorithms: application to safety systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 72, 59-74.

Chiao, C. H., & Hamada, M. (2001). Analyzing experiments with correlated multiple responses. *Journal of Quality Technology*, 33, 451-465.

Cho, B. R., & Park, C. (2005). Robust design modeling and optimization with unbalanced data. *Computers & Industrial Engineering*, 48, 173-180.

Correa, M., Bielza, C., & Pamies-Teixeira, J. (2009). Comparison of Bayesian networks and artificial neural networks for quality detection in a machining process. *Expert Systems with Applications*, 36, 7270-7279.

Das I, Dennis JE. (1998). Normal boundary intersection: A new method for generating the Pareto surface in nonlinear multicriteria optimization problems. *SIAM Journal of Optimization*, 8, 631-657.

Del Castillo, E., Fan, S. K., & Semple, J. (1999). Optimization of dual response systems: a comprehensive procedure for degenerate and nondegenerate problems. *European Journal of Operational Research*, 112, 174-186.

Govindaluri, S. M., & Cho, B. R. (2007). Robust design modeling with correlated quality characteristics using a multicriteria decision framework. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32, 423-433.

- Haggag, A. A. (1981). A variant of the generalized reduced gradient algorithm for non-linear programming and its applications. *European Journal of Operational Research*, 7, 161-168.
- Jeong, I. J., Kim, K. J., & Chang, S. Y. (2005). Optimal weighting of bias and variance in dual response surface optimization. *Journal of Quality Technology*, 37, 236-247.
- Jia Z, Ierapetritou G.(2007). Generate Pareto optimal solutions of scheduling problems using normal boundary intersection technique. *Computers and Chemical Engineering*, 31,268-280.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. (5th ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
- Kazemzadeh, R. B., Bashiri, M., Atkinson, A.C., & Noorossana, R. (2008). A general framework for multiresponse optimization problems based on goal programming. *European Journal of Operational Research*, 189, 421-429.
- Khuri, A. I., & Conlon, M. (1981). Simultaneous optimization of multiple responses represented by polynomial regression functions. *Technometrics*, 23, 363-375.
- Köksoy, O. (2006). Multiresponse robust design: Mean square error (MSE) criterion. *Applied Mathematics and Computation*, 175, 1716-1729.
- Köksoy, O. and Yalçinoz, T. (2006). Mean square error criteria to multiple process optimization by a new genetic algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 175, 1657-1674.
- Kovach, J., & Cho, B. R. (2009). A *D*-optimal design approach to constrained multiresponse robust design with prioritized mean and variance considerations. *Computers & Industrial Engineering*, 57, 237-245.
- Lasdon, L. S., Waren, A. D., Jain, A., & Ratner, M. (1978). Design and testing of a Generalized Reduced Gradient code for nonlinear programming. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 4, 34-50.

- Lee, S. B., & Park, C. (2006). Development of robust design optimization using incomplete data. *Computers & Industrial Engineering*, 50, 345-356.
- Liao, H. C. (2006). Multi-response optimization using weighted principal components. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27, 720-725.
- Lin, D. K. J., & Tu, W. (1995). Dual response surface optimization. *Journal of Quality Technology*, 27, 34-39.
- Lopes, L. G. D., Gomes, J. H. F., Paiva, A. P., Barca, L. F., Ferreira, J. R., & Balestrassi, P. P. (2013). A multivariate surface roughness modeling and optimization under conditions of uncertainty. *Measurement*, 46, 2555-2568.
- Lucas, J.M. (1991). Achieving a robust process using response surface methodology, Technical Report, E I Du Pont, Wilmington, DE.
- Montgomery, D. C. (2009). *Design and Analysis of Experiments*. (7th ed.). New York: John Wiley.
- Myers, R. H., Khuri, A. I., & Vining, G. (1992). Response surface alternatives to the Taguchi robust parameter design approach. *The American Statistician*, 46, 131-139.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, C. M. (2009). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. (3rd ed.). New York: John Wiley.
- M'silti, A., & Tolla, P. (1993). An interactive multiobjective nonlinear programming procedure. *European Journal of Operational Research*, 64, 115-125.
- Nair, V. N. (1992). Taguchi's parameter design: a panel discussion. *Technometrics*, 34, 127-161.

Paiva, A. P., Campos, P. H., Ferreira, J. R., Lopes, L. G. D., Paiva, E. J., & Balestrassi, P. P. (2012). A multivariate robust parameter design approach for optimization of AISI 52100 hardened steel turning with wiper mixed ceramic tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 30, 152-163.

Paiva, A. P., Costa, S. C., Paiva, E. J., Balestrassi, P. P., & Ferreira, J. R. (2010). Multi-objective optimization of pulsed gas metal arc welding process based on weighted principal component scores. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50, 113-125.

Paiva, A. P., Paiva, E. J., Ferreira, J. F., Balestrassi, P. P., & Costa, S. C. (2009). A multivariate mean square error optimization of AISI 52100 hardened steel turning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43, 631-643.

Quesada, G. M., & Del Castillo, E. (2004). Two approaches for improving the dual response method in robust parameter design. *Journal of Quality Technology*, 36, 154-168.

Shaibu, A. B., & Cho, B. R. (2009). Another view of dual response surface modeling and optimization in robust parameter design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41, 631-641.

Shin, S., & Cho, B. R. (2005). Bias-specified robust design optimization and its analytical solutions. *Computers & Industrial Engineering*, 48, 129-140.

Steenackers, G., & Guillaume, P. (2008). Bias-specified robust design optimization: a generalized mean squared error approach. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 259-268.

Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality engineering: desingning quality into products and processes*. Tokyo: Usian.

Tang, L. C., & Xu, K. (2002). A unified approach for dual response surface optimization. *Journal of Quality Technology*, 34, 437-447.

Vining, G. G. (1998). A compromise approach to multiresponse optimization. *Journal of Quality Technology*, 30, 309-313.

Yang, J. B., & Sen, P. (1996). Preference modelling by estimating local utility functions for multiobjective optimization. *European Journal of Operational Research*, 95, 115-138.

Yuan, J., Wang, K., Yu, T., & Fang, M. (2008). Reliable multi-objective optimization of high-speed WEDM process based on Gaussian process regression. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48, 47-60.

Capítulo 3

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA ATENDIMENTO DE DEMANDA E OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS EM UMA EMPRESA DE AUTOPEÇAS

Diego Jean de Melo
Rodrigo Reis Leite
Laila Alves da Silva
Kaique Osorio Alves Neto Silva
Jose Arnaldo Barra Montevechi

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA ATENDIMENTO DE DEMANDA E OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS EM UMA EMPRESA DE AUTOPEÇAS

Diego Jean de Melo (UNIFEI)

Rodrigo Reis Leite (UNIFEI)

Laila Alves da Silva (UNIFEI)

Kaique Osorio Alves Neto Silva (UNIFEI)

Jose Arnaldo Barra Montevechi (UNIFEI)

Resumo

Este artigo apresenta a aplicação da programação linear como ferramenta para o planejamento de produção em uma empresa de autopeças com sistema de produção por lotes. O artigo também apresenta formas de analisar a capacidade instalada pela empresa com a leitura dos resultados de sensibilidade do problema. O objetivo foi identificar se a demanda seria totalmente atendida e quanto dos recursos seriam utilizados. As etapas para o desenvolvimento do trabalho foram: coleta de dados, definição das variáveis de decisão, definição da função objetiva, definição das restrições, otimização linear, análise de sensibilidade e proposta de melhoria. Os resultados demonstraram que o planejamento de produção baseado na programação linear permite otimizar linhas de produção com o racionamento dos recursos. Através da otimização linear do problema, foi possível verificar que a demanda de somente uma família de produtos não era atendida e que havia mão de obra ociosa nas linhas de produção. Com base nos resultados, foi possível identificar: a necessidade de criação de uma linha de produção para satisfazer a demanda de todas as famílias de produto; e possibilidade de realocação de 6 colaboradores sem que haja alteração da solução ótima (volume de produção), visto que há aproximadamente 1191,5 horas de mão de obra excedentes.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Programação Linear, Planejamento de Produção, Análise de Sensibilidade.

1. Introdução

Tomadas de decisões são etapas comuns em qualquer processo produtivo. Uma empresa competitiva que almeja maximizar sua produtividade pode alcançar este patamar através do alinhamento de sua produção à redução dos custos, sem deixar que tais ações afetem a qualidade de seus produtos (CAMPOS e FERRO, 2016).

Ao traçar planos de ações através desse objetivo, muitas vezes o empirismo não contempla de fato toda a lacuna de alternativas disponíveis, principalmente em casos onde a organização é estruturada e amadurecida. Neste momento, é necessária a fundamentação da decisão baseada na análise dos dados envolvidos, como o impacto sobre todo o sistema em que o processo está inserido, as variáveis que o influenciam, o ambiente e as limitações do processo.

A utilização de modelagem por meio de programação linear na programação de produção vem crescendo ao longo dos anos, aumentando sua importância no meio científico. Segundo Jung (2011), a utilização de uma integração de programação de produção no local de manufatura se tornou um problema crítico para as empresas, sendo que a escolha de uma programação de produção eficiente auxilia nas respostas rápidas, nas mudanças de demanda e reduz atrasos nas entregas devido à falta de produtos prontos.

Atualmente, diversos estudos têm sido publicados comparando sistemas e modelos, que buscam a integração de uma programação de produção; entretanto, muitas metodologias não podem ser aplicadas livremente na indústria devido a problemas particulares entre cada caso, como restrições específicas do processo produtivo (MIRANDA, 2015).

Hong *et al.* (2015) analisaram duas formas de produção para se obter o mesmo produto. Através de análise dos limites de emissão de resíduos, foi desenvolvido algoritmos para o planejamento de produção da empresa de forma a atender as restrições ambientais e obter o maior lucro possível.

Araujo e Santos (2016), buscando minimizar os custos relacionados a mão de obra, desenvolveram um planejamento para construção de superestrutura com base na programação linear. Através do trabalho foi obtido uma solução que permite otimizar a utilização da mão de obra na área da construção civil.

Aubry *et al.* (2017) destacam as dificuldades encontradas em um planejamento e controle de produção devido às incertezas envolvidas nas linhas de produção. Assim, foi demonstrado como sistemas orientados por programas na pesquisa operacional podem ajudar a solucionar tais incertezas.

Adamson *et al.* (2017) aplicaram a programação linear mista em uma empresa de separação de ar criogênico visando analisar qual das duas estratégias de produção estudadas proporciona o menor custo gerando o maior retorno. A aplicação do método proporcionou uma melhora de 5% nos custos de operação para o período analisado.

Contudo, poucos trabalhos de programação linear são voltados a linhas de produção em lotes. Fato este que faz com que empresas apresentem grandes dificuldades no planejamento de produção e análise de seus recursos. Deste modo, este trabalho visa apresentar a aplicação da programação linear em uma empresa de autopeças para atender a demanda de um determinado período, redimensionando a capacidade de produção sem que haja excesso dos recursos tempo de produção e horas de mão de obra.

Para este trabalho foi utilizado o *AutoCAD* para representação do *layout* da linha de produção e o *Solver*, suplemento do *software Microsoft Excel*, para otimização do modelo gerado.

2. Referencial teórico

Pesquisa operacional (PO) é um termo utilizado para representar ciência e tecnologia da decisão. Primeiramente, a ciência está relacionada as ideias e processos para se formular modelos matemáticos que representem situações reais a serem otimizadas sujeitas a restrições. Além disso, a tecnologia em PO relaciona-se a utilização de *hardwares* e *softwares* para construção de modelos matemáticos e análise de resultados provenientes de otimizações (ARENALES *et al.*, 2007).

Segundo Goldbarg e Luna (2005), os modelos cujas relações matemáticas são lineares são chamados de modelos de programação linear. Para Lachtermacher (2007), programação linear é uma programação matemática em que as equações do problema de otimização são funções lineares, ou seja, as equações são polinômios de primeiro grau.

Um programa de programação matemática examina uma quantidade exponencial de soluções viáveis e considera como solução ótima aquela que otimiza as funções objetivo não violando

as condições de restrição do problema. Nesse sentido, a programação matemática auxilia a PO na modelagem de problemas e análise de soluções (GOLDBARG *et al.* 2016).

Um modelo de programação linear segue três etapas (RAVINDRAN *et al.*, 1987):

1ª Etapa: Identificação das variáveis de decisão e representa-las através de símbolos algébricos;

2ª Etapa: Identificação da função objetivo linear que represente a característica real a ser otimizada em função das variáveis de decisão;

3ª Etapa: Identificação das restrições, expressando-as nas formas de equações e/ou inequações lineares.

De maneira geral, um problema de programação linear é escrito da seguinte maneira:

$$\text{Max } z = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \cdots + \alpha_n x_n$$

Sujeito a :

$$\beta_{11}x_1 + \beta_{12}x_2 + \cdots + \beta_{1n}x_n \leq b_1$$

$$\beta_{21}x_1 + \beta_{22}x_2 + \cdots + \beta_{2n}x_n \leq b_2$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$\beta_{m1}x_1 + \beta_{m2}x_2 + \cdots + \beta_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \cdots, x_n \geq 0$$

(1)

Na forma reduzida, as formulações apresentadas na Eq. (1) são:

$$\text{Max } z = \sum_{j=1}^n \alpha_j x_j$$

Sujeito a :

$$\sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \cdots, m)$$

$$x_1, x_2, \cdots, x_n \geq 0$$

(2)

Onde:

- i : índice da restrição b_i ;
- j : índice da variável de decisão x_j ;
- n : quantidade de variáveis de decisão;
- m : quantidade de restrições;
- z : função objetivo;
- α_j : coeficiente da variável de decisão x_j ;
- β_{ij} : coeficiente da variável de decisão x_j da restrição b_i .

Em situações de otimização linear, a função objetivo pode ser tanto maximizada quanto minimizada, dependendo dos objetivos do problema de otimização. Além disso, as restrições podem ser equações ($=$) ou inequações ($\geq, \leq$) lineares.

Atualmente, existem vários *softwares* que resolvem problemas de programação linear tais como: LINDO (*Linear Interactive and Discrete Optimizer*); LINGO (*Language for Interactive General Optimizer*); What's Best; XPRESS; MINOS; OLS (*Optimization Subroutine Library*); GAMS (*General Algebraic Modeling System*); entre outros. O *software* Excel possui um suplemento que também resolve problemas de programação linear, conhecido como *Solver*. Esse suplemento é bastante utilizado em problemas de otimização linear e utiliza o algoritmo Simplex para a busca da solução ótima de uma função linear (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

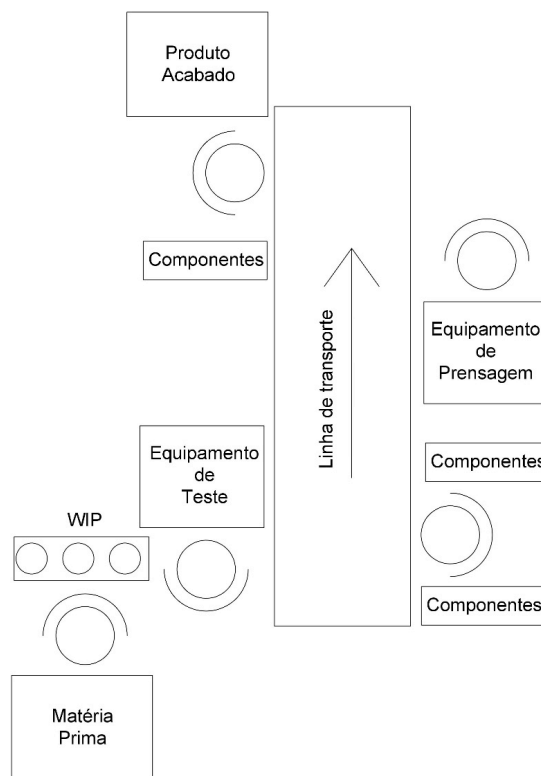
O algoritmo Simplex foi desenvolvido em 1947 nos Estados Unidos por uma equipe liderada por George B. Dantzig. O Simplex é um método que trabalha com interações e parte de uma solução básica factível inicial; a cada iteração o método busca uma solução básica factível adjacente que melhore o valor da função objetivo; dessa maneira, quando o valor ótimo é atingido, o algoritmo finaliza a busca pela solução (BELFIORE e FÁVERO, 2013).

3. Estudo de caso

3.1. Coleta de dados

Este trabalho foi desenvolvido e aplicado em uma indústria de autopeças com o intuito de otimizar o planejamento de produção do setor de acabamento. A empresa busca maximizar seu volume de produção com as menores quantidades de recursos referentes a mão de obra alocada, além de prever se suas linhas são capazes de atender a demanda sem gerar estoque de produto acabado. A Figura 1 representa o *layout* de uma das linhas do setor de acabamento.

Figura 1 – *Layout* de uma linha do setor de acabamento



Fonte: Autores

O setor de acabamento opera em três turnos com 15 colaboradores por turno, sendo estruturado com três linhas contínuas de produção iguais, onde cada linha é composta por 5 colaboradores.

Foi tomado como base o mês de maio de 2017 para o desenvolvimento do trabalho. A empresa possui uma gama de 692 produtos para este setor, onde estes produtos são agrupados por famílias, que se diferem pelo tempo de gargalo de produção e número necessário de colaboradores.

Os 692 produtos resultaram em 13 grupos de famílias. A Tabela 1 representa os grupos de família com seus respectivos tempos de produção, tempo necessário de mão de obra e a demanda por família para o mês em estudo.

Tabela 1. Família de produtos, tempos de produção e necessidade de mão de obra

Família	Gargalo (horas)	Tempo Homem (horas)	Demanda (unidades)
AA	0,00202	0,01011	50348
AB	0,00257	0,01030	259310
AC	0,00293	0,01466	12815
AD	0,00293	0,01173	34475
AE	0,00257	0,01287	11780
AF	0,00202	0,00808	33482
AG	0,00202	0,01213	72045
AH	0,00250	0,01502	2650
AI	0,00250	0,01251	9484
AJ	0,00257	0,00772	5403
AK	0,00439	0,01756	2166
AL	0,00300	0,01201	6254
AM	0,02097	0,06292	23679

Fonte: Autores

Apesar das modificações do método de trabalho, as linhas mantêm a mesma formação, modificando apenas a quantidade de atividades exercidas por posto de trabalho. Todas as famílias podem ser processadas em todas as linhas de produção.

O *Setup* foi desconsiderado para este estudo, visto que a maioria dos processos são realizados de forma manual e os dois equipamentos utilizados são ajustados através de uma interface rápida; dessa maneira, o tempo de *setup* tornasse zero.

Os tempos de ciclo dos postos de trabalho foram extraídos de um banco de dados da empresa. Foi multiplicado o tempo de gargalo pelo número de operadores na linha, obtendo assim o tempo homem para se produzir uma unidade do produto.

A Tabela 2 descreve a divisão de horas por turnos de trabalho para uma linha de produção. Com base no período em análise, multiplicando os dias disponíveis pelas horas de produção,

as linhas contarão com 537,43 horas para produção. Como todas as três linhas de produção operam da mesma forma, o setor conta com 1612,29 horas para produção para atender toda a demanda.

Tabela 2. Análise de horas disponíveis

Dias da semana	Dias	1º turno	2º turno	3º turno
Segunda-feira à quinta-feira	18	7,57	7,72	5,77
Sexta-feira	4	7,57	7,72	6,43
Sábado escala 1	2	5,67	5,67	7,50
Sábado escala 2	2	5,67	5,67	5,67

Fonte: Autores

Com base nos dados coletados do setor de acabamento, a Tabela 3 foi gerada representando a quantidade de colaboradores e as horas disponíveis por turno para cada colaborador em relação a todo o período em análise. O somatório entre a multiplicação do número de colaboradores pelo tempo disponível resulta em uma capacidade máxima de 8061,46 horas de mão de obra.

Tabela 3. Análise de horas de mão de obra

Turno	Número de colaboradores	Tempo disponível (horas)
1º Turno	15	189,13
2º Turno	15	192,43
3º Turno	15	155,86

Fonte: Autores

3.2 Variáveis de decisão

As variáveis de decisão foram definidas como a quantidade de produtos por família a serem produzidos e estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Variáveis de decisão

Variáveis	Descrição
x_1	Quantidade de produtos da família AA

x_2	Quantidade de produtos da família AB
x_3	Quantidade de produtos da família AC
x_4	Quantidade de produtos da família AD
x_5	Quantidade de produtos da família AE
x_6	Quantidade de produtos da família AF
x_7	Quantidade de produtos da família AG
x_8	Quantidade de produtos da família AH
x_9	Quantidade de produtos da família AI
x_{10}	Quantidade de produtos da família AJ
x_{11}	Quantidade de produtos da família AK
x_{12}	Quantidade de produtos da família AL
x_{13}	Quantidade de produtos da família AM

Fonte: Autores

3.3 Função objetivo

Baseado na Eq. (2), obtém-se a Eq. (3) que representa a função objetivo que maximiza o volume de produção das famílias de produtos, onde j representa o índice da família de produto.

$$\text{Max } z = \sum_{j=1}^{13} x_j \quad (3)$$

3.4 Restrições do problema

A primeira restrição do problema é baseada no produto entre a quantidade de produtos de cada família e suas horas de produção referente as três linhas. Assim será calculado as horas necessárias de produção da demanda. O resultado tem de ser igual ou inferior às horas disponíveis do referido mês em estudo, que é de 1612,292 horas. A Eq. (4) descreve a primeira restrição do problema.

$$0,002021x_1 + 0,002574x_2 + 0,002932x_3 + 0,002932x_4 + 0,002574x_5 + 0,002021x_6 + \\ 0,002021x_7 + 0,002503x_8 + 0,002503x_9 + 0,002574x_{10} + 0,004391x_{11} + 0,003002x_{12} + \\ 0,020975x_{13} \leq 1612,292 \quad (4)$$

A segunda restrição do modelo é o produto entre o volume de produção e as horas disponíveis de mão de obra para cada família de produto, representando as horas de mão de obra necessária para produção da demanda. As horas não podem ser superior a capacidade máxima contratada de 8061,46 horas de mão de obra. A Eq. (5) representa a segunda restrição do problema.

$$0,01011x_1 + 0,01030x_2 + 0,01466x_3 + 0,01173x_4 + 0,01287x_5 + 0,00808x_6 + 0,01203x_7 + \\ 0,01502x_8 + 0,01251x_9 + 0,00772x_{10} + 0,01756x_{11} + 0,01201x_{12} + 0,06292x_{13} \leq 8061,46 \quad (5)$$

O problema possui mais 13 restrições referentes as demandas a serem atendidas para a quantidade de cada família. As Eq. (6-18) representam as restrições de acordo com a demanda, tendo de ser menor ou igual para a não geração de estoque, e a Eq. (19) as restrições de não negatividade, visto que para este estudo não se pode obter respostas negativas para quantidade de produtos.

$$x_1 \leq 50348 \quad (6)$$

$$x_2 \leq 259310 \quad (7)$$

$$x_3 \leq 12815 \quad (8)$$

$$x_4 \leq 34475 \quad (9)$$

$$x_5 \leq 11780 \quad (10)$$

$$x_6 \leq 33482 \quad (11)$$

$$x_7 \leq 72045 \quad (12)$$

$$x_8 \leq 2650 \quad (13)$$

$$x_9 \leq 9484 \quad (14)$$

$$x_{10} \leq 5403 \quad (15)$$

$$x_{11} \leq 2166 \quad (16)$$

$$x_{12} \leq 6254 \quad (17)$$

$$x_{13} \leq 23679 \quad (18)$$

$$x_j \geq 0 \quad (19)$$

4. Resultados

4.1 Otimização linear

Aplicando o *Solver*, suplemento do *software Microsoft Excel*, foram obtidos os valores ótimos das variáveis de decisão e o valor máximo de produção, respeitando as restrições do problema de programação linear. Foi considerado valores facionados de modo a possibilitar a análise da sensibilidade dos resultados. A Tabela 5 representa os valores ótimos das famílias de produtos.

Tabela 5. Valores ótimos das famílias de produtos

Família	Quantidade ótima
AA	50348
AB	259310
AC	12815
AD	34475
AE	11780
AF	33482
AG	72045
AH	2650
AI	9484
AJ	5403
AK	2166
AL	6254
AM	18512,128

Fonte: Autores

A partir do resultado das variáveis de decisão, a função objetivo encontrada foi de 518724,128 produtos gerados.

4.2 Análise de sensibilidade

Na análise de sensibilidade é realizado um diagnóstico a respeito de como alterações dos coeficientes da função objetivo e no lado direito das inequações impactam a solução ótima. Essa análise é importante para problemas de otimização lineares na indústria, pois as quantidades de recursos utilizados como restrições não são constantes. Dessa maneira, no presente trabalho, a análise de sensibilidade proporciona uma estimativa das variações dos recursos disponíveis que podem ser realizadas tal que a solução ótima não será alterada, além de proporcionar uma visão dos recursos escassos que são de grande impacto para o sistema e visualizar os recursos que estão em excesso, impactando negativamente no resultado obtido.

Como se deseja obter a máxima produção através da soma das quantidades de produtos, a análise de sensibilidade foi realizada para as restrições do modelo. A Tabela 6 representa a análise de sensibilidade para as restrições.

De acordo com os dados obtidos na Tabela 6, apenas a demanda da família de produto AM não é atendida em sua totalidade pela capacidade produtiva que a empresa possuía, visto que a demanda de 23679 só foi atendida em aproximadamente 18512. Todas as outras demandas são atendidas; essas observações podem ser realizadas a partir da comparação entre as colunas “Valor final” e “Restrição” da Tabela 6.

Outra informação importante obtida na Tabela 6 é de que há um número em excesso de colaboradores para o setor, visto que são utilizadas somente 6544,845 horas de mão de obra frente as 8061,46 horas de mão de obra disponíveis; assim, há um desperdício de 1516,614 horas de mão de obra. Além disso, pode-se observar que o tempo de produção para as três linhas é um recurso escasso, ou seja, todo o tempo de produção é utilizado para se atingir o objetivo, fato este que impossibilitaria a produção de toda a demanda exigida.

Observando a primeira linha da Tabela 6, infere-se que o recurso tempo de produção disponível (1612,292 horas) pode sofrer uma diminuição para 1224,004 horas (1612,292 -

388,287) ou aumentar para 1720,665 horas ($1612,292 + 108,373$) que o volume de produção ótimo irá diminuir ou aumentar aproximadamente 48 unidades, respectivamente.

Observando a segunda linha da Tabela 6, infere-se que o recurso horas de mão de obra disponíveis (8061,46 horas) pode diminuir para 6544,845 horas ($8061,46 - 1516,615$) ou aumentar infinitamente que o volume de produção ótimo não sofrerá alteração.

Tabela 6. Análise de sensibilidade para as restrições

Restrição	Valor final	Dual	Restrição	Permitido aumentar	Permitido reduzir
Tempo de produção	1612,292	47,6764	1612,292	108,3737	388,2827
Horas de mão de obra	6544,845	0,0000	8061,46	Infinito	1516,6144
Demanda AA	50348	0,9036	50348	192115,4892	50348
Demanda AB	259310	0,8773	259310	150856,0651	42105,0412
Demanda AC	12815	0,8602	12815	132433,188	12815
Demanda AD	34475	0,8602	34475	Infinito	34475
Demanda AE	11780	0,8773	11780	150856,0651	11780
Demanda AF	33482	0,9036	33482	192115,4892	33482
Demanda AG	72045	0,9036	72045	192115,4892	53620,851
Demanda AH	2650	0,8807	2650	155159,5404	2650
Demanda AI	9484	0,8807	9484	155159,5404	9484
Demanda AJ	5403	0,8773	5403	150856,0651	5403
Demanda AK	2166	0,7906	2166	88425,62622	2166
Demanda AL	6254	0,8569	6254	129345,0818	6254
Demanda AM	18512,15	0,0000	23679	Infinito	5166,8717

Fonte: Autores

As análises para as restrições de demanda são semelhantes para todas as famílias de produtos. Dessa maneira, escolhendo a família de produtos AB de forma aleatória para se fazer a análise de sensibilidade, observa-se que a demanda AB (259310 unidades) pode diminuir para 217205 ou aumentar para 410167 que o volume de produção ótimo irá sofrer uma diminuição

ou acréscimo de aproximadamente quase uma unidade. As análises para as outras demandas são feitas de forma análoga a da família AB.

4.3 Proposta de melhoria

Com a modificação da restrição, a otimização do modelo foi novamente gerada. A Tabela 7 apresenta os valores ótimos das famílias de produtos.

Tabela 7. Valores ótimos das famílias de produtos

Família	Quantidade ótima
AA	50348
AB	259310
AC	12815
AD	34475
AE	11780
AF	33482
AG	72045
AH	2650
AI	9484
AJ	5403
AK	2166
AL	6254
AM	23679

Fonte: Autores

A partir das análises realizadas na seção 4.2, observou-se que para atender toda a demanda seria necessário a instalação de uma quarta linha de produção, o que aumentaria a restrição de tempo de produção de 1612,292 para 2149,723, visto que cada linha possui 537,431 horas disponíveis.

Como apresentado na Tabela 7, toda a demanda é atendida com quatro linhas de produção, gerando um valor total de produção de 523891 produtos. Com base nos valores ótimos, a Tabela 8 foi gerada representando a análise de sensibilidade para o novo modelo.

Tabela 8. Análise de sensibilidade para as restrições com quatro linhas de produção

Restrição	Valor final	Dual	Restrição	Permitido aumentar	Permitido reduzir
Tempo de produção	1720,666	0	2149,7227	Infinito	429,0570
Horas de mão de obra	6869,967	0	8061,4600	Infinito	1191,4933
Demanda AA	50348	1	50348	117904,7832	50348
Demanda AB	259310	1	259310	115728,9017	259310
Demanda AC	12815	1	12815	81276,6653	12815
Demanda AD	34475	1	34475	101595,832	34475
Demanda AE	11780	1	11780	92583,1214	11780
Demanda AF	33482	1	33482	147380,979	33482
Demanda AG	72045	1	72045	98253,9860	72045
Demanda AH	2650	1	2650	79353,5356	2650
Demanda AI	9484	1	9484	95224,2427	9484
Demanda AJ	5403	1	5403	154305,2023	5403
Demanda AK	2166	1	2166	67835,5265	2166
Demanda AL	6254	1	6254	99226,7977	6254
Demanda AM	23679	1	23679	18935,3852	23679

Fonte: Autores

De acordo com os dados obtidos na Tabela 8, a demanda da família AM, que antes da proposta de melhoria não era atendida, agora é totalmente atendida.

Observa-se na primeira linha da Tabela 8 que o recurso tempo de produção deixou de ser escasso, existindo uma sobra de 429,057 horas (2149,723 - 1720,666). Do ponto de vista de contratual entre fornecedor e cliente, essa adição de uma linha é válida visto que a demanda seria atendida e aumentaria a satisfação dos clientes em relação a prazo de entrega de

produtos. É importante salientar, que não foram considerados aspectos econômicos quanto aos investimentos para se ter uma linha de produção a mais. Essa proposta de melhoria restringiu-se apenas ao atendimento de demanda. Essas 429,057 horas a mais de tempo de produção podem ser utilizadas para paradas planejadas de manutenção e processamento de outros produtos.

Mesmo através da ativação de mais uma linha de produção, há ainda sobra de tempo de mão de obra de 1191,493 horas (8061,460 - 6869,967). Como a média de horas de mão de obra para o período analisado é de 537,43 horas, 6 colaboradores podem ser remanejados para outros setores que o valor ótimo do modelo não sofrerá alteração.

Nesse novo cenário, o tempo de produção poderá diminuir 429,057 horas ou aumentar em qualquer valor que a solução ótima não irá sofrer alteração. As horas de mão de obra podem reduzir 1191,493 horas ou aumentar em qualquer valor que a solução ótima não será alterada; porém, não é aconselhado aumentar esse recurso visto que há mão de obra excedente.

5. Conclusão

Este artigo apresentou a aplicação da programação linear em uma linha de produção por lotes como forma de planejamento de capacidade e produção. Foi demonstrado como a otimização e a leitura dos resultados da programação linear permitem que a empresa melhor adeque seus recursos baseando-se na demanda presente.

Com base no resultado primário, foi possível levantar hipótese de quantidade de linha de produção e mão de obra de modo que toda a demanda fosse atendida com a menor quantidade de recurso alocado. A partir da hipótese gerada, foi possível verificar o resultado alcançado com o auxílio do *Solver*, suplemento do *software Microsoft Excel*, gerando assim um planejamento de produção para o período em análise.

Os resultados demonstraram a grande eficiência da aplicação da programação linear no planejamento de produção. Foi possível visualizar a necessidade de criação de mais uma linha de produção para atender toda a demanda e a possibilidade de alocação de 6 colaboradores, visto que há um valor excedente de 1191,493 horas de mão de obra.

Este trabalho pode ser aplicado para o planejamento de produção e análise de capacidade para períodos futuros para as linhas de produção desta empresa. Pode ser aplicado também a diversos setores e empresas que possuem configuração de linha em produção por lotes,

chegando a uma visão da melhor configuração que atinja toda a demanda com o mínimo de recurso alocado.

REFERÊNCIAS

ADAMSON, Richard; HOBBS, Martin; SILCOCK, Andy; WILLIS, Mark J. Integrated real-time production scheduling of a multiple cryogenic air separation unit and compressor plant. *Computers & Chemical Engineering*, v. 104, pp. 25-37, 2017.

ARAÚJO, Renan Rodrigues; SANTOS, Yvelyne Bianca Iunes. Utilização da Pesquisa Operacional para Minimização de Custos de Mão de Obra em uma Construtora Localizada na região Metropolitana de Belém. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), João Pessoa, 2016.

ARENALES, Marcos Nereu; ARMENTANO, Vinícius; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horácio. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

AUBRY, Alexis; EL HAOUZI, Hind Bril; THOMAS, André; JACOMINO, Mireille. Product Driven Systems Facing Unexpected Perturbations: How Operational Research Models and Approaches Can Be Useful? *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*, v. 694, pp. 259-267, 2017.

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. *Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAMPOS, Leonardo Lopes; FERRO, Newton José. A Otimização da Produção de tubos Estruturais Através da Pesquisa Operacional. *Revista Projectus*, v. 1, n. 1, pp. 24-29, 2016.

LACHTERMACHER, Gerson. *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões: Modelagem em Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

GOLDBARG, Marco César; LUNA, Henrique Pacca Loureiro; GOLDBARG, Elizabeth Ferreira Gouvêa. Programação Linear e Fluxos em Redes. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca Loureiro. Otimização Combinatória e Programação Linear. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. Introdução à Pesquisa Operacional. 9ª Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HONG, Zhaofu; CHU, Chengbin; YU, Yugang. Dual-Mode Production Planning for Manufacturing with Emission Constraints. European Journal of Operational Research, v. 251, n. 1, pp. 96-106, 2015.

JUNG, Hosang. A Fuzzy AHP-GP Approach for integrated production-planning considering manufacturing partners. Expert Systems with Applications, v. 38, pp. 5833-5840, 2011.

MIRANDA, Marcelo de Abreu. Um Modelo de Otimização Inteira Mista na Programação de Produção de Mangueiras Hidráulicas. Conselho de Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2015.

RAVINDRAN, A.; PHILLIPS, D.T.; SOLBERG, J.J. Operations Research, Principles and Practice. 2ª Ed. New York: John Wiley, 1987.

Capítulo 4

APLICAÇÃO DE MODELO ARIMA NA DEMANDA TURÍSTICA INTERNACIONAL DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL, BRASIL

Bruno Matos Porto
Vanessa Aline Wagner Leite
Daniela Althoff Philippi

APLICAÇÃO DE MODELO ARIMA NA DEMANDA TURÍSTICA INTERNACIONAL DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL, BRASIL

Bruno Matos Porto (UFMS)

Vanessa Aline Wagner Leite (UFMS)

Daniela Althoff Philippi (UFMS)

Resumo

O objetivo deste trabalho foi gerar previsões e verificar a precisão no curto prazo do modelo univariado ARIMA, na previsão da demanda de turismo do estado de Mato Grosso do Sul (MS). Com uso do software R, com base nos dados da ferramenta base de dados extrator do Instituto Brasileiro de Turismo (Embratur). Os dados são referentes às chegadas turísticas por todas as vias registradas no MS entre janeiro de 2007 a setembro de 2016. As previsões da demanda turística abrangeram o intervalo de outubro a dezembro de 2016, sendo então comparadas aos dados reais do mesmo período. A previsão do modelo foi comparada por meio dos critérios MAPE, MAD e MSD, onde os resultados gerados pelas medidas de erros mostraram que ARIMA gerou boas previsões. Recomenda-se a estudos futuros executar a previsão da demanda turística com mais modelos de previsão tal como o método de suavização exponencial de (Holt-Winters, 1960) e redes neurais.

Palavras-Chave: Previsão; Séries Temporais; Medida de precisão.

1. Introdução

A atividade turística necessita de um planejamento de previsão de demanda turística (CHU, 1998; SERRA, TAVARES; SANTOS, 2005). Neste enfoque é consenso que planejamento se relaciona com as decisões que serão tomadas e afetará o futuro (GOH; LAW, 2002). As previsões de curto prazo são relevantes para vários objetivos de gestão como bem explicado por Gunter e Önder (2015, p. 123), “previsão de curto prazo da previsão da demanda nos próximos dois ou três meses pode ajudar o destino a ter mais flexibilidade operacional, por exemplo, em termos de número de ônibus do aeroporto para o centro da cidade”.

Diante disto, os serviços turísticos necessitam de um planejamento preditivo que é obtido via previsão acurada da demanda turística (GOH, LAW; MOK, 2008). Outro aspecto significativo nos dados da demanda turística é a natureza da sazonalidade que deve ser

identificada antes da seleção do modelo de previsão ideal que considere a sazonalidade (GOH; LAW, 2002).

O estudo é importante devido aos impactos do fenômeno turístico na economia do Brasil e sua parte considerável no desenvolvimento econômico e social através de geração de empregos diretos, indiretos e renda (CASANOVA et al., 2012), tendo em vista que a indústria do turismo no Brasil, com base nos dados disponíveis pela Embratur, representa 9% do PIB, assim gerou direta e indiretamente mais de 7,5 milhões de empregos no Brasil, além disso, mantém milhões de micro e pequenas empresas de muitos segmentos da economia (EMBRATUR, 2017d).

A previsão de demanda do turismo é um assunto significativo para os praticantes e acadêmicos (SONG; LI, 2008; KIM et al., 2011; GUNTER; ÖNDER, 2015). A predição de demanda turística desempenha um papel fundamental no planejamento turístico uma vez que os projetos de investimento no turismo que utilizam altos recursos financeiros precisam de uma previsão precisa do que irá ocorrer futuramente com a demanda (CHO, 2003). É amplamente concordado que as regiões específicas precisam de previsões precisas da procura do turismo, mas existem poucas pesquisas, neste sentido, devido à falta de informação estatística (CLAVERIA; TORRA, 2014).

A pesquisa de Chu (1998) aplicou os modelos ARIMA sazonal e não sazonal, *Holt-Winters* nos dados de chegada de turistas nos países da Ásia-Pacífico. Os resultados revelaram que a previsão no curto ou médio prazo de ARIMA sazonal e não sazonal foram os mais acurados dos modelos testados, jugado pelo critério MAPE, assim, testou-se a acuracidade dos modelos ARIMA sazonal e não sazonal, *Holt-Winters*, por meio, de MAPE e receberam um percentual abaixo de 10%.

No estudo de Goh e Law (2002) aplicaram-se os modelos SARIMA e MARIMA, com intervenções nas dez séries temporais de chegadas mensais para Hong Kong de dez países de origem e, para avaliar os desempenhos das previsões, utilizaram-se os índices de desempenho MAD, RMSE, RMSPE, MSE, MAPE e Theil's U. Destacou-se o modelo preditivo MARINA, no entanto depende do mercado de origem, pois em alguns mercados o desempenho individual do modelo SARIMA supera as previsões de MARINA.

Na procura do turismo de Paris compararam-se modelos univariados (ARIMA, ES e Naive 1) e multivariados (VAR clássico e bayesiano, TVP, EC-ADLM) de previsão com a finalidade de avaliar a acuracidade dos sete modelos mediante as medidas de erro RMSE e MAE. Os resultados evidenciaram que todos os modelos testados tiveram melhor desempenho preditivo

do que o modelo Naive 1, em vários horizontes de predição e mercados de origem (GUNTER; ÖNDER, 2015).

Na previsão de curto, médio e longo dos dados de chegadas turísticas em países da Europa, através da aplicação dos modelos ARIMA, ETS, NN, TBATS, ARFIMA, MA, WMA, SSA-R e SSA-V. E comparação da acurácia destes modelos pela medida de discrepância RMSE, DC e DM. Constatou-se que em diferentes horizontes de previsão e mercados pesquisados, não identificou um único modelo que tivesse melhor desempenho do que todos os diversos modelos testados em todas as circunstâncias (HASSANI et al., 2017).

O objetivo desta pesquisa foi gerar previsões e verificar a precisão especificamente num único horizonte de três meses à frente e comparar as previsões com os dados reais, por meio, dos critérios MAD, MAPE e MSD. Aplicado o modelo univariado (ARIMA sem intervenção). No contexto turístico nos dados de MS em uma única série temporal de chegadas turísticas internacionais.

2. Fundamentação teórica

Apresentam-se, com base na literatura, demanda turística, ARIMA e medida de precisão.

2.1 Demanda turística

Nas últimas décadas, houve um crescimento significativo da procura do turismo no mundo (GOH; LAW, 2002; SONG; LI, 2008; HASSANI et al., 2017). Além disso, os serviços turísticos têm uma natureza perecível o que estabelece a necessidade de previsão precisa da demanda do turismo (GOH, LAW; MOK, 2008; GUNTER; ÖNDER, 2015).

A predição da demanda turística de uma cidade é fundamental para a estratégia de planejamento do ponto de vista do turismo, que proporciona expansão dos serviços turísticos tanto em investimento de recursos humanos (treinamento) como estrutura física para atender as necessidades das pessoas (CASANOVA et al., 2012). Neste sentido, Claveria e Torra, (2014, p. 220), afirmam que “as previsões precisas do volume do turismo desempenham um papel importante no planejamento do turismo, pois permitem que os destinos prevejam necessidades de desenvolvimento de infraestrutura”.

Alguns motivos para se prever uma futura demanda turística são apontados por Gunter & Önder (2015, p. 123), como:

O quarto do hotel que não é vendido, amanhã será uma perda de receita. Um destino também precisa saber sobre quantos turistas são esperados para que a quantidade de voos para o destino pode ser ajustado, novos hotéis podem ser construídos e funcionários adicionais podem ser contratados.

2.2 Auto-regressive integrated moving average (ARIMA)

Dentre os modelos utilizados para analisar uma série de tempo univariada tem-se o ARIMA. Proposto por Box-Jenkins em 1976, este modelo usa uma combinação de três componentes que são autorregressivo (AR), filtro de integração (I) e médias móveis (MA) (BUNDCHEN, 2016b).

O modelo ARIMA utilizado nesta pesquisa é uma versão automática chamada de auto.arima. Onde o valor de d é escolhido com base em repetidos testes de raiz de unidade KPSS, em seguida são selecionados os valores de p e q minimizando o Critério de Informação Akaike (AIC) para determinar os valores.

$$\phi(B)(1 - B^d)y_t = c + \theta(B)\varepsilon_t \quad (9)$$

Onde, ε_t é um processo de ruído branco com zero médio e variância σ^2 , B é o operador de mudança de turno, e $\phi(Z)$ e $\theta(Z)$ são polinômios da ordem p e q , respectivamente. Para garantir causalidade e invertibilidade, presume-se que $\phi(Z)$ e $\theta(Z)$ não têm raízes para $|Z| < 1$ (Brockwell e Davis, 1991). Se $c \neq 0$, existe um polinômio implícito de ordem d na função de previsão (HYNDMAN; KHANDAKAR, 2008). O modelo de previsão automático ARIMA seleciona a ordem de p , q e d , por meio do critério de Informação conforme o AIC:

$$AIC = -2 \log(L) + 2(p + q + P + Q + k) \quad (10)$$

Em que $k = 1$ se $c \neq 0$ e 0 de outra forma, e L é a probabilidade máxima do modelo fixado para dados diferidos $(1 - B^m)^D (1 - B)^d y_t$. A probabilidade de o modelo completo para y_t não é realmente definida e, portanto, o valor da AIC para diferentes níveis de difusão não é comparável (HYNDMAN; KHANDAKAR, 2008).

Assim, o algoritmo Hyndman-Khandakar seleciona o modelo que apresenta o menor valor AIC de: ARIMA (2, d , 2), ARIMA (0, d , 0), ARIMA (1, d , 0) e ARIMA (0, d , 1) dentre os quatros modelos (HASSANI et al., 2017). Para os leitores mais interessados nos detalhes de funcionamento da modelagem ARIMA basta ver a seção 8.7 em Hyndman e Athanasopoulos (2013).

2.3 Medida de precisão

Medidas de erro são métodos de se obter informações sobre a robustez da previsão do modelo de previsão em prever os valores reais, tanto para o ajuste do modelo aos dados, quanto a previsão de valores fora da amostra (MAKRIDAKIS, 1993).

Numa pesquisa bibliográfica sobre previsão de demanda turística de 2005 até 2015, com um total de 129 artigos, Bündchen (2016), constatou que *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) é o critério mais usado na predição da procura do turismo. O *Mean Absolute Deviation* (MAD) constitui-se uma das primeiras medidas de erro, sendo singela de calcular e simples de compreender (BONETT; SEIER, 2003).

MAPE e MAD são indicadores de desempenho que geram a diferença entre o real e o previsto, neste sentido, quanto menor os valores gerados pelos indicadores, melhor é a acuracidade das previsões (SAFARI; DAVALLOU, 2018).

O MAPE é uma medida de erro estatística que gera informações de erro de previsão em porcentagem, além disso, é simples de calcular e simples de compreender (DAS, MISHRA; ROUT, 2017). Assim, MAPE é muito utilizado pela sua facilidade de interpretação (DE MYTTENAERE et al., 2016), por ser fácil de interpretação o MAPE é um dos critérios mais conhecidos de acuracidade da predição (KIM; KIM, 2016). MAD é classificado na previsão de série de tempo como um critério básico de erro de previsão (DAS, MISHRA; ROUT, 2017).

O *Mean Squared Error* (MSE) mensura o erro quadrático, os resultados de MSE quanto mais próximo de zero é melhor também apresenta a diferença entre o valor real e o valor previsto e geralmente é utilizado para verificar como o modelo de previsão se ajustou as observações (DAS, MISHRA; ROUT, 2017).

$$MAD = \frac{\sum |R-D|}{n} \quad (11)$$

$$MSD = \frac{\sum (R-D)}{n-1} \quad (12)$$

$$MAPE = \frac{\sum |R-D/R|}{n} \cdot 100, (R \neq 0) \quad (13)$$

Fonte: Adaptado de Da Silveira Bueno, (2008)

Sendo, R = valor real de demanda; D = previsão; n = número de observações.

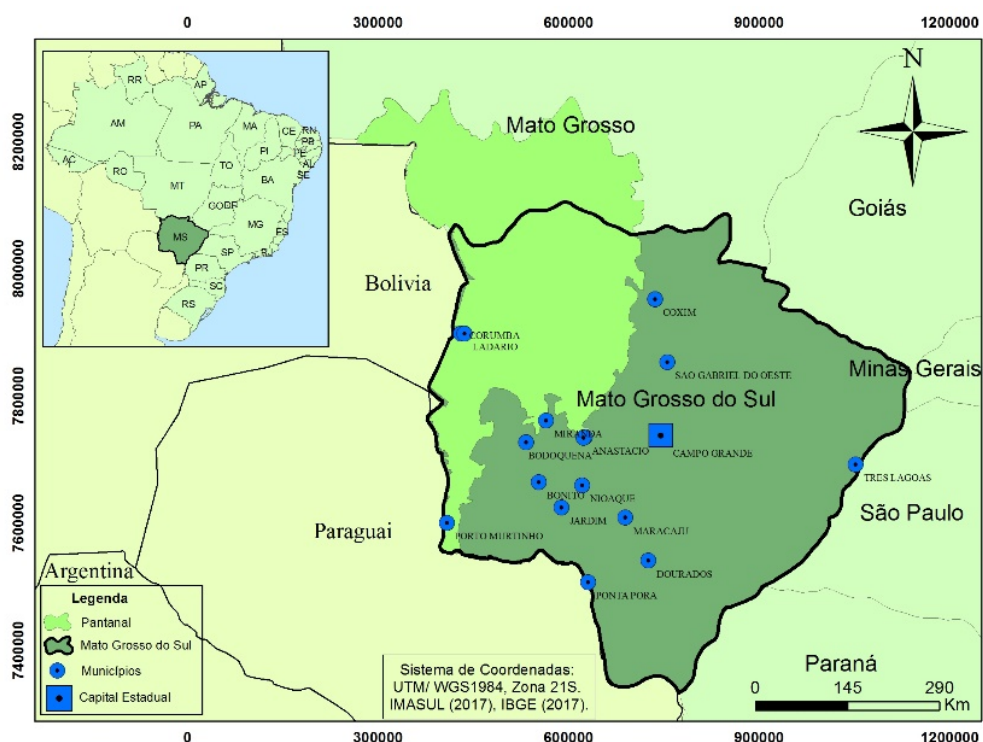
3. Procedimentos metodológicos

Essa seção apresenta-se a área de estudo, coleta de dados e o pacote usado no ambiente de trabalho R studio.

3.1 Área de estudo

O Estado do Mato Grosso do Sul (Figura 2), localizado no centro-oeste brasileiro, possui cerca de 357.145,531 Km² e conta com uma população estimada em mais de 2,5 milhões de habitantes (IBGE, 2016). Situado em região transfronteiriça com Paraguai e Bolívia a Oeste, faz divisa com os Estados brasileiros Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Goiás a Leste e o Estado de Mato Grosso ao Norte.

Figura 1 - Localização do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores através do software ARCGIS (2012)

O Estado encontra-se em parte inserido em uma importante unidade geológica como a Bacia Sedimentar do Pantanal que lhe confere potencialidades turísticas manifestadas nos municípios de Corumbá, Miranda e Aquidauana correspondendo ao Pantanal e nos municípios de Bodoquena, Bonito e Jardim pela relevância de seu ambiente cárstico (MATO GROSSO DO SUL, 2017). localizado na zona de transição da borda do Pantanal sul-matogrossense. Essa unidade representa também um importante cenário hidrográfico, além da riqueza em sua biodiversidade e da beleza paisagística.

O Pantanal sendo a maior planície alagável do mundo e patrimônio da humanidade segundo a UNESCO (MATO GROSSO DO SUL, 2017), abrange entre suas atividades turísticas o ecoturismo, buscando realizar suas atividades de maneira sustentável preservando e conservando as belezas naturais. O turismo cultural relacionadas a festas e eventos culturais do estado, o turismo de pesca esportiva em virtude da riqueza fluvial do rio Paraguai e seus afluentes. Suas atividades contam com pousadas pantaneiras que oferecem pacotes para contemplação da fauna e flora, passeios de chalanas pelos rios da bacia hidrográfica do rio Paraguai, observação de aves típicas da região, Safaris e Voos panorâmicos (ROTTA, 2006).

Adjacente ao Pantanal, devido ao seu relevo cárstico e rochas carbonáticas, a região de Bodoquena, Bonito e Jardim possuem peculiaridades turísticas através de seus “rios de águas cristalinas que abrigam exuberante fauna ictiológica; cachoeiras, fauna terrestre, flora; grutas e ainda pelo contraste da planície com a Serra da Bodoquena” (BARBOSA e ZAMBONI, 2000, p. 06) apresentando “inúmeras cavernas, dolinas, ressurgências e sumidouros, dentre outras feições, além de promover uma extrema limpidez dos cursos d’água que nela têm suas nascentes” (MATO GROSSO DO SUL, 2010, p. 15).

3.2 Coleta de dados

Os dados foram coletados a partir da ferramenta base de dados extrator que de acordo com o (Embratur, 2017a) é:

O extrator de dados sobre a Chegada de turistas internacionais não residentes ao Brasil é uma ferramenta eletrônica interativa que representa importante incremento na disseminação de informações sobre o setor turismo relativas Brasil, unidades da federação, regiões.

Além disso, serve para “A série disponibilizada permite o acompanhamento da evolução do fluxo receptivo internacional de turistas, e dá ao usuário a flexibilidade, rapidez, precisão e consistência de informações que a análise gerencial de informações requer” (EMBRATUR,

2017b). Um detalhe importante sobre a coleta e a ferramenta é que “O extrator de dados é uma customização do Saiku, software de código aberto para análise de dados desenvolvida pela Meteorite BI” (EMBRATUR, 2017c).

Tanto a ferramenta como as informações sobre a mesma são disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Turismo (Embratur) no site da Embratur, portanto mediante a ferramenta a coleta foi referente às chegadas turísticas por todas as vias (totais) dos períodos de janeiro de 2007 a setembro de 2016, atingindo 117 períodos mensais de amostra. Os dados utilizados encontram-se no quadro 1:

Quadro 1 - Chegadas turísticas internacionais por todas as vias para Mato Grosso do Sul de janeiro de 2007 a setembro de 2016

Mês/Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Janeiro	6.888	6.715	19.747	21.260	5.477	7.314	6.031	8.454	7.542	12.544
Fevereiro	5.412	6.073	13.896	15.066	4.469	3.205	4.165	5.129	4.994	6.687
Março	4.583	6.252	13.527	14.540	2.890	4.314	4.129	3.909	4.400	6.011
Abril	3.406	2.922	3.821	4.167	4.045	2.993	3.144	4.302	4.533	5.003
Maio	3.716	3.243	1.162	2.952	3.072	1.897	2.290	4.085	3.697	4.262
Junho	3.080	2.675	955	3.244	2.142	4.196	2.269	6.905	3.250	4.278
Julho	5.957	3.462	2.035	2.221	2.528	4.072	3.694	4.512	4.941	6.212
Agosto	5.946	3.702	1.401	1.538	1.402	2.919	2.817	3.867	3.508	5.398
Setembro	3.542	3.070	964	1.058	1.467	2.545	1.230	3.488	1.636	4.973
Outubro	3.660	2.746	361	652	2.866	2.309	2.745	3.334	4.192	-
Novembro	3.809	3.431	269	876	3.241	1.732	2.945	3.732	4.225	-
Dezembro	5.210	5.217	257	566	5.501	6.395	6.064	10.282	9.683	-

Fonte: Adaptada pelos autores a partir de EMBRATUR (2017)

Após a coleta da amostra para avaliar a normalidade desta amostra foi aplicada a estatística Shapiro-Wilk Test (SWT) em R usando a função *shapiro.test* para detectar a distribuição normal na amostra. O Shapiro-Wilk Test (SWT) é um poderoso e competitivo teste para a normalidade (LEE, QIAN; SHAO, 2014). Realizado o *shapiro.test* e analisado os resultados apresentados na tabela 1. Verifica-se que a amostra possui uma distribuição normal.

Tabela 1 - Resultado Shapiro-Wilk Test (SWT)

Shapiro-Wilk	W	p-value
	0.76	1.512e-12

Fonte: Elaborada pelos autores

3.3 Pacote em R studio

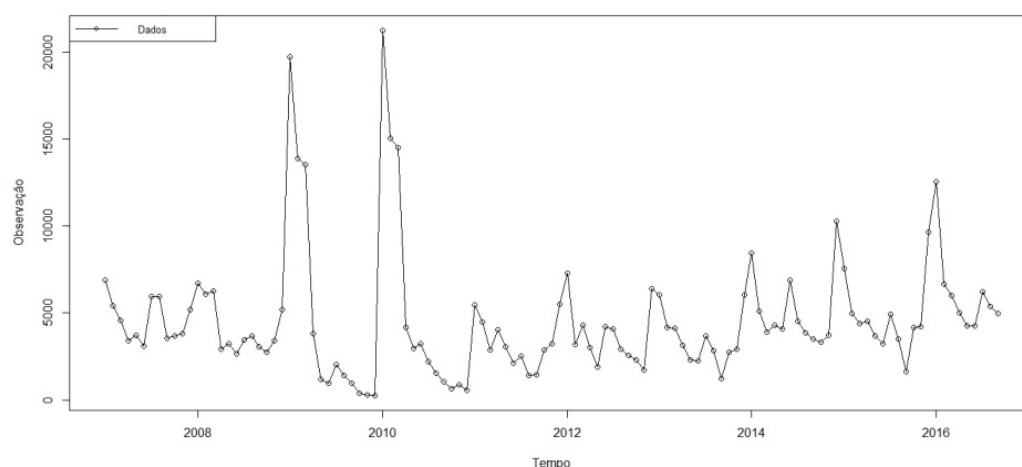
Para fazer as previsões e verificar a precisão do modelo ARIMA, foi adotado com o apoio do software estatístico R. Procedeu-se as análises de previsão e acuracidade das previsões no *R studio* que é uma extensão do ambiente R, mediante o pacote *forecast* do R. Os cálculos das medidas de erro MAD, MAPE e MSD também foram executados com o pacote *forecast* no *R studio*.

A função em R utilizada para prever os valores no curto prazo é *auto.arima*, (HYNDMAN; KHANDAKAR, 2008; HYNDMAN, 2017). Já para verificar a acuracidade do modelo de previsão foi usada a função *accuracy*. Assim, contemplando o período entre janeiro de 2007 até setembro de 2016, verificou-se o comportamento das previsões com os dados reais que foram disponibilizados pela Embratur pertencentes ao período de outubro a dezembro de 2016.

4. Resultados e discussões

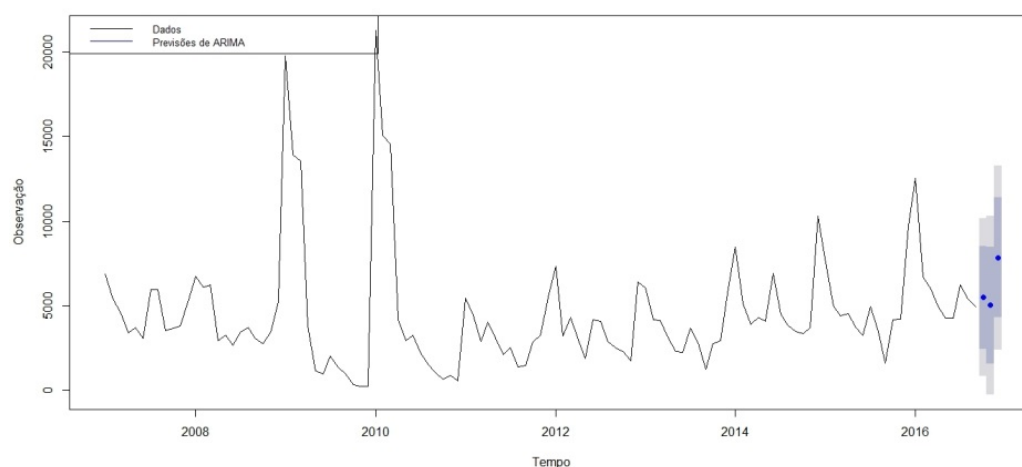
A princípio procedeu-se a criação de um gráfico de série temporal mediante os dados coletados de chegadas turísticas e atendem-se as orientações de Hyndman e Athanasopoulos (2013), que recomendam inicialmente mostrar os dados em gráfico, construiu-se o gráfico de série temporal representado na figura 2.

Figura 2 - Chegadas turísticas internacionais por todas as vias



Fonte: Elaborado pelos autores através do software R e com base em dados da EMBRATUR (2017)

Figura 3 - Previsões de ARIMA de outubro até dezembro de 2016



Fonte: Elaborado pelos autores com software R (2017)

O parâmetro do modelo ARIMA selecionado com o menor critério de informação akaike (AIC) estes referentes às previsões são demonstradas na tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetro de previsões do modelo ARIMA

ARIMA
(1,0,0) (1,0,0)

Fonte: elaborada pelos autores

O modelo descrito foi utilizado para gerar as previsões de 3 meses das chegadas turísticas. As observações e ARIMA em números para os meses de outubro até dezembro de 2016 podem ser visualizadas no quadro 2.

Quadro 2 - Comparação dos valores previstos com dados reais

Meses	Dados reais	ARIMA
Outubro	4.946	5.495,44
Novembro	5.716	5.021,20
Dezembro	10.998	7.843,58

Fonte: elaborada pelos autores com base em EMBRATUR (2017)

As medidas de erro MAPE, MAD e MSD apresenta a precisão do modelo em comparação com os dados reais.

Tabela 3 - Medidas de erro

Modelo	MAPE	MAD	MSD
ARIMA	17.31526%	1099,92570	3578332,30

Fonte: elaborada pelos autores

O ARIMA teve um desempenho razoável com base nos resultados dos critérios MAPE, MAD e MSD como pode ser observada na tabela 3. De acordo com as diretrizes de Lewis (1982), os resultados de MAPE entre 10% e 20% são interpretados como previsão precisa, diante disso, ARIMA apresentou boas previsões.

5. Considerações finais

O resultado da pesquisa mostrou-se que ARIMA fornece boas previsões da demanda turística internacional de Mato Grosso do Sul, indicando a possibilidade de utilização do modelo ARIMA para prever a demanda turística de Mato Grosso do Sul, pelos planejadores turísticos da região. A limitação da pesquisa foi aplicar um único modelo de previsão. Para superar essa limitação sugere-se a estudos futuros executar a previsão da demanda turística com mais modelos de previsão tal como o método de suavização exponencial de (Holt-Winters, 1960) e redes neurais.

REFERÊNCIAS

ARCGIS, ESRI. 10.1. Redlands, California: ESRI, 2012.

BARBOSA, Maria Alice Cunha; ZAMBONI, Roberto Aricó. Formação de um 'cluster' em torno do turismo de natureza sustentável em Bonito-MS. 2000. p. 06. Disponível em: <<https://goo.gl/9JFCiM>> Acesso em: 14 Ago 2017.

BONETT, Douglas G.; SEIER, Edith. Statistical inference for a ratio of dispersions using paired samples. Journal of Educational and Behavioral Statistics, v. 28, n. 1, p. 21-30, 2003.

BROCKWELL, Peter J.; DAVIS, Richard A. Time series: theory and methods. Springer-Verlag, 2nd edition, New York, 1991.

BÜNDCHEN, Cristiane. Previsão de demanda turística e a acurácia das previsões frente à realização de megaeventos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BUNDCHEN, Cristiane; WERNER, Liane. Comparação da Acurácia de Previsões de Demanda Turística em Sedes Olímpicas. Revista Turismo em Análise, v. 27, n. 1, p. 85-107, 2016 (b).

CASANOVA, Sidnei et al. PREVISÃO DA DEMANDA TURÍSTICA DA CIDADE DE FOZ DO IGUAÇU: UMA APLICAÇÃO COM OS MODELOS ARIMA. Turismo: Visão e Ação, v. 14, n. 3, 2012.

CHO, Vincent. A comparison of three different approaches to tourist arrival forecasting. Tourism management, v. 24, n. 3, p. 323-330, 2003.

CHU, Fong-Lin. Forecasting tourism demand in Asian-Pacific countries. Annals of Tourism Research, v. 25, n. 3, p. 597-615, 1998.

CLAVERIA, Oscar; TORRA, Salvador. Forecasting tourism demand to Catalonia: Neural networks vs. time series models. Economic Modelling, v. 36, p. 220-228, 2014.

DA SILVEIRA BUENO, Rodrigo De Losso. Econometria de séries temporais. Cengage Learning, 2008.

DAS, Smruti Rekha; MISHRA, Debahuti; ROUT, Minakhi. A hybridized ELM-Jaya forecasting model for currency exchange prediction. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2017.

DE MYTTENAERE, Arnaud et al. Mean absolute percentage error for regression models. *Neurocomputing*, v. 192, p. 38-48, 2016.

EMBRATUR. Acesse o EXTRATOR DE DADOS. Disponível em: <<https://goo.gl/TNuk1X>> Acesso em: 29 Jun. 2017.

EMBRATUR. O QUE É. Disponível em: <<https://goo.gl/SqyAao>> Acesso em: 29 Jun. 2017a.

EMBRATUR. PARA QUE. Disponível em: <<https://goo.gl/4WrFcu>> Acesso em: 29 Jun. 2017b.

EMBRATUR. TERMOS E CONDIÇÕES DE USO. Disponível em: <<https://goo.gl/k6Wgx5>> Acesso em: 29 Jun. 2017c.

EMBRATUR. Turismo já ajudou países a superar crises e pode fazer o mesmo no Brasil. Disponível em: <<https://goo.gl/QwCPQy>> Acesso em: 22 Jun. 2017d.

GOH, C; LAW, R; MOK, H.M.K. Analyzing and forecasting tourism demand: A rough sets approach. *Journal of Travel Research*, v.46, n.3, p.327-338, 2008.

GOH, Carey; LAW, Rob. Modeling and forecasting tourism demand for arrivals with stochastic nonstationary seasonality and intervention. *Tourism management*, v. 23, n. 5, p. 499-510, 2002.

GUNTER, Ulrich; ÖNDER, Irem. Forecasting international city tourism demand for Paris: Accuracy of uni-and multivariate models employing monthly data. *Tourism Management*, v. 46, p. 123-135, 2015.

HASSANI, Hossein et al. Forecasting accuracy evaluation of tourist arrivals. *Annals of Tourism Research*, v. 63, p. 112-127, 2017.

HYNDMAN, Rob J. *forecast: Forecasting functions for time series and linear models*. R package version 8.2, 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/nykh6h>> Acesso em: 01 Nov. 2017.

HYNDMAN, Rob J.; ATHANASOPOULOS, George. *Forecasting: principles and practice*. Seção 1/6. OTexts, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/R1Xdu8>> Acesso em: 01 Jul. 2017.

HYNDMAN, Rob J.; ATHANASOPOULOS, George. *Forecasting: principles and practice*. Seção 8/7. OTexts, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/QiimWh>> Acesso em: 20 Jul. 2017.

HYNDMAN, Rob J.; KHANDAKAR, Yeasmin. Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, v. 27, n. 3, p. 1–22, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados. Disponível em: <<https://goo.gl/arjBQb>>. Acesso em: 23 Nov. 2017.

KIM, Jae H. et al. Beyond point forecasting: evaluation of alternative prediction intervals for tourist arrivals. *International Journal of Forecasting*, v. 27, n. 3, p. 887-901, 2011.

KIM, Sungil; KIM, Heeyoung. A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, v. 32, n. 3, p. 669-679, 2016.

LEE, Richie; QIAN, Meng; SHAO, Yongzhao. On rotational robustness of Shapiro-Wilk type tests for multivariate normality. *Open Journal of Statistics*, v. 4, n. 11, p. 964, 2014.

LEWIS, Colin David. *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. Butterworth-Heinemann, 1982.

MAKRIDAKIS, Spyros. Accuracy measures: theoretical and practical concerns. *International Journal of Forecasting*, v. 9, n. 4, p. 527-529, 1993.

MATO GROSSO DO SUL. BODOQUENA-PANTANAL, GEOPARK. Dossiê de candidatura à Rede Global de Geoparks Nacionais sob auspício da Organização das Nações

Unidas para Educação, Ciências e Cultura. 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/7sSUrg>>
Acesso em: 14 Ago 2017.

MATO GROSSO DO SUL. Fundação de Turismo de MS–FUNDTUR. Indicadores Turísticos de MS. Disponível em: <<https://goo.gl/h8icqB>> Acesso em: 14 Ago 2017.

ROTTA, Marco Aurélio; LUNA, Helder Silva e.; WEIS, Wilson Antonio. Ecoturismo no Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/Eh6YRe>>
Acesso em: 14 Ago 2017.

SAFARI, Ali; DAVALLOU, Maryam. Oil price forecasting using a hybrid model. Energy, 2018.

SERRA, Cláudio Mauro Vieira; TAVARES, Heliton Ribeiro; SANTOS, Julio César Correa. Aplicação de séries temporais na análise de demanda turística no Estado do Pará usando os modelos de Holt-Winters. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005.

SONG, Haiyan; LI, Gang. Tourism demand modelling and forecasting—A review of recent research. Tourism management, v. 29, n. 2, p. 203-220, 2008.

Capítulo 5

INVESTIGANDO A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO AGREGADOS NA MATÉRIA PRIMA PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Carlos Alberto de Albuquerque
Carlos Henrique Pereira Mello
Vinicius de Carvalho Paes
José Henrique de Freitas Gomes
Daniel Soares de Alcântara

INVESTIGANDO A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO AGREGADOS NA MATÉRIA PRIMA PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Carlos Alberto de Albuquerque (IFSULDEMINAS)

Carlos Henrique Pereira Mello (UNIFEI)

Vinicius de Carvalho Paes (UNIFEI)

José Henrique de Freitas Gomes (UNIFEI)

Daniel Soares de Alcântara (CEFET-MG)

Resumo

Um dos grandes problemas da sociedade moderna é a destinação dos resíduos gerados pela mesma. Dar uma destinação que seja, ambientalmente correta e ao mesmo tempo economicamente viável, é um objetivo perseguido por grande parte da sociedade e principalmente pela sociedade acadêmica. Um tipo de resíduo que vem chamando a atenção, tanto pelo incremento de sua taxa de produção como pelo potencial em degradar o ambiente, é o resíduo de componentes eletroeletrônicos. A utilização de resíduos na indústria da construção civil já é utilizada a muito tempo e parece ser uma boa alternativa de tratamento de resíduos de componentes eletroeletrônicos.

Palavras-chave: Agregado; lixo eletroeletrônico; tratamento de resíduos

1. Introdução

A preocupação com a degradação ambiental causada pelo padrão de consumo predominante capitalista no nosso planeta não é recente. Já em meados da década de 1970 vários documentos, como a Agenda 21 e o relatório Limites do crescimento do clube de Roma, tratavam da degradação ambiental e sua relação com o consumo crescente, e foram importantes no incremento do debate sobre a questão ambiental em nosso planeta (JOSÉ et al., 2007). Preocupações com a escala de exploração dos recursos e também com o destino de resíduos, que são gerados cada vez em quantidades maiores, são apontadas como possíveis ameaças a sobrevivência dos seres humanos (RIEGEL et al., 2012).

A indústria da construção civil tem papel importante, tanto na geração de empregos, como na oferta de serviços e produtos com uma forte função social, como construção de moradias e

vias de transportes públicos (FREJ; ALENCAR, 2010). Um exemplo da importância que tal indústria tem na economia e no desenvolvimento econômico brasileiro é o fato de que esse segmento teve uma participação de 7,1% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2003 (TRI; TRI, 2006). Porém é também uma indústria que causa grande impacto ambiental (ADRIANO; COSTA, 2010), pois a maior parte de sua matéria prima é extraída do meio ambiente, como areia, pedras entre outros. Também é uma indústria que gera muitos resíduos, chegando a igualar, e em alguns casos, até ultrapassar a massa de resíduos gerada pelas residências (JOHN; AGOPYAN). Nesse contexto, a pesquisa e desenvolvimento em produtos sustentáveis para a construção civil merece atenção de toda a comunidade científica e também de toda a sociedade. Além disso, o desenvolvimento de produtos sustentáveis vem se consolidando cada vez mais como uma ferramenta importante para alcançar a tão almejada sustentabilidade (CHEN et al., 2012)

Outra indústria que também contribui significativamente para a degradação do ambiente, é a indústria de eletro e eletrônicos. A degradação é causada, tanto pela produção dos equipamentos, pois consome muitos recursos naturais, como pela destinação inadequada dos equipamentos pós uso.

Diante do exposto acima, esse trabalho tem como objetivo analisar a evolução da geração de resíduos e as principais motivações de algumas experiências, principalmente na indústria da construção civil, para destinar esses resíduos e propor uma análise para o tratamento do lixo eletrônico.

2. A reciclagem de resíduos no Brasil

O início da preocupação com o destino dos resíduos sólidos no Brasil começou bem mais tarde do que nos países mais desenvolvidos. Enquanto no final da década de 1960, os EUA já tinham uma política para o tratamento de seus resíduos, em 2000 o Brasil ainda discutia uma legislação que tratasse de forma abrangente do tema (JOHN; AGOPYAN).

Apesar dessa defasagem em relação à preocupação com o destino dos resíduos, o Brasil vem progredindo nessa área, principalmente em relação à reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil (ALMEIDA M., DE, 2011), que cada vez mais adota essa prática.

Existem várias formas de tratar os resíduos gerados pela nossa sociedade. Mas a forma que tem se mostrado mais eficiente é a reciclagem. Através da reciclagem, além de solucionar um problema ambiental, pode-se também gerar renda e/ou bem-estar para parte da sociedade.

No Brasil há vários projetos e centros de reciclagem de resíduos da construção civil e a maioria é gerida pelo poder municipal (JOHN; AGOPYAN).

3. Lixo eletrônico (e-waste ou WEEE)

Novos produtos tecnológicos são lançados praticamente todos os dias, principalmente os produtos ligados à indústria da informação, como computadores e telefones celulares (OLIVEIRA et al., 2010)

Já em 2003, a produção de equipamentos elétrico e eletrônicos (EEE) estava entre as áreas que mais cresciam e, portanto, resultando num grande aumento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) (CUI; FORSSBERG, 2003). E toda vez que algum produto novo é lançado, os consumidores, principalmente os mais jovens, tendem a comprar o produto novo, sem verificar a real necessidade de fazer tal compra. A própria indústria de eletrônicos contribui para esse padrão de consumo exagerado ao diminuir a vida útil de seus produtos, como ocorreu nos países desenvolvidos, onde a vida útil dos produtos eletrônicos teve uma queda drástica, indo de seis para dois anos entre 1997 e 2005 (OLIVEIRA et al., 2010).

Na América do Norte, em 2005, só a quantidade de Computadores Pessoais (PC) obsoletos produziu uma média de 806.700 toneladas de WEEE e a União Europeia teve uma média de 594,6 mil toneladas (LI et al., 2013). Países em desenvolvimento também vêm produzindo quantidades crescentes de WEEE, como a China que produziu em torno de 2,5 milhões de toneladas só em 2005 (LI et al., 2013) e por causa de seu crescente incremento na produção de manufaturas, vem se tornando uma líder em armazenamento de resíduos (SONG; LI, 2015). Esse incremento na produção de WEEE também é percebido no Brasil, que em 2009 descartou 680 mil toneladas de tais resíduos (SOUZA BASTOS, DE et al., 2011).

3.1. Uma proposta para o tratamento do WEEE como agregado na construção civil

O WEEE, além estar sendo produzido a taxas crescentes, tem, também, um grande potencial para degradar o ambiente e prejudicar a saúde das pessoas, principalmente por causa da composição de seus componentes, que contem produtos tóxicos como Cu, Al, Zn, Pb, Sn, Fe e Ni (JHA et al., 2012). Por isso é importante o estudo para viabilizar um tratamento adequado para o WEEE. Encontrar uma forma de utilizar o WEEE como agregado na matéria prima da indústria da construção civil, parece ser uma alternativa viável, e por isso, merece um estudo mais aprofundado. Dessa forma, para trabalhos futuros, esse artigo propõe um

estudo de viabilidade de utilização de WEEE, principalmente os componentes poliméricos, na utilização desses resíduos como agregados na produção de blocos para a construção civil.

4. Características dos produtos sustentáveis

As características de um produto sustentável não podem ser muito diferentes, nos quesitos desempenho e preço, em relação a produtos convencionais. Por isso é importante que sejam realizados testes como, de resistência mecânica, capilaridade, rendimento, resistência a chamas e durabilidade. Quando o projeto de um produto sustentável não atenta para essa etapa corre o risco de desenvolver um produto que seja altamente ecológico, porém com baixo desempenho, e por consequência com baixa aceitação pelos consumidores. Um exemplo de como essas características são importantes, são os veículos automotores elétricos. Embora esses veículos sejam produzidos desde o início de 1990, o seu baixo desempenho e custo elevado (CHEN et al., 2012) fazem que o consumidor opte por adquirir um veículo convencional, movida a combustível fóssil.

5. Produtos sustentáveis para a construção civil

No mundo há vários produtos sustentáveis desenvolvidos ou em desenvolvimento destinados à construção civil. Em 2007 (MONTEIRO et al., 2007) investigou a incorporação de resíduos de óleo industrial na confecção de telhas e tijolos de cerâmica de barro vermelho. Os resultados foram que é possível aplicação de até 5%, do peso total do produto cerâmico, de resíduo de óleo industrial, sem que as características da cerâmica fossem significativamente afetadas.

Também há trabalhos que propõem o uso de indicadores no desenvolvimento de produtos, como o de (ASKHAM et al., 2012), que propõe os indicadores saúde, ambiental e econômico no desenvolvimento de novos produtos. Tais indicadores seriam úteis na produção de revestimentos produzidos por uma empresa, de maneira que o produto final atendesse as exigências ambientais impostas pela Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) que é o órgão que autoriza a produção e importação de produtos químicos na União Europeia (EU).

6. Utilização de resíduos na construção civil

Antes mesmo de procurar o desenvolvimento de novos produtos sustentáveis, já se utilizava o reaproveitamento de sobras da construção civil. (JOHN; AGOPYAN) cita que a reciclagem de resíduos da construção civil é uma prática antiga e que um exemplo mais recente na história é a reconstrução da Europa pós-guerra (segunda guerra mundial) onde tal prática foi empregada. Há indícios de que em Portugal já se utilizava resíduos de cerâmica em argamassa desde a época do Império Romano (MATIAS et al., 2012). Também segundo (JOHN; AGOPYAN) essa prática é muito utilizada na Europa atualmente.

Como pode ser visto os motivos da reutilização de tais resíduos, nem sempre são puramente ecológicos, como no caso da reconstrução da Europa pós-guerra. Outro exemplo da utilização de resíduos por motivo alheio a ecologia é o desenvolvimento, após a segunda guerra mundial, da tecnologia de chapas aglomeradas, visando economizar matéria-prima, visto que a mesma era muito escassa nesse período (CARASCHI et al., 2009a).

Um exemplo de utilização de resíduos na produção de produtos para a construção civil no Brasil é a produção de painéis (chapas de aglomerados) que entre sua matéria prima estão os resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar e também de resíduos plásticos (CARASCHI et al., 2009a). Outro exemplo de utilização de resíduos na confecção de materiais para a construção civil é mostrado no trabalho de (CARASCHI et al., 2009a) onde é utilizado, além de casca de arroz e de amendoim, embalagens cartonadas já utilizadas e também resíduos de embalagens plásticas. Nesse mesmo trabalho, o autor usou a experimentação para avaliar a aplicação de dois tipos de resíduos de embalagens cartonadas (embalagens pós-uso tipo longa vida e resíduos industriais à base de polietileno) como matriz polimérica. Após os experimentos, o autor concluiu que o melhor resultado para a confecção das chapas era a que utilizava 60% de embalagem plástica. Já os painéis a base de embalagem cartonada foram reprovados, principalmente no quesito absorção de água (CARASCHI et al., 2009b).

7. Conclusões

A produção de resíduos aumenta significativamente em todo o mundo. Entre os tipos de resíduos, esse trabalho identificou um incremento, crescente e considerável, no resíduo de componentes eletroeletrônicos. Esse tipo de resíduo contribui muito para a degradação do

ambiente e também coloca em risco a saúde das pessoas, principalmente por ser composto de vários produtos tóxicos.

No Brasil, apesar da preocupação com o destino dos resíduos ter começado mais tarde do que nos países desenvolvidos, há progressos nas iniciativas para o tratamento desses resíduos, com destaque para a utilização de resíduos pela indústria da construção civil.

A utilização de resíduos por parte da indústria da construção civil não é recente, porém os motivos não são puramente ecológicos. A maior parte das experiências analisadas por esse trabalho, tem como principal motivação o fator econômico, procurando minimizar o custo das obras. Apesar da motivação não ser somente ecológica, ao menos na construção civil, iniciativas que utilizam resíduos como agregados em sua matéria prima, contribuem para a conservação do meio ambiente.

As grandes dificuldades em produzir produtos sustentáveis, que auxiliem na destinação de resíduos, estão nas características que os mesmos apresentam e também no custo de sua produção. Embora as pessoas se preocupem com o ambiente em que vivem, preço e qualidade dos produtos ainda são fundamentais na decisão de qual produto adquirir.

Pelo seu potencial em degradar o ambiente prejudicar a saúde das pessoas, o WEEE precisa ter um tratamento adequado. Tratamentos para tais resíduos que tem como foco o fator econômico, como a reutilização de cobres e metais preciosos contidos em fios, podem não contribuir para a preservação do ambiente e em alguns casos, até contribuir para a degradação do mesmo. Diante disso esse artigo, propõe, como trabalho futuro, investigar a utilização de WEEE como agregado na produção de blocos para a indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, M.; COSTA, D. S. Novos Produtos Para a Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação. , 2010.

ALMEIDA M., L. ET AL. DE. Desenvolvimento sustentável ea reciclagem de resíduos na construção civil. Revista Árvore, v. 35, n. 1, p. 1335–1340, 2011. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 23/10/2013.

ASKHAM, C.; GADE, A. L.; HANSSEN, O. J. Combining REACH, environmental and economic performance indicators for strategic sustainable product development. Journal of

Cleaner Production, v. 35, p. 71–78, 2012. Disponível em:
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652612002387>>. Acesso em: 20/9/2013.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de Painéis Produzidos a partir de Resíduos Sólidos para Aplicação na Arquitetura. , v. 19, p. 47–53, 2009.

CHEN, C.; ZHU, J.; YU, J.-Y.; NOORI, H. A new methodology for evaluating sustainable product design performance with two-stage network data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, v. 221, n. 2, p. 348–359, 2012. Elsevier B.V. Disponível em:
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221712002688>>. Acesso em: 24/9/2013.

CUI, J.; FORSSBERG, E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. Journal of Hazardous Materials, v. 99, n. 3, p. 243–263, 2003. Disponível em:
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030438940300061X>>. Acesso em: 20/11/2013.

FREJ, T. A.; ALENCAR, L. H. Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife. Produção, v. 20, n. 3, p. 322–334, 2010. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132010000300003&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 25/9/2013.

JHA, M. K.; KUMARI, A.; CHOUBEY, P. K.; et al. Leaching of lead from solder material of waste printed circuit boards (PCBs). Hydrometallurgy, v. 121-124, p. 28–34, 2012. Elsevier B.V. Disponível em:
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304386X1200093X>>. Acesso em: 16/11/2013.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos, 2000.

JOSÉ, C.; JABBOUR, C.; CÉSAR, F.; SANTOS, A. Desenvolvimento de produtos sustentáveis : o papel da gestão de pessoas *. , v. 41, n. 2, p. 283–307, 2007.

LI, J.; LOPEZ N, B. N.; LIU, L.; et al. Regional or global WEEE recycling. Where to go? Waste management (New York, N.Y.), v. 33, n. 4, p. 923–34, 2013. Disponível em:

<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23337392>>. Acesso em: 19/11/2013.

MATIAS, G.; FARIA, P.; TORRES, I.; et al. CERÂMICA 2 . Desenvolvimento Experimental. , 2012.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F.; RIBEIRO, M. M.; SILVA, F. A. N. Red ceramic industrial products incorporated with oily wastes. *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 11, p. 2007–2011, 2007. Disponível em:
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061806002273>>. Acesso em: 15/10/2013.

OLIVEIRA, S.; SILVA, E.; CARLOS, J. O Lixo Eletroeletrônico : Uma Abordagem para o Ensino Fundamental e Médio. *Química Nova Na Escola*, v. 32, n. 4, p. 240, 2010.

RIEGEL, I. C.; STAUDT, D.; DAROIT, D. Identificação de aspectos ambientais relacionados à produção de embalagens de perfumaria – contribuição para projetos sustentáveis. , p. 633–645, 2012.

SONG, Q.; LI, J. A review on human health consequences of metals exposure to e-waste in China. *Environmental Pollution*, v. 196, p. 450–461, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.11.004>>.

SOUZA BASTOS, N. DE; MARIA SOTOCORNO E SILVA, L.; DELATORE S. GUERINO, R. Lixo Eletrônico E a Contribuição Da População Com O Meio Ambiente Em Presidente Prudente. *Colloquium Exactarum*, v. 03, n. 01, p. 34–39, 2011. Disponível em:
<<http://revistas.unoeste.br/revistas/ojs/index.php/ce/article/viewFile/576/915>>. Acesso em: 13/11/2013.

TRI, E.-T. R. E.; TRI, E. Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério. *Produção*, v. v. 16 n.2, p. 303–318, 2006.

Capítulo 6

ISO 9001: CERTIFICAÇÃO DIANTE IMPACTOS ECONÔMICOS, UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Rodrigo Júlio Cerqueira
Vinicius de Carvalho Paes
João Batista Turrioni

ISO 9001: CERTIFICAÇÃO DIANTE IMPACTOS ECONÔMICOS, UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Rodrigo Júlio Cerqueira (UNIFEI)

Vinicius de Carvalho Paes (UNIFEI)

João Batista Turrioni (UNIFEI)

Resumo

O número certificações pela norma ISO 9001 no Mundo não parou de crescer e já ultrapassou a marca de mais de 1 milhão de empresas certificadas. Esta expectativa de crescimento pode ser relacionada com a busca por excelência no desenvolvimento e produção visando à otimização de custos, garantindo expectativas positivas perante a qualidade, com diferenciais competitivos e com adequação ao mercado externo. Os empreendimentos que buscam a certificação ISO 9001 verificam grandes oportunidades, mas também são deparados com muitos desafios. Desta forma, para justificar este crescimento evidenciado, um estudo sistemático da literatura foi realizado num período de referência de 20 anos, totalizando 44 artigos analisados, verificando as motivações internas e externas do empreendimento diante cenário econômico.

Palavras-chave: ISO 9001; Sistema de Gestão da Qualidade; ISO SURVEY

1. Introdução

A busca da melhoria contínua através de um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) tornou-se a ferramenta mais adotada pelas organizações para a gestão da qualidade juntamente com o relacionamento entre clientes e mercado (FEIGENBAUM, 1994; PIRES, 2007; JURAN e FEO, 2010). A *Internacional Organization for Standardization*, conhecida também como ISO é responsável por editar as normas ISO. Através dela, as empresas podem optar por seguir um modelo de gestão da qualidade padronizado mundialmente.

Em um SGQ, as empresas são forçadas a criar, implementar, manter, registrar e melhorar continuamente a eficiência de acordo com requisitos normalizados.

Após a adoção de um SGQ e posterior certificação de um padrão ISO, as organizações podem obter os seguintes benefícios: econômico (ganho na vantagem competitiva, redução de custos

e possibilidade de aumento nas vendas); econômico/*marketing* (abertura de novos mercados e possibilidade e/ou aumento das exportações, satisfação dos clientes); *marketing* (boa imagem da empresa); qualidade (melhoria nos processos, produtos e serviços, melhoria na comunicação interna).

Através da ISO SURVEY (2015) é possível realizar o levantamento histórico de crescimento estratificado de certificações por regiões globais e avaliar quais países que estão na vanguarda de implantação da norma ISO 9001. Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o histórico da norma ISO 9001 pelo Mundo justificando a realidade econômica em tais países com os benefícios e oportunidades da implantação. Assim, uma revisão sistemática da literatura foi realizada, com 44 artigos analisados, num período de referência de 20 anos e proporcionou o levantamento de diversas informações relevantes que são o objeto de estudo deste trabalho.

2. Fundamentação teórica

A norma NBR ISO 9001:2008 é a norma internacional que fornece os requisitos para o SGQ a serem implementados nas organizações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) e, a partir desses requisitos, as empresas passam a ser mais confiáveis em relação à qualidade dos seus produtos e serviços.

Segundo Gonzalez e Martins (2007), a norma ISO 9001 sofreu uma revisão na versão 2000 que proporcionou uma ampliação significativa no escopo da norma incluindo questões sobre a “gestão do negócio” passando a considerar o desempenho das organizações e a melhoria contínua dentro dos processos de negócio das empresas. Desta forma, a preocupação com a qualidade da gestão e a orientação para as necessidades dos clientes se tornaram pré-requisitos para uma empresa realizar a melhoria contínua.

A norma ISO 9001 é composta de um conjunto de requisitos da alta direção para o SGQ, tais como: gestão da qualidade, gestão de recursos, gestão de processos, foco no cliente, competência dos funcionários, planejamento da realização dos produtos, planejamento da qualidade, medição e monitoramento de processos e produtos, calibração de equipamentos de medição, satisfação dos clientes, ações corretivas e preventivas, e a melhoria contínua.

Segundo ISO SURVEY (2015), desde 1987, o número de empresas certificadas pelo Mundo não parou de crescer tendo a cada cinco anos de 1995 até 2010 um crescimento aproximado de 300 mil novos certificados, e atingindo a marca de mais de 1 milhão em 2009. De 2010

para 2011, o número de certificações decaiu em 66.680. De 2011 até 2014 houve um novo crescimento e de 2014 para 2015 uma leve redução, como pode ser verificado na Tabela 1. Com mais de 25 anos de existência, todos sabem da importância de atender aos requisitos dos clientes que muitas vezes exigem a certificação como parâmetro para aceite de contratos, além de ser uma estratégia para o sucesso comercial e abertura de novos mercados para as empresas. As tabelas 2 e 3 informam os números da participação regional Mundial e os números de países certificados de 1995 até 2015 com ênfase nos últimos 5 anos.

Tabela 1: Número de certificados ISO 9001 no Mundo

1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
127.348	407.674	773.843	1.076.525	1.009.845	1.017.279	1.022.877	1.036.321	1.034.180

Fonte: adaptado de ISO SURVEY (2015).

Tabela 2: Participação regional (%)

Região	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
África	1,2	1,2	0,9	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2
América do Sul e Central	1,0	2,7	2,9	4,6	5,1	5,1	5,1	4,8	4,8
América do Norte	8,1	11,8	7,7	3,4	3,7	3,8	4,7	4,0	4,5
Europa	72,7	53,8	48,7	49,2	45,5	46,2	44,9	43,8	42,5
Leste Asiático e Pacífico	15,5	26,8	34,4	36,8	39,9	39,0	37,9	40,0	40,9
Ásia Central e do Sul	0,8	1,6	3,6	3,5	3,3	3,2	4,4	4,3	3,9
Oriente Médio	0,6	2,2	1,8	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2

Fonte: adaptado de ISO SURVEY (2015).

Tabela 3: Número de países com certificados ISO 9001

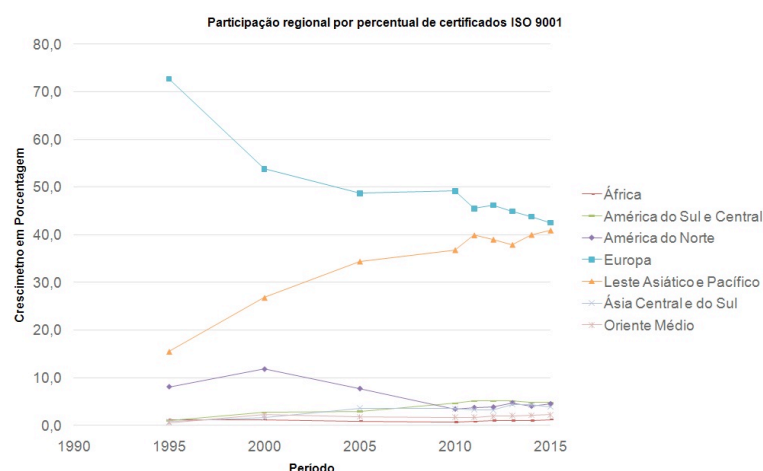
1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
95	153	161	178	179	184	187	188	201

Fonte: adaptado de ISO SURVEY (2015).

Observando o histórico de certificação tendo como base o ano de 1995, tem-se que a Europa detinha a ponta absoluta em número de certificados, porém, a partir daí, com o forte crescimento de participação da China, o Leste Asiático e Pacífico, no ano 2015, último ano da análise, está próximo em igualdade de posição junto a Europa. Isso mostra que a China, provavelmente, além do seu crescimento econômico interno e de suas exportações, trata a certificação como um promissor selo de qualidade capaz de abrir novos mercados consumidores mais exigentes para os seus produtos como, por exemplo, o mercado Europeu e Americano. A observação do crescimento exorbitante em número de certificados do Leste Asiático e Pacífico é um indício de que a região, tendo a China como grande vitrine, está investindo pesado para melhorar a sua imagem junto ao mercado Internacional usando a ISO 9001 como carro chefe. A gestão da qualidade baseada na norma ISO 9001 vem se

expandindo muito e os países acostumados com o termo crescem ano após ano (ISO SURVEY, 2015).

FIGURA 1 – Participação regional por percentual de certificados ISO 9001.



Fonte: Adaptado de ISO Survey (2015).

Através do gráfico da Figura 1 pode-se observar nitidamente que a participação de certificados ISO 9001 da Europa vem caindo frente à participação do Leste Asiático e Pacífico, e isso se deve em números, principalmente, a rápida ascensão da China. Ao realizar uma avaliação na América do Sul, focando nos principais países da região, pode-se observar que países como Brasil, Chile e Colômbia contribuíram para o crescimento regional das certificações, e em contrapartida, países como Venezuela, Uruguai, e Argentina tiveram crescimentos e recuos no número de certificações no período de 2000 a 2015. Porém o crescimento brasileiro tem a contrapartida de anos com redução do número de empresas certificadas. Nestes cenários, de 2002 para 2003, o Brasil teve uma redução de 7.900 certificados para 4.012; Voltou a ter uma série de anos de crescimento, e nos anos de 2011-2015 voltou a ter reduções, caindo de 28.325 para 17.529. Mesmo com este último cenário desfavorável, o Brasil teve o décimo lugar mundial em número de certificações em 2013 e saiu do Top 10 na avaliação de 2015. A Colômbia teve um crescimento até o ano de 2014 e uma leve redução em 2015 contando agora com 12.568 empresas certificadas. Em 2009 a Colômbia ultrapassou o número de certificados ISO 9001 da Argentina, ficando como a segunda potência na América do Sul e a terceira na América. Os Estados Unidos são o país das Américas com o maior número de certificações em 2015 (33.103), seguido de Brasil, Colômbia, México (7.418), Argentina (7.112), Canadá (6.417) e Chile (5.283). A tabela 4 ilustra os 10 maiores países em certificados obtidos em 2015 (ISO SURVEY, 2015).

Tabela 4: Os 10 países com maior número de certificações (2015)

1	China	292.559
2	Itália	132.870
3	Alemanha	52.995
4	Japão	47.101
5	Reino Unido	40.161
6	Índia	36.305
7	Estados Unidos	33.103
8	Espanha	32.730
9	França	27.844
10	Romênia	20.524

Fonte: adaptado de ISO SURVEY (2015).

3. Metodologia

Segundo Becheikh *et al.* (2006), um estudo sistemático para uma área específica permite colher dados que podem ser usados para a identificação, interpretação e avaliação de contribuições científicas. Já as revisões da literatura possibilitam a aquisição de fontes de informações para o entendimento de conceitos e análise de resultados correlacionados a um assunto específico (ROWLEY e SLACK, 2004). Dessa forma, a revisão da literatura a partir de pesquisas bibliográficas e documentais foi realizada em meios eletrônicos, revistas, artigos e trabalhos científicos disponibilizados em sites de periódicos e bases de dados como: *Scielo*, Periódicos Capes, DOAJ, *Emerald Insight*, *Isi Web of Knowledge*, *SciVerse Scopus*. No total, 44 artigos foram analisados, em um período de referência de 20 anos. As diversas informações relevantes foram estruturadas neste estudo.

4. Motivações e Benefícios advindas da certificação

Diversos autores discutem as motivações para a implantação da norma ISO 9001. Xavier (1995), Huarng, Horng e Chen (1995) e Terziovski e Sohal (2000) remetem a suas versões anteriores (1987 – 1999), outros como Sampaio, Saraiva e Rodrigues (2009), Feng, Terziovski e Samson, (2008), Pinto, Carvalho e Ho (2008) focam seus estudos em trabalhos mais recentes que contemplam a nova versão com orientação para a gestão de processos. Alguns autores ainda classificam as motivações para a busca da certificação ISO 9001 em

duas categorias: externas e internas (SAMPAIO, SARAIVA e RODRIGUES, 2009; BEATTIE e SOHAL, 1999).

Quadro 1: Motivações da implementação da certificação citadas por autores

Foco	Motivações	Autores
Econômico	Crescimento participação no mercado	Magd e Curry (2003); Nadae <i>et al.</i> (2009); Tristão (2011)
	Exigências das autoridades governamentais / Atendimento a Legislação	Pinto <i>et al.</i> (2006)
	Vantagens competitivas	Inmetro (2005); Gunnlaugsdottir (2012); Silva Junior (2013)
Econômico/ Marketing	Exigências dos clientes	Inmetro (2005); Pinto <i>et al.</i> (2006); Tristão (2011)
	Decisão organizacional	Filho (2008); Tristão (2011); Silva Junior (2013)
Marketing	Ferramenta de marketing	Corbett <i>et al.</i> (2005); Tristão (2011); Maekawa <i>et al.</i> (2013)
	Melhoria da imagem	Corbett <i>et al.</i> (2005); Nadae <i>et al.</i> (2009); Fotopoulos <i>et al.</i> (2010)
Qualidade	Melhoria da eficiência	Magd e Curry (2003); Maekawa <i>et al.</i> (2013)
	Melhorias da qualidade	Corbett <i>et al.</i> (2005); Inmetro (2005); Pinto <i>et al.</i> (2006); Gunnlaugsdottir (2012)
	Melhoria do controle de processo	Inmetro (2005); Nadae <i>et al.</i> (2009)
	Aumento da padronização interna	Inmetro (2005); Santana (2006); Maekawa <i>et al.</i> (2013)

Fonte: adaptado de Silva Junior, M. T., Queiroz, F. C. B. P., Queiroz, J. V. (2014).

Segundo Sampaio *et al.*, (2009), as motivações externas de implantação da norma relacionam-se as pressões dos clientes, *marketing* e aumento da fatia de mercado. As motivações internas estão relacionadas com objetivos de almejar melhorias na organização. Motivações distintas podem gerar resultados também distintos, pois sem o comprometimento dos dirigentes nas suas funções de conscientizar e inspirar as equipes expondo a importância das mudanças de hábitos não normalizados para padronizados podem proporcionar uma perda financeira e de tempo para as organizações. Outros pontos como a possibilidade de uso de recursos financeiros, humanos e físicos também estão relacionados à motivação.

Segundo Subba *et al.* (1997), em muitos casos, a busca pela certificação ISO 9001 se dá por obrigatoriedade contratual por parte dos clientes. Esse tipo de mecanismo nem sempre proporciona nos funcionários das empresas o comprometimento com as boas práticas de um sistema de gestão da qualidade.

Até 2005, o principal motivo para a busca da certificação por parte das empresas era a de obter vantagens competitivas. De 2005 pra cá, o fator motivacional está diretamente ligado às exigências por redução de custos por parte dos clientes através da melhoria interna contínua

de processos e/ou produtos. Fatores como atendimento a legislação e *marketing* também foram observados. Logo, através da literatura, foi possível elaborar uma exposição das principais motivações como é possível observar no Quadro 1.

Os benefícios advindos do sistema ISO 9001 são diversos segundo a literatura e podem ser sentidos nos principais pilares que compõem a empresa tais como projetos, produção, produto e cliente (SHIH, HUARNG, LIN, 1996; PINTO, CARVALHO, HO, 2006).

Segundo Sampaio, Saraiva e Rodrigues (2009), no período de implantação do SGQ, são as características motivacionais que apontarão os principais benefícios para a empresa. Ou seja, se a certificação tiver motivações externas, as melhorias conquistadas serão, em geral, de natureza externa. Entretanto, no caso de motivações internas, as conquistas poderão ser globais.

Vários autores citam os benefícios internos como questões de eficiência e gerenciais. Para a eficiência: melhoria da produtividade; redução de custos, *setup*, tempo de ciclo, tempo de parada de máquinas, tempos de entrega, taxas de refugos, etapas desnecessárias nos processos, eliminação de movimentações desnecessárias de produto/pessoal e de reclamações dos clientes (VLOEBERGHIS e BELLENS, 1996; TERZIOVSKI; SOHAL, 2000; PINTO; CARVALHO; HO, 2008; SAMPAIO; SARAIVA; RODRIGUES, 2009). Já para os ligados a gerência, os autores citam: melhorias do sistema de documentação, ambiente de trabalho e a clareza na delegação de responsabilidades (MOTWANI, KUMAR e CHENG, 1996; SCOTT, WILCOCK e KANETKAR, 2009).

Quadro 2: Benefícios da implementação da certificação citadas por autores

Foco	Benefícios	Autores
Econômico	Redução de taxas de acidentes	Santos <i>et al.</i> (2013)
	Maior vantagem competitiva	Inmetro (2005); Nadae <i>et al.</i> (2009)
	Aumento de vendas	Nadae <i>et al.</i> (2009); Alves <i>et al.</i> (2010); Ilkay e Aslan (2012)
	Redução de custos	Inmetro (2005); Alves <i>et al.</i> (2010); Silva (2013)
Econômico/ Marketing	Satisfação dos clientes	Nadae <i>et al.</i> (2009); Oliveira <i>et al.</i> (2011); Silva Junior (2013)
	Abertura de novos mercados	Inmetro (2005); Ilkay e Aslan (2012)
Marketing	Melhoria na imagem	Inmetro (2005); Oliveira <i>et al.</i> (2011); Silva (2013)
Qualidade	Melhoria nos processos, produtos e serviços	Inmetro (2005); Oliveira <i>et al.</i> (2011); Silva (2013); Mackawa <i>et al.</i> (2013)
	Melhoria na comunicação interna	Nadae <i>et al.</i> (2009)

Fonte: adaptado de Silva Junior, M. T., Queiroz, F. C. B. P., Queiroz, J. V. (2014).

Sendo possível constatar novamente na literatura revisada, que os benefícios mais citados

foram: satisfação dos clientes, melhoria na imagem, nos processos, produtos e serviços (Quadro 2).

5. Dificuldades e barreiras durante implementação

Em relação à implantação de um SGQ, os gestores devem dar uma atenção especial, pois alguns obstáculos nos sistemas, programas ou mesmo nas ferramentas da qualidade usadas podem ocorrer. O próprio cenário nacional dos anos 2011 – 2015 mostra que empresas que implementaram o SGQ baseado na norma ISO 9001, apesar dos esforços, acabaram por abandoná-los com o tempo. Autores como Hellsten e Klefsjô (2000) e Franceschini, Galletto e Cecconi (2006) apontam que a falta de engajamento da alta gerência, restrições financeiras, culturas inadequadas e a burocracia encontrada no uso e interpretação errônea das diretrizes das normas como principais fatores para o abandono. Além destes fatores é possível adicionar algumas dificuldades, tais como: baixa qualificação da mão de obra, resistência às mudanças, complexidade dos processos produtivos das organizações e de alguns instrumentos de gestão, e a necessidade de investimentos constantes em melhorias e capacitação de funcionários (TARAWNEH, 2000). Já Asif e Bruijn (2009) afirma que as organizações gastam muito tempo com os processos e práticas para a implementação da norma e ignoram os preceitos para a sua institucionalização, que é o fator de torná-la parte integral e sustentável introduzindo-a definitivamente na cultura e estrutura da empresa.

Como causas do insucesso dos programas de qualidade ISO 9001, Pinto, Carvalho e Ho (2006) destacam a escassez de recursos financeiros para a implantação e a falta de apoio da própria gerência das empresas. Já Mattos e Toledo (1998), apontam as dificuldades relacionadas à gestão e os altos custos da qualidade. Outras dificuldades são apontadas como fontes negativas no processo de implantação: os altos custos com consultorias e auditorias, tempo e esforço demandados de funcionários e gerentes. Junte-se a isso, o fato da ISO 9001 ser o primeiro padrão normativo global de gestão adotado pelas corporações, o que provoca o desenvolvimento de processos e documentos do estágio zero (COBERTT, MONTES-SANCHO e KIRSCH, 2005).

Através da literatura foi possível elaborar uma exposição das principais dificuldades e barreiras de implementação da ISO 9001 considerando fatores econômicos, culturais e de processo dentro das organizações, como é possível verificar no Quadro 3. As maiores

dificuldades apontadas foram à falta de conhecimento e a resistência dos colaboradores para as mudanças de hábitos normalizados.

QUADRO 3: Dificuldades e barreiras da certificação citadas por autores

Foco	Dificuldades e obstáculos	Autores
Cultura	Falta de comprometimento e envolvimento de toda a equipe	Neto e Silva (2004); Silva Junior (2013)
	Resistências dos colaboradores	Inmetro (2005); Silva Junior (2013); Mackawa <i>et al.</i> (2013)
	Dificuldade da disseminação da cultura da qualidade	Silva (2013); Silva Junior (2013)
Econômico	Custos na implantação	Martens (2012); Sampaio <i>et al.</i> (2012)
	Falta de conhecimento	Inmetro (2005); Pinto <i>et al.</i> (2006); Perdigão e Perdigão (2012)
Processo	Empresa de consultoria	Souza e Tanabe (2006)
	Redução do número de funcionários	Martens (2012)
	Atendimento a requisitos normativos	Ferreira e Salgado (2007)
	Documentação	Perdigão e Perdigão (2012)
	Existência de não conformidades	Oliveira <i>et al.</i> (2011)
	Burocracia	Oliveira <i>et al.</i> (2011)

Fonte: adaptado de Silva Junior, M. T., Queiroz, F. C. B. P., Queiroz, J. V. (2014).

6. Conclusões

Os últimos 20 anos de referência nos 44 artigos que fizeram parte da revisão sistemática da literatura para esse trabalho possibilitaram a observação sobre a importância da implantação do SGQ baseado na ISO 9001. A análise da ISO SURVEY evidenciou o grande crescimento do interesse pelas certificações. Neste aspecto, é possível verificar os Quadros 1, 2 e 3 apresentados no trabalho, que segmentam de forma resumida os diversos focos definidos na literatura que são relevantes para as motivações, benefícios e dificuldades referentes a implantação da norma ISO 9001.

Diante a competitividade no cenário econômico, as indústrias muitas vezes buscam novos mercados consumidores para sobreviver. Essa busca, em muitos casos, passa pela implantação de normas padronizadas exigidas por blocos econômicos e a norma ISO 9001 tende a ser uma opção. É interessante salientar que o sucesso na implantação passa pela mudança de hábitos dentro da organização, principalmente sobre a importância da qualidade. Nesse contexto, a política e a cultura da empresa têm influência direta para a obtenção do sucesso tanto na implantação como na manutenção do SGQ.

É possível ainda ratificar que ainda há campos abertos na literatura com referência a implantação da certificação, sendo possível citar: setores econômicos segmentados por áreas, como indústrias e a valoração financeira providas após as certificações.

Juntamente com a revisão sistemática dos artigos, foi possível verificar através da avaliação da ISO SURVEY (2015) que nos últimos 10 anos o Brasil teve períodos com crescimento de descrescimento no número de certificações concedidas às empresas. Um estudo futuro poderia analisar a motivação de algumas empresas a retirarem a manutenção do SGQ baseado na ISO 9001.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, CNPQ e FAPEMIG pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. F. M.; FONSECA, M. C. ; PINTO, M. V. B. *Implicações e resultados da implantação e certificação da Norma ISO 9001:2000: um estudo de caso em empresas itabiranas*. INGEPRO. vol. 2, n. 9, p.80-91, 2010.

ASIF, M.; BRUIJN E. J. Why quality management programs fail: a strategic and operations management perspective. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 26, n. 8, p. 778-794, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 9001 – Sistema de gestão da qualidade – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BEATTIE, K. R.; SOHAL, A. S. Implementing ISO 9000: a study of its benefits among Australian organizations. *Total Quality Management*, v. 10, n. 1, p. 95-106, 1999.

BECHEIKH, N.; LANDRY, R.; AMARA, E. N. Lessons from innovation empirical studies in the manufacturing sector: A systematic review of the literature from 1993-2003. *Technovation*. Vol. 26, p. 644-664, 2006.

CORBETT, C. J.; MONTES-SANCHO, M. J.; KIRSCH, D. A. The financial impact of ISO 9000 certification in the United States: an empirical analysis. *Management Science*, v. 51, n. 7, p. 1046-1059, 2005.

FERREIRA, C. S. C; SALGADO, S. S. Impacto da ISO 9001:2000 nos aspectos gerenciais dos escritórios de arquitetura: estudos de caso em empresas certificadas. *Revista Gestão & Tecnologia de Projetos*, vol. 2, 2007.

FILHO, M. X. Fatores determinantes para o sucesso na implantação da NBR ISO 9001 em empresas de micro e pequeno porte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2008.

FOTOPOULOS, C. V.; PSOMAS, E. L.; VOZAS, F. K. ISO 9001:2000 implementation in the Greek food sector. *The TQM Journal*, Vol. 22 No. 2, p. 129-42, 2010.

FRANCESCHINI, F.; GALLETO, M.; CECCONI, P. A worldwide analysis of ISO 9000 standard diffusion, considerations and future development. *Benchmarking: An International Journal*, v. 13, n. 4, p. 523-541, 2006.

GONZALEZ, R. V. D.; MARTINS, M. F. Melhoria contínua no ambiente ISO 9001:2000: estudo de caso em duas empresas do setor automobilístico. *Produção*, v. 17, n. 3, p. 592-603, 2007.

GUNNLAUGSDOTTIR, J. Information and records management: A precondition for a well functioning quality management system. *Records Management Journal*, Vol. 22, p. 170 – 185, 2012.

HELLSTEN, U.; KLEFSJÖ, B. TQM as a management system consisting of value, techniques and tools. *The TQM Magazine*, v. 12, n. 4, p. 238-244, 2000.

HUARNG, F.; HORNG, C.; CHEN, C. A study of ISO 9000 process, motivation and performance. *Total Quality Management*, v. 10, n. 7, p. 1009-1025, 1995.

ILKAY, M. S.; ASLAN, E. The effect of the ISO 9001 quality management system on the performance of SMEs. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 29, p. 753 – 778, 2012.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). *Pesquisa de credibilidade das certificações ISO 9001*. 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *ISO 9000: Quality management systems foundations and vocabulary*, ISO, Geneva, Switzerland, 2000.

MAEKAWA, R.; CARVALHO, M. M.; OLIVEIRA, O. J. Um estudo sobre a certificação ISSO 9001 no Brasil: mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades. *Gestão da Produção*, Vol. 20, n.4, p. 763-779, 2013.

MAGD, H.; CURRY, A. An Empirical analysis of management attitudes towards ISO 9001:2000 en Egypt. *The TQM Magazine*, Wagon Lane, Vol. 15, n. 6, p. 381 – 390, 2003.

MARTENS, A. E. Estudo de viabilidade de implantação de um sistema de gestão da qualidade conforme requisitos da ISO 9001:2008 no centro de Ciências Agrárias da USFC. *Revista GUAL*, Florianópolis, v. 5, n. 1, pp. 104-119, 2012.

MATTOS, J. C.; TOLEDO, J. C. Custos da qualidade: diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000. *Gestão & Produção*, v. 5, n. 3, p. 312-324, 1998.

MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S.; TURRIONI, J. B.; SOUZA, L. G. M. *ISO 9001:2008 - Sistema de gestão da qualidade para operações de produção e serviços*. São Paulo: Atlas, 2009. 239 p.

MOTWANI, J.; KUMAR, A.; CHENG, C. H. A roadmap to implementing ISO 9000. *International Journal of Quality Reliability Management*, v. 13, n. 1, p. 72-83, 1996.

NADAE, J.; OLIVEIRA, J. A.; OLIVEIRA, O. J. Um estudo sobre a adoção dos programas e ferramentas da qualidade em empresas com certificação ISO 9001: estudos de casos múltiplos. *XVI SIMPEP*. Bauru, 2009.

NETO, D. A. S. e SILVA, D. Um estudo do Processo de Certificação ISO no Departamento de Oficinas da Companhia do Metropolitano de São Paulo. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, n. 15, p. 55-67, 2004.

OLIVEIRA, J.A.; NADAE, J.; OLIVEIRA, O. J.; SALGADO, M. H. Um estudo sobre a utilização de sistemas, programas e ferramentas da qualidade em empresas do interior de São Paulo. *Revista Produção*, v. 21, n. 4, p. 708-723, 2011.

PERDIGÃO, J. G. L; PERDIGÃO, M. L. P. B. A Certificação da qualidade ISO 9001 na construção civil: um estudo de caso na construtora CIPRESA na cidade de Campina Grande-PB. *VII SEPRONE*, Mossoró, 2012.

PINTO, S. H. B.; CARVALHO, M. M.; HO, L. L. Implementação de programas de qualidade: um survey em empresas de grande porte no Brasil. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 2, p. 191-203, 2006.

PINTO, S. H. B; CARVALHO, M. M.; LEE HO; L. Implementação de Programas de Qualidade: Um Survey em Empresas de Grande Porte no Brasil. *Revista Gestão e Produção*, 2006.

ROWLEY, J. & SLACK, F. Conducting a literature review. *Management Research News*. Vol. 27, p. 31-39. 2004.

SAMPAIO, P.; SARAIVA, P.; RODRIGUES, A. G. ISO 9001 certification research: questions, answers and approaches. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 26 No. 1, pp. 38-58, 2009.

SAMPAIO, P.; SARAIVA, P.; MONTEIRO, A. ISO 9001 certification pay-off: myth versus reality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, p. 891-914, 2012.

SANTANA, A. B. Proposta de avaliação dos sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SANTOS, G.; BARROS, S.; MENDES, F.; LOPES, N. The main benefits associated with health and safety management systems certification in Portuguese small and medium enterprises post quality management system certification. *Safety Science*, 51, p. 29–36, 2013.

SCOTT, B. S.; WILCOCK, A. E.; KANETKAR, V. A survey of structured continuous improvement programs in the Canadian food sector. *Food Control*, v. 20, n. 3, 209-217, 2009.

SHIH, L. H.; HUANG, F.; LIN, B. ISO in Taiwan: a survey. *TQM*, v.7, n.6, p. 681-690, 1996.

SILVA JUNIOR, M. T.; QUEIROZ, F. C. B. P.; QUEIROZ, J. V. ISO 9001 – Uma revisão da literatura sobre seus benefícios, motivações e dificuldades. *X Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, 2014.

SILVA JUNIOR, M. T. Benefícios e dificuldades na adoção de um sistema de gestão da qualidade no Rio Grande do Norte. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – UFRN, Natal, 2013.

SILVA, M. E. Uma proposta de procedimento estruturado para implementação de SGI – Sistema de Gestão Integrado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2013.

SINGH, P. J.; SMITH, A. An empirically validated quality management measurement instrument. *Benchmarking: an International Journal*, v.13, n.4, p.493-522, 2006.

SOUZA, J. P.; TANABE, C. H. Barreiras a implantação da norma ISO 9001:2000 empresas do setor metal-mecânico da região de Maringá/PR. In: *Caderno de Administração*. V. 14, N.2, p. 46-56, 2006.

SUBBA, R.; RAGU-NATHAN, T.S.; SOLIS, L. E. Does ISO 9000 have an effect on quality management practices? An international empirical study. *Total Quality Management*, Vol. 8 n. 6, p. 335-46, 1997.

TARAWNEH, M. ISO 9000: Benefits and Difficulties: An Applied Study on Jordanian Industrial Companies. *Dirasat: Management Science*, v. 27, n. 2, 2000.

TERZIOVSKI, M.; SOHAL, A. S. The adoption of continuous improvement and innovation strategies in Australian manufacturing firms. *Technovation*, v. 20, p. 539-550, 2000.

ISO SURVEY. *The ISO Survey of Management System Standard Certifications*, 2015.

TRISTÃO, R. G. C. A importância das ações corretivas e ações preventivas nos Sistemas de Gestão da Qualidade - um estudo em empresas certificadas ISO 9001 no Estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Pós Graduação Profissional em Sistemas de Gestão), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

VLOEBERGHES, D.; BELLENS, J. Implementing the ISO 9000 standards in Belgium. *Quality Progress*, v. 29, n. 6, p. 43-48, 1996.

XAVIER, G. G. Avaliação de programas de qualidade mediante implantação da ISO 9000. *Gestão & Produção*, v. 2, n. 2, p. 162-172, 1995.

DEFEO, J.; JURAN, J. *Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence*. 6 ed., McGraw-Hill Education, 2010.

FEIGENBAUM, A. V. *Controle da qualidade total: gestão e sistemas*. São Paulo, Makron Books, 1994.

FENG, M.; TERZIOVSKI M.; SAMSON, D. Relationship of ISO 9001:2000 quality system certification with operational and business performance: A survey in Australia and New Zealand-based manufacturing and service companies, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 19 Iss: 1, pp. 22 - 37, 2008.

Capítulo 7

LEAN MANUFACTURING: REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E A PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO

Dênis Mateus de Paiva
Pedro José Papandréa
Aline de Cássia Baisso
Cristiane Aparecida Gonçalves das Chagas
Rita Gabriela da Silva

LEAN MANUFACTURING: REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E APADRONIZAÇÃO DO PROCESSO

Dênis Mateus de Paiva (ASMEC)

Pedro José Papandréa (ASMEC)

Aline de Cássia Baisso (ASMEC)

Cristiane Aparecida Gonçalves das Chagas (ASMEC)

Rita Gabriela da Silva (ASMEC)

Resumo

O objetivo do trabalho é apresentar o Lean Manufacturing e realizar um estudo de caso em uma organização em que este sistema é utilizado. Primeiramente será feito um estudo teórico a respeito de produção enxuta, que consiste em um sistema de negócios, uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que agregam valor, ou seja, fazer cada vez mais com cada vez menos - menos esforço humano, menos tempo - e, ao mesmo tempo, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam no tempo certo. Por fim, fazer uma pequena análise dos resultados até então alcançados na fábrica em questão irá concluir o trabalho, destacando a importância deste sistema e quais são as melhorias que se pode conseguir com sua implantação.

Palavras-chave: Lean Manufacturing, Padronização, Produção enxuta, Tempo, Trabalho.

1. Introdução

As exigências dos consumidores e o crescimento dos concorrentes obrigam as empresas a aprimorar suas práticas de manufatura. Assim no início da década de 1960, essa dinâmica levou as empresas japonesas do setor automobilístico, em especial a Toyota Motor Company, a desenvolver métodos diferentes de fabricar veículos em relação aos utilizados pela indústria americana, em uma época em que o destaque era a produção em massa da Ford Company. (OHNO, 1996; WOMACK 2008). O conceito da Produção Enxuta surge então, não se tratando de um conceito exclusivo da Toyota, mas podendo ser aplicado por empresas de qualquer tipo de negócio e em qualquer país. Ele é visto como uma estratégia de negócios

para aumentar a satisfação dos clientes através da melhor utilização dos recursos. (LEAN INSTITUTE, 2011).

O conceito básico para o Lean “produzir mais e mais com cada vez menos (menos esforços humanos, menores tempos, utilização de menos recursos etc.)”. (Womack e Jones, 1998).

De acordo com WOOMACK e JONES (2008) um poderoso antídoto para combater o desperdício é o pensamento enxuto que pode ser aplicado a qualquer tipo de organização e este foi o foco do trabalho.

Para a melhoria do processo utilizamos as ferramentas do Sistema Toyota de produção:

- a) **Cronoanálise:** Realizamos a cronoanálise do processo de montagem para conseguir analisar as perdas, e assim eliminá-las.
- b) **Estudo de tempos e Movimentação:** Avaliamos os processos que não agregam valor ao nosso produto, conforme o conceito dos 8 desperdícios do Lean Manufacturing.
- c) **Layout:** adequamos o layout facilitando o fluxo e eliminando um dos oito desperdícios, neste caso a caminhada.

Nosso objetivo é aumentar a produtividade e reduzir os desperdícios em movimentação desnecessária durante o processo de produção, através de um estudo de caso em uma linha de produção automotiva.

2. *Lean Manufacturing*

A Produção Enxuta tem como fundamentação em aperfeiçoar processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios. Seus objetivos fundamentais são:

- **Otimização e Integração do sistema de manufatura:**
 - A otimização e integração do sistema de manufatura é um processo contínuo visando na redução da quantidade de tarefas, que serão necessárias para complementar um processo em particular.
- **Qualidade:**
 - Na manufatura enxuta há uma exigência de produtos com bons acabamentos, ou seja, com garantia de qualidade. Cada funcionário envolvido no processo de produção tem que possuir um perfil profissional

em aspectos como responsabilidade, conhecimento, para execução de tarefas proporcionando uma segurança no resultado desejado.

- Flexibilidade do processo:
 - É a capacidade da obtenção de materiais com agilidade e definir um processo em curto tempo e com mínimo custo, ou seja, é a capacidade de suportar variações na demanda.
- Manter o compromisso com clientes e fornecedores:
 - As empresas têm que manter relações com os clientes e fornecedores de todos os produtos novos produzidos, estabelecerem prazos de entregas, qualidade assegurada de um produto, margens de lucros.
- Redução do custo de produção:
 - Para a Manufatura Enxuta é a eliminação de desperdícios e com redução dos custos em um processo.
 - Esses conceitos propostos acima visam no aumento da produção em uma empresa. As metas mencionadas pela Produção Enxuta voltadas a alguns problemas de produção tendem a atingir zero defeitos; tempo de preparação zero (setup); estoque zero; movimentação zero; lead time zero.

2.1 Os desperdícios na manufatura

Lean Manufacturing busca eliminar os desperdícios, que são as atividades realizadas em um processo que não agregam valor para o cliente apenas aumenta o custo do produto. Sendo então interessante exemplificar tais desperdícios.

1. Superprodução: produção de itens para os quais não há demanda, o que gera perda com excesso de pessoal e de estoque e com os custos de transporte devido ao estoque excessivo. “Ohno considerava como sendo a principal perda, pois gera a maioria das demais perdas”.
2. Espera: Funcionários que servem apenas para vigiar uma máquina automática ou que fica esperando pelo próximo passo no processamento, ferramenta, suprimento, peça, etc., que simplesmente não tem trabalho para fazer devido a uma falta de estoque, atrasos no processamento, interrupção do funcionamento de equipamentos e gargalos de capacidade.
3. Transporte ou movimentação desnecessário: Movimento de estoque em processo por longas distâncias, criação de transporte ineficiente ou movimentação de materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou fora do estoque ou entre processos.

4. Superprocessamento ou processamento incorreto: Passos desnecessária para processar as peças. Processamento ineficiente devido a uma ferramenta ou ao projeto de baixa qualidade do produto, causando movimento desnecessário e produzindo defeitos. Geram-se perdas quando se oferecem produtos com qualidade superior à que é necessária.
 5. Excesso de estoque: Excesso de matéria-prima, de estoque em processo ou de produtos acabados, causando lead times mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazenagem e atrasos. Além disso, o estoque extra oculta problemas, como desbalanceamento de produção, entregas atrasadas dos fornecedores, defeitos, equipamentos em conserto e longo tempo de setup (preparação).
 6. Movimentos desnecessários: Qualquer movimento inútil que os funcionários tem que fazer durante o trabalho, tais como procurar, pegar ou empilhar peças, ferramentas, etc.
 7. Defeitos: produção de peças defeituosas ou correção ou retrabalhar, descartar ou substituir a produção e inspecionar significam perdas de manuseio, tempo e esforço.
 8. Desperdício da criatividade dos funcionários: Perda de tempo, idéias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir seus funcionários.
- A Figura 1 caracteriza os oito desperdícios expressos por Taiichi Ohno (1997).

Figura 1 – Os oito desperdícios do Lean Manufacturing



Fonte: OHNO (1997)

3. Cronoanálise

A cronoanálise consiste numa ferramenta muito utilizada no ambiente industrial, pois ela tem como foco a análise do tempo gasto para a conclusão de um determinado processo, mensurando também o tempo gasto em cada tarefa que integra esse processo.

Para Barnes (1977), o processo de execução do estudo de tempo no método de Cronometragem contém significativa flexibilidade, mas sugere um procedimento composto por oito passos que deverão ser seguidos para uma execução bem sucedida da cronoanálise:

- a) Obtenha e registre informações sobre a operação e o operador em estudo;
- b) Divida a operação em elementos e registre uma descrição completa do método;
- c) Observe e registre o tempo gasto pelo operador;
- d) Determine o número de ciclos a ser cronometrado;
- e) Avalie o ritmo do operador;
- f) Verifique se foi cronometrado um número suficiente de ciclos;
- g) Determine as tolerâncias;
- h) Determine o tempo-padrão para a operação.

Segundo Barnes (1977): O tempo requerido à execução dos elementos de uma operação varia de ciclo para ciclo. Mesmo que o operador trabalhe a um ritmo constante, nem sempre executará cada elemento de ciclos consecutivos exatamente no mesmo tempo. As variações no tempo podem resultar de diferenças na posição das peças e ferramentas usadas pelo operador, de variações na leitura do cronômetro e de diferenças possíveis na determinação do ponto exato de término, no qual a leitura deve ser feita. Com matérias-primas altamente padronizadas, ferramentas e equipamentos em boas condições, condições ideais de trabalho e um operador qualificado e bem treinado, a variação nas leituras para um elemento não seria grande, mas, mesmo assim, haveria certa variabilidade.

Para a determinação do número de ciclos a serem cronometrados será necessário inicialmente à observação e registro de tempo gasto pelo operador, através de tomadas preliminares de tempo que de acordo com Peinado e Graeml (2007) devem ser de cinco a sete cronometragens.

3.1 Estudo de tempos

O estudo de tempos teve seu início em 1881 na usina da Midvale Steel Company e Taylor foi o seu principal introdutor. Frederick W. Taylor, o pai do estudo de tempos, escreveu no fim

do século passado que, para estabelecer um tempo padrão normal era necessário subdividir a operação em elementos de trabalho, descrevê-los, medi-los com um cronômetro e adicionar certas permissões que levem em conta esperas inevitáveis e fadiga (MAYNARD, 1970).

Alguns anos após Taylor ter iniciado seu trabalho com estudo de tempos, Gilbreth, considerado o pai do estudo de movimentos, iniciou sua técnica de uso da câmara cinematográfica para estudar os movimentos requeridos para a execução de certas tarefas (MAYNARD, 1970). Gilbreth subdividiu os elementos de Taylor em movimentos básicos que ele chamou de therbligs (conjunto de movimentos fundamentais necessários para o trabalhador executar operações em tarefas manuais). Segundo Borba et al. (2011), esses therbligs foram usados para estabelecer o tempo padrão de uma operação como Taylor o fez com os seus elementos.

Segundo Moura e Liu (2014) “O método de trabalho deve ser projetado de modo a permitir que o operador realize a tarefa no menor tempo possível e com maior facilidade e satisfação”.

3.3 Estudo de movimentos

O trabalho é executado melhor e mais economicamente por meio da análise do trabalho, isto é, da divisão de todos os movimentos necessários à execução de cada operação de uma tarefa.

Conforme Martins e Laugeni (2006), pelo estudo de tempos pode-se estabelecer padrões para os sistemas produtivos de modo a facilitar o planejamento do processo, uma vez que os recursos disponíveis são usados com eficácia, atentando para o tempo necessário para a execução de cada tarefa. Para ter uma visão detalhada da produção é necessário registrar cada estágio do processo, uma vez que se torna mais claro o seu funcionamento, bem como a identificação de problemas (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Para Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos é uma junção dos princípios desenvolvidos por Frederick conforme abordado em Taylor (1967), com a sistematização dos movimentos executados pelos trabalhadores ao realizar uma determinada tarefa, sendo essa o resultado do estudo de Frank Gilbreth. Barnes (1977) diz que esse estudo sistemático do trabalho possibilita a determinação do tempo dispendido pelo trabalhador para a realização das tarefas com o intuito de padronizar a realização das mesmas.

Para Costa et al. (2008), o estudo de tempos e movimentos objetiva a determinação da capacidade produtiva de um setor ou de uma linha de produção. Desta forma, é possível a comparação com a capacidade real, gerando informações para tomada de decisões.

3.4 Layout

O layout visa o melhor espaço físico, organizando equipamentos, máquinas, pessoas, informação e departamentos, tendo como objetivo programar um fluxo de processo produtivo que evite desperdícios melhore a produtividade, reduzindo os custos de produção, gerando mais lucros para a empresa. Um fluxo bem estudado permite que cada recurso, de forma rápida, transforme a matéria-prima em produto final, reduzindo o lead time da produção. (PARANHOS FILHO, 2007).

Dependendo do sistema de movimentação a ser utilizado, devem-se rever as configurações para o arranjo físico da planta (layout). Por exemplo, utilizando um sistema de movimentação baseado em veículos industriais, como exemplo os carrinhos, temos que considerar no layout um adequado dimensionamento de corredores a fim de que os mesmos atendam à circulação e manobrabilidade do equipamento e da carga a ser movimentada. (BANZATO, 2001).

Assim, a disposição do arranjo físico fabril deve ser pensada no longo-prazo e ter a flexibilidade necessária para se adequar as mudanças planejadas no médio e longo-prazos, considerando a competência essencial da organização.

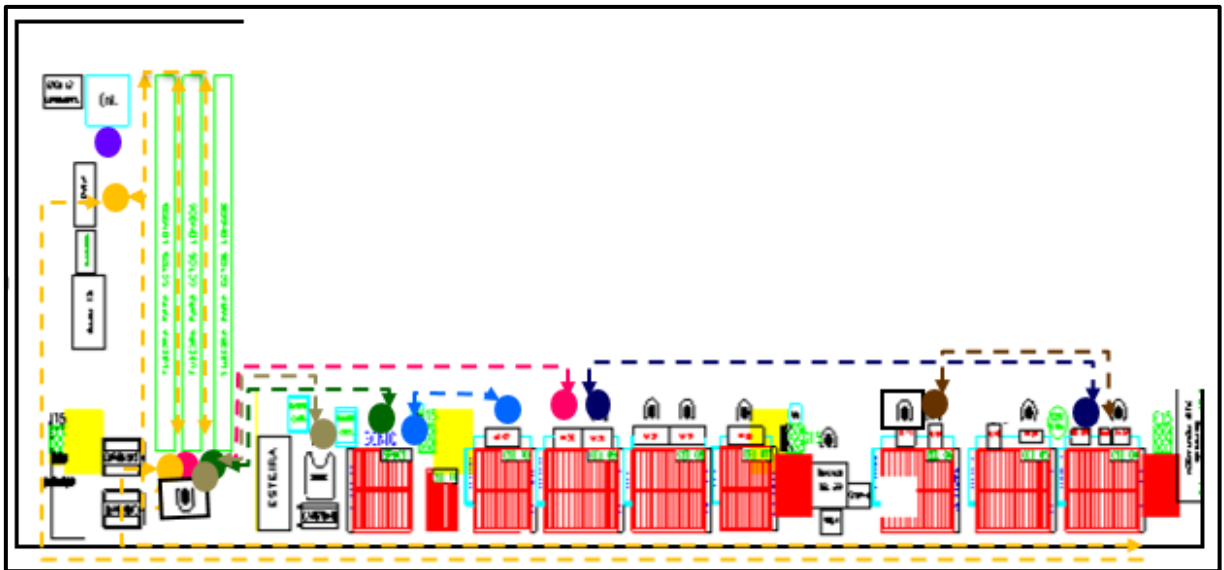
4. Estudo de caso

O estudo de caso foi realizado em uma empresa do ramo automobilístico, no período de julho a Setembro de 2018, em uma de suas linhas de montagem, onde é utilizado o processo de produção de chicotes elétricos. O processo inicia-se na área de corte da empresa, onde os cabos são cortados com o devido comprimento especificado de cada produto (BOM), transformando-se em um circuito. O circuito é transportado para a linha de montagem.

Na linha de montagem existem 15 postos de trabalhos, onde os operadores fazem a preparação dos kit's utilizando os circuitos. Esses Kit's consiste em enrolar os circuitos, na melhor sequência que eles serão utilizados durante o processo de ligação na mesa de Montagem.

Podemos visualizar a situação atual da linha, cada posto de trabalho e suas respectivas caminhadas demonstradas com uma linha tracejada na Figura 2.

Figura 2 – Exemplificação estudo de caso



Fonte: autores

Logo abaixo podemos visualizar cada Posto de Trabalho e seus respectivos tempos cronometrados conforme situação atual da linha. Podemos observar através das cores os postos onde, Op02, Op05, Op09, Op10, Op11, Op12, Op14 e Op15 estavam com muitas movimentações desnecessárias, conforme Figura 3.

Figura 3 – Definição de postos de trabalho e tempo de ciclo

Posto/Cel	Operador	Tempo de ciclo
CEL04 kit 02 / Kit 03	OP01	113"
CEL04 / CEL09 kit 105/ Kit23	OP02	146"
CEL05 kit01/05	OP03	118"
CEL06 kit 11	OP04	129"
CEL06 kit04 /Kit enr 04/kit 450	OP05	116"
Cel 07 Kit 08	OP06	132"
CEL08 Kit 32	OP07	117"
CEL08 Kit 31	OP08	105"
Cel10 kit 07	OP09	130"
CEL11 kit 30 + Enr. SPL.	OP10	130"
SPL01 - Enrolado + Enr. Tub.	OP11	145"
SPL01 - Cravamento + Enr. Tub	OP12	141"
TUB01	OP13	97"
HIPOT + Enr. Tub	OP14	142"
ENFAIXADEIRA	OP15	110"

Fonte: autores

Após realizar a tomada de tempos e definir nosso foco, montamos um plano de ações conforme exemplificado na Figura 4.

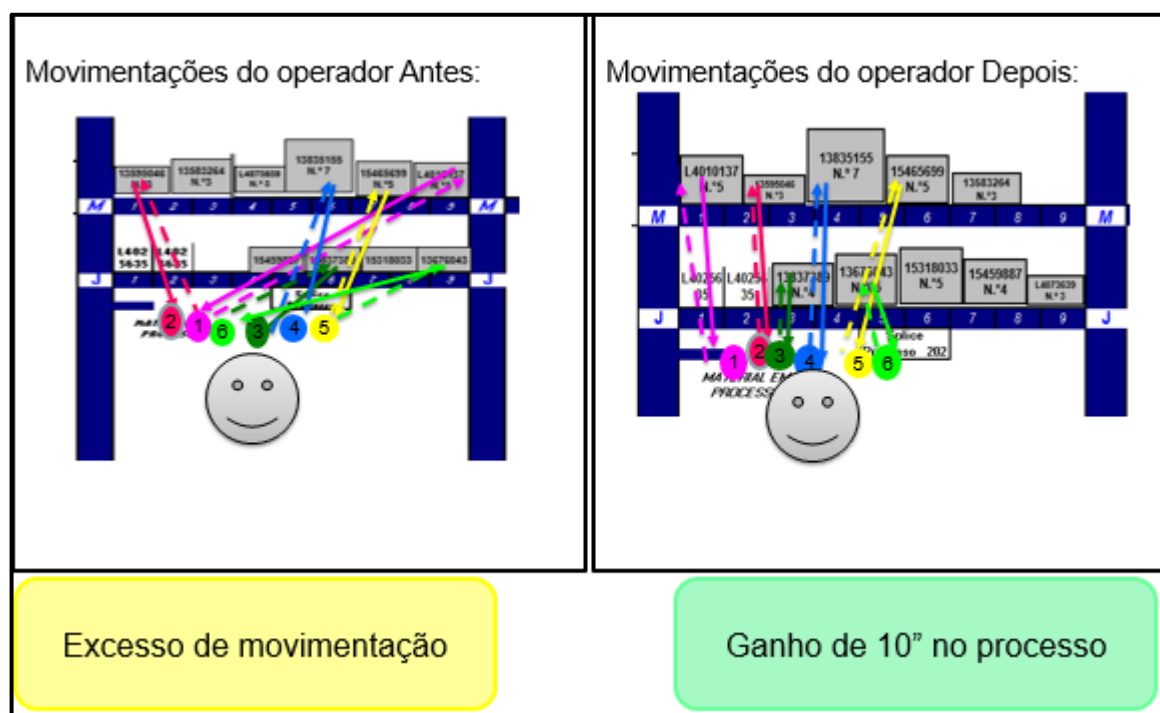
Figura 4 – Plano de ações

Plano de ações:			
	Cel 04- OP01	O kit enrolado 04 é feito na Cel06 e movimentado para Cel04	Mover kit enrolado 04 da cel 06 para cel 04 eliminando movimentação
		O circuito não está na melhor disposição no posto de trabalho	Reallocar Twister do kit 03 para ficar mais próximo ao operador.
	Cel05- OP02	Operador 2 trabalha nas células 5 e 9, com excesso de movimentação	Rebalancear as Cel04 e Cel05 para absorver o kit 105, eliminando o OP02
	Cel05- OP03	Operador 3 tem excesso de movimentação na célula	Inverter os componentes no percheiro na melhor sequencia para o operador
	Cel 05- OP04	Operador 4 tem excesso de movimentação na célula	Inverter os componentes no percheiro na melhor sequencia para o operador
	Cel06 - OP3	Perda de tempo em abrir maço para abastecer circuitos conjuntos	Melhorar suporte para o abastecimento ser realizado pelo time de rotas
	Cel08 - OP06/OP07	Ociosidade nos kits 31 e 32	Agregar o Kit 23 para os operadores OP06 e OP07
	Cel09 - OP08	Operador do 1º turno trabalhando em estoque para ser consumido no 2º turno para chicotes que rodam somente no 2º turno, enrolava 2 kits na tubeira	Direcionar carga para os turnos, eliminando estoque do 1º turno para o 2º turno, e mover 1 operador do 1º para o 2º turno
	Cel11- OP09	Ociosidade no kits 30	Fazer rebalanceamento entre Kit30, HIPOT, Enfaixadeira

Fonte: autores

Após todas as ações implementadas podemos verificar os ganhos obtidos, logo abaixo alguns exemplos de antes e depois da efetivação. Sendo assim possível verificar o primeiro exemplo na Figura 5.

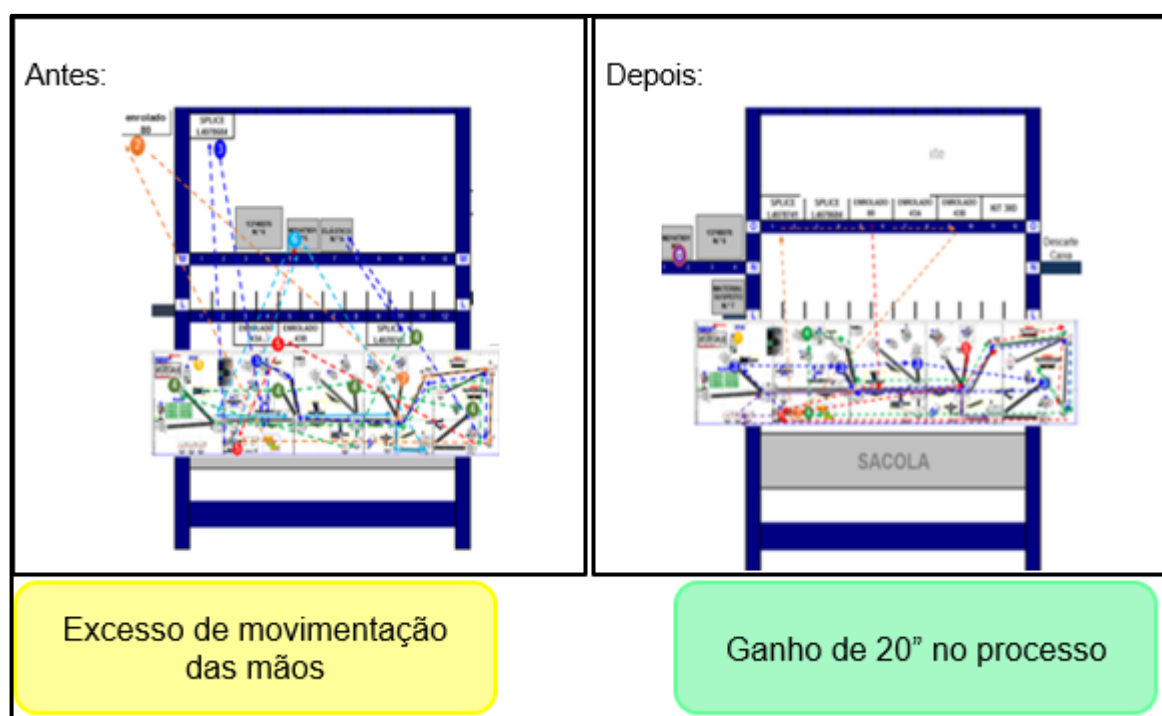
Figura 5 – Diminuição de perdas diante movimentações do operador



Fonte: autores

E o segundo exemplo pode ser verificado na Figura 6.

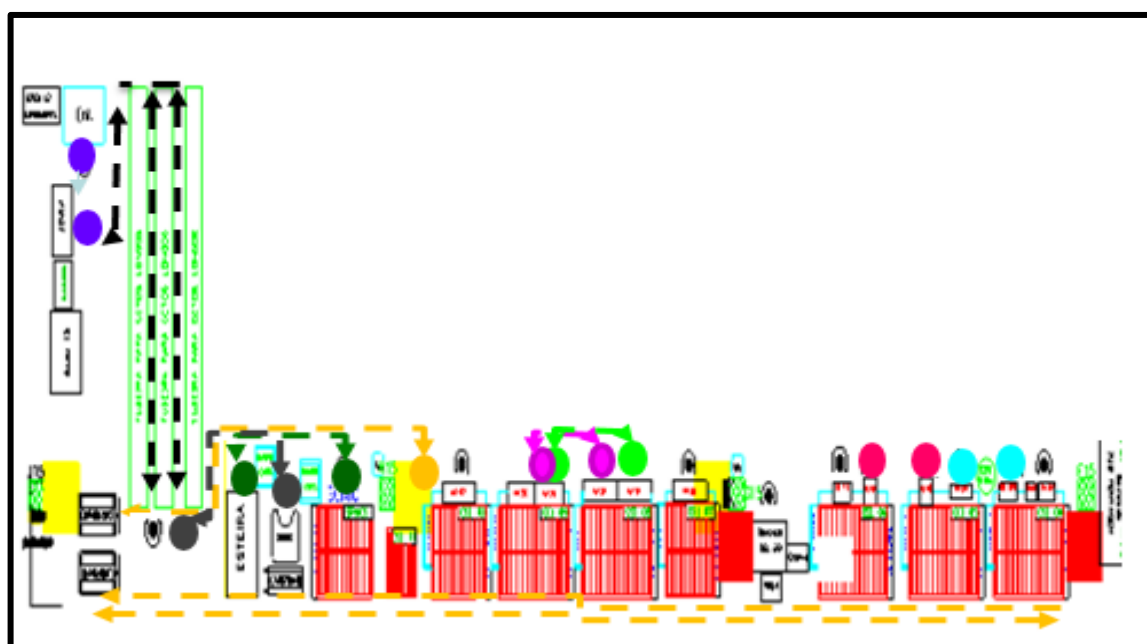
Figura 6 – Exemplo de mudanças e ganhos com diminuição de perdas



Fonte: autores

Podemos visualizar agora a nova situação da linha, cada posto de trabalho e suas respectivas caminhadas demonstradas após as reduções das movimentações, conforme Figura 7.

Figura 7 – Novo arranjo da linha de produção



Fonte: autores

Após realizar todas as melhorias citadas acima, conseguiu-se chegar ao método ideal, reduzindo as movimentações desnecessárias, os desperdícios e o trabalho foi padronizado, determinando o tempo padrão das operações e os operadores foram treinados.

Também atingimos nosso objetivo e aumentamos a produtividade (= *Hrs. Standard/horas trabalhadas*) de 96% para 100%, através da redução de 15 operadores para 13 operadores;

Redução de material em processo.

5. Conclusões

Após atuar nas melhorias, conseguiu-se eliminar a caminhada desnecessária, tempo de espera e perda de tempo em processos desnecessários, assim aumentando a produtividade e diminuindo o custo de produção, com isso atingindo o objetivo do estudo de caso tornando a empresa mais competitiva.

Durante a realização do trabalho, a maior dificuldade encontrada foi à resistência das pessoas com relação à mudança, pois sempre acredita que a sequência que já trabalham há anos é considerada a melhor, e que uma nova forma de trabalho não dará certo e poderá acabar os prejudicando.

Para atingir os resultados esperados foram realizadas melhorias nos movimentos e layout. Isso proporcionou uma distribuição da carga de trabalho uniforme entre os operadores, num ritmo padronizado e após o resultado ser mostrado aos operadores, eles foram devidamente treinados e entendeu que o resultado foi positivo. Em valores percentuais, houve ganho em número de operadores, consequentemente de produtividade. Isso mostra que o alvo principal de aumentar a produtividade através de um estudo de movimentos e cronoanálise de linha foi eficaz, destacando ainda a padronização das atividades como forma de facilitar o gerenciamento do ritmo produtivo.

REFERÊNCIAS

BANZATO, Eduardo. *Integrando layout com movimentação de materiais*.

BARNES, Ralph M. **Estudo de Movimentos e de Tempos: projeto e medida do trabalho**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

JONES, Gareth R.; GEORGE, Jennifer M. **Administração Contemporânea**.

MACHLINE, Claude *et al.* **Manual de administração da produção**. 9ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1990. v1.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando Pieri. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MAXIMIANO, A.C.A. – **Teoria Geral da Administração: Da Revolução Urbana à Revolução Digital** – São Paulo – Editora Atlas, 2004.

MEYERS, F.E. ***Motion and Time Study: for lean manufacturing***. 2 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

MOURA, D. A. de, LIU, R. D. **Sistemas de produção, o uso de ferramentas adequadas para aumento de competitividade na área de tempos e métodos**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 10, n 01: pág. 178 – 199 2014.

OLIVEIRA, Júlio Cesar Gravito de. ***Estudo dos Tempos e Métodos, Cronoanálise e Racionalização Industrial***. Disponível em:
<<http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/estudo-dos-tempos-e-metodos-cronoanalise-e-racionalizacao-industrial/63820/>> Acesso em: 20 de novembro de 2016.

PARANHOS FILHO, Moacyr. ***Gestão da Produção Industrial***. Curitiba: IBPEX, 2007.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – Além da produção em larga escala**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da Qualidade: As ferramentas essenciais**. 2. Ed. Curitiba: InterSaberes, 2010.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. – **Administração da Produção** – SP 2º edição - Editora Atlas, 2002.

Capítulo 8

OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO COM IDENTIFICAÇÃO DE PESOS ÓTIMOS: APLICAÇÃO EM UM PROCESSO DE TORNEAMENTO DE AÇO ENDURECIDO

Alexandre Fonseca Torres
José Henrique de Freitas Gomes
Paulo Henrique da Silva Campos
Anderson Paulo de Paiva

OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO COM IDENTIFICAÇÃO DE PESOS ÓTIMOS: APLICAÇÃO EM UM PROCESSO DE TORNEAMENTO DE AÇO ENDURECIDO

Alexandre Fonseca Torres (UNIFEI)

José Henrique de Freitas Gomes (UNIFEI)

Paulo Henrique da Silva Campos (UNIFEI)

Anderson Paulo de Paiva (UNIFEI)

Resumo

Em problemas de otimização multi-objetivo, os pesos das funções são comumente atribuídos pelos tomadores de decisão de modo subjetivo, o que não garante a obtenção da melhor solução Pareto-ótima. O Método dos Polinômios Canônicos de Misturas (MPCM) é uma metodologia de identificação de pesos ótimos para as funções objetivo com o uso de técnicas de planejamento de experimentos e otimização multi-objetivo. Este trabalho apresenta uma aplicação do MPCM em um processo de torneamento do aço endurecido ABNT 52100. A velocidade de corte, o avanço da ferramenta e a profundidade de corte foram escolhidos como variáveis de entrada na otimização multi-objetivo das funções vida da ferramenta, custo por peça e rugosidade média da peça. Os resultados foram os valores ótimos das variáveis de decisão e das funções objetivo dentro da configuração ótima de pesos.

Palavras-Chave: Otimização multi-objetivo, Torneamento de aço endurecido.

1. Introdução

Problemas de otimização frequentemente envolvem mais de uma função objetivo. Empresas buscam, simultaneamente, a minimização de custos, e a maximização de qualidade e produtividade. Para tanto, Lopes *et al.* (2016), Paiva *et al.* (2014) e Rao (2009) propõem diferentes sistemáticas de otimização multi-objetivo.

Todavia, as prioridades dos resultados variam conforme as estratégias das organizações e mudanças no cenário econômico. Nesse contexto, os pesos das funções objetivo são comumente atribuídos com base no julgamento e na experiência do tomador de decisão, o que não garante a obtenção da melhor solução Pareto-ótima (Gomes 2014). Além disso, existem poucos estudos na literatura sobre metodologias de otimização multi-objetivo que façam uso

de técnicas matemáticas para auxiliar a tomada de decisão quanto aos pesos das funções objetivo (Lee e Kim 2012), (Mishra 2007), (Zhang e Yang 2001).

Nesse contexto, Gomes (2013) propõe o Método dos Polinômios Canônicos de Misturas (MPCM), uma metodologia de identificação de pesos ótimos para a otimização multi-objetivo. O método faz uso de técnicas de planejamento e análise de experimentos, como o modelo de superfície de resposta (Montgomery 2012) e arranjos de misturas (Cornell 2002), e de técnicas de otimização multi-objetivo, como o Método do Critério Global (Rao 2009).

O artigo apresenta uma aplicação do MPCM na otimização do processo de torneamento duro. Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta para o planejamento e análise dos experimentos na otimização multi-objetivo do processo de torneamento do aço ABNT 52100. Para a aplicação do MPCM, as variáveis de entrada escolhidas foram a velocidade de corte (V_c), o avanço (f) e a profundidade de corte (a_p). A cada experimento realizado, foram registrados valores de diferentes saídas, entre elas a vida da ferramenta (T), o custo por peça (K_p) e a rugosidade média (R_a). Após a aplicação do MPCM, foram obtidos os valores ótimos das variáveis de entrada e das funções objetivo na configuração ótima estabelecida.

A seção 2 apresenta uma breve revisão de literatura sobre o processo de torneamento de aços endurecidos, a metodologia de superfície de resposta e a otimização multi-objetivo com foco no método do critério global. O método dos polinômios canônicos de mistura (MPCM) é apresentado na seção 3. A aplicação da metodologia de superfície de resposta no processo de torneamento do aço ABNT 5200 é descrita na seção 4. A seção 5 apresenta os resultados da aplicação do MPCM e da otimização multi-objetivo. Por fim, a seção 6 apresenta as conclusões e considerações finais.

2. Revisão de literatura

2.1. Torneamento de aços endurecidos

O torneamento de aços endurecidos, ou torneamento duro, é um processo de remoção direta de materiais em um estado endurecido, e se difere do torneamento convencional não somente quanto à dureza das peças usinadas, como também em relação às ferramentas de corte necessárias e ao mecanismo de formação de cavaco (Huang *et al.* 2007). Geralmente, o torneamento duro é executado sem fluido refrigerante e com o uso de ferramentas de Nitreto

de Boro Cúbico (CBN) e de cerâmica, necessárias devido à dureza do material, a qual supera 45 HRC (Gaitonde *et al.* 2009).

O torneamento duro é largamente utilizado na indústria nos dias de hoje. A operação é executada com o uso de ferramentas e materiais avançados, o que resulta em redução do tempo de ciclo, flexibilidade no processo, baixa rugosidade da superfície usinada, alta taxa de remoção de material e redução de poluição ambiental, por não utilizar fluido refrigerante (Bouacha 2010).

Os parâmetros comumente utilizados como variáveis de entrada em estudos de processos de torneamento são a velocidade de corte (V_c), o avanço (f) e a profundidade de corte (a_p) (Paiva 2007), (Bouacha 2010). A velocidade de corte (V_c), medida em m/min, mede o deslocamento da superfície não cortada em relação à aresta de corte da ferramenta sobre um intervalo de tempo. O avanço (f), medido em mm/volta, é a taxa de deslocamento entre a peça e a ferramenta a cada movimento de revolução. A profundidade de corte (a_p), frequentemente expressa em mm, é definida como metade da diferença entre os diâmetros cortado e não cortado (Campos 2011). O autor afirma que tais variáveis são as que mais impactam o acabamento da peça, o desgaste da ferramenta e a taxa de remoção de cavaco.

2.2. Metodologia de superfície de resposta

Existem diversas metodologias desenvolvidas para o planejamento e análise de experimentos (Montgomery e Runger 2012). A metodologia de superfície de resposta consiste em um conjunto de técnicas estatísticas e matemáticas utilizadas nos casos em que o objetivo seja otimizar uma resposta a qual sofre influência de diversas variáveis. Uma vez que tais relações são normalmente desconhecidas em processos industriais, são utilizados polinômios na determinação da relação entre as variáveis de entrada e as funções objetivo (Montgomery 2012). O modelo de segunda ordem é apresentado pela Equação (1):

$$y(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

onde:

$y(x)$ = resposta de interesse
 x_i = variáveis independentes
 β_i = coeficientes a serem estimados
 k = número de variáveis independentes
 ε = erro experimental

Os experimentos a serem realizados são estabelecidos segundo o arranjo composto central (*Central Composite Design*). Tal arranjo é composto por três diferentes grupos de elementos experimentais: um fatorial completo (2^k), um conjunto de pontos centrais (*CP*) e um conjunto de pontos axiais ($2k$) (Montgomery 2012). O Método dos Mínimos Quadrados (do inglês *Ordinary Least Squares*) é utilizado na determinação dos coeficientes da Equação (1). Para o CCD original, a distância $\alpha = (2^k)^{1/4}$ é utilizada para definir os pontos axiais em relação aos centrais (Box e Drapper 1987). Por fim, geralmente se executa uma análise de variância (ANOVA) após a construção dos modelos, de forma a avaliar suas significâncias estatísticas e ajustes (Gomes 2014).

2.3. Otimização multi-objetivo

A otimização multi-objetivo é uma técnica empregada em situações em que se deseja otimizar mais de uma função objetivo simultaneamente (Huang *et al.* 2006). Segundo Baril *et al.* (2011) o objetivo da otimização multi-objetivo é estabelecer os valores das variáveis de decisão do vetor $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ que otimize o vetor de funções objetivo $f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\}$, dentro de uma região de solução, a qual é, normalmente, limitada pela região experimental (no caso deste trabalho) e por outras eventuais restrições.

Lopes *et al.* (2016), Paiva *et al.* (2014) e Paiva *et al.* (2007) propõem diferentes sistemáticas de otimização multi-objetivo. Rao (2009) define o Método do Critério Global como sendo a soma dos quadrados das diferenças entre o valor de cada função objetivo e seu respectivo alvo. Assim sendo, cria-se um problema de minimização do Critério Global, apresentado pela Equação (2):

$$\begin{aligned} \text{Min } F(x) &= \sum_{i=1}^p w_i \left[\frac{T_i - f_i(x)}{T_i} \right]^2 \\ \text{s. a.: } g_j(x) &\leq 0, j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (2)$$

onde:

$F(x)$ = Critério Global

T_i = alvos das funções objetivo

$f_i(x)$ = funções objetivo

$g_j(x)$ = restrições

w_i = pesos das funções objetivo
 p = número de funções objetivo

Para a resolução de problemas de otimização seguindo o modelo apresentado pela Equação (2), o algoritmo do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) é uma das opções mais utilizadas (Rao 2009), (Köksoy 2008).

3. Método dos Polinômios Canônicos de Misturas

Gomes (2013) desenvolveu o método dos polinômios canônicos de misturas (MPCM), uma metodologia para identificação de pesos ótimos na otimização multi-objetivo, no qual experimentos são realizados com base em arranjos de misturas que tratam os pesos de cada função objetivo como variáveis de decisão. O objetivo é modelar o erro global entre os valores das funções objetivo e seus respectivos alvos. Entre outras alternativas, tem-se o cálculo da função do erro percentual global (*EPG*) em relação aos pesos. Então, a partir do modelo criado, busca-se a minimização do *EPG*.

O MPCM é aplicado em cinco passos:

Passo 1: formulação do problema de otimização multi-objetivo. Para isso, cada função objetivo é otimizada individualmente, obtendo-se os alvos de cada uma delas. Então, constrói-se a função do critério global.

Passo 2: definição do arranjo de misturas a ser utilizado e especificação das proporções mínimas e máximas de cada peso. Neste trabalho, o arranjo de misturas foi caracterizado como um conjunto organizado de experimentos de várias combinações de diferentes de pesos correspondentes às funções-objetivo. Em cada um dos experimentos, a soma dos pesos equivale a 1 (Montgomery 2012). O objetivo do arranjo de misturas é o de modelar o *EPG* em função dos pesos.

Passo 3: solução do problema de otimização estabelecido no passo 1 para cada condição experimental definida no passo 2 e cálculo do *EPG* das soluções Pareto-ótimas por meio da Equação (3):

$$EPG = \sum_{i=1}^p \left| \frac{y_i^*}{T_i} - 1 \right| \quad (3)$$

onde: *EPG* = erro percentual global das soluções Pareto-ótimas em relação aos alvos

y_i^* = valores ótimos das respostas

T_i = alvos definidos

p = número de objetivos

As soluções Pareto-ótimas são aquelas que se localizam em uma região denominada fronteira de Pareto, na qual estão dispostos os pontos de ótimo em configurações de pesos diferentes (Gomes 2013).

Passo 4: determinação do modelo de misturas para o *EPG*, com base nos resultados dos cálculos do passo 3.

Passo 5: identificação dos pesos ótimos através da minimização da função obtida no passo 4, utilizando, para isso, a Equação (4):

$$\begin{aligned} \text{Min } EPG(w) &= \sum_{i=1}^p \beta_i w_i + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} w_i w_j \\ \text{s. a.: } &\sum_{i=1}^p w_i = 1 \\ &\min w_i \leq w_i \leq \max w_i \end{aligned} \quad (4)$$

onde: $EPG(w)$ = modelo de misturas desenvolvido para o erro percentual global

w_i = pesos atribuídos

β_i e β_{ij} = coeficientes estimados no Passo 4

$\min w_i, \max w_i$ = Pesos mínimos e máximos considerados (definidos no passo 2)

4. Aplicação do método

O MPCM foi utilizado em conjunto com técnicas do planejamento de experimentos para a otimização multi-objetivo de um processo de torneamento do aço ABNT 52100.

Para a modelagem das funções objetivo, as quais eram inicialmente desconhecidas, os experimentos foram realizados em um torno CNC Nardini Logic 175, com rotação máxima de 4000 rpm e potência de corte de 5,5 kW. As peças de trabalho possuíam dimensões iniciais de Ø 49mm x 50 mm e dureza entre 49 e 52 HRC, até uma profundidade de 3 mm. Maiores detalhes sobre o procedimento experimental podem ser consultados no trabalho de Campos (2011).

As variáveis de decisão escolhidas foram a velocidade de corte (V_c), o avanço (f) e a profundidade de corte (a_p). A Tabela 1 apresenta as variáveis de entrada e seus respectivos níveis de trabalho, em seus valores codificados e decodificados.

Tabela 1 - Variáveis de entrada

Variáveis de controle	Níveis				
	-1,682	-1	0	1	1,682
V_c (m/min)	186,4	200	220	240	253,6
f (mm/v)	0,132	0,20	0,30	0,40	0,468
a_p (mm)	0,999	0,150	0,225	0,300	0,351

Fonte: adaptado de Campos (2011)

As respostas escolhidas foram a vida da ferramenta (T), o custo por peça (K_p) e a rugosidade média (R_a). O arranjo experimental foi feito a partir da metodologia de superfície de resposta, utilizando-se o arranjo composto central (CCD). Foram realizados 19 experimentos: 8 experimentos compondo um arranjo fatorial completo (2^3), 6 pontos axiais e 5 pontos centrais. O software estatístico *Minitab* foi utilizado para a organização e a análise dos dados experimentais, quais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados experimentais

Teste	Parâmetros			Respostas		
	V_c (m/min)	f (mm/v)	a_p (mm)	T (min)	K_p (US/pç)	R_a (μ m)
1	200	0,20	0,15	17,21	0,758	0,25
2	240	0,20	0,15	11,37	0,756	0,27
3	200	0,40	0,15	5,96	0,721	0,31
4	240	0,40	0,15	4,48	0,723	0,30
5	200	0,20	0,30	9,42	0,839	0,25
6	240	0,20	0,30	7,37	0,824	0,25
7	200	0,40	0,30	4,03	0,789	0,34
8	240	0,40	0,30	6,10	0,681	0,29
9	186	0,30	0,22	9,51	0,741	0,29
10	254	0,30	0,22	6,86	0,712	0,26
11	220	0,13	0,22	14,18	0,890	0,21
12	220	0,47	0,22	4,12	0,720	0,31
13	220	0,30	0,10	9,42	0,705	0,31
14	220	0,30	0,35	4,92	0,804	0,31
15	220	0,30	0,22	4,89	0,806	0,26

16	220	0,30	0,22	5,00	0,801	0,26
17	220	0,30	0,22	4,77	0,811	0,26
18	220	0,30	0,22	5,01	0,801	0,26
19	220	0,30	0,22	5,12	0,796	0,26

Fonte: adaptado de Campos (2011)

5. Resultados

5.1. Modelagem das funções objetivo

Os coeficientes das funções objetivo foram obtidos a partir do Método dos Mínimos Quadrados (OLS), com o uso do software estatístico *Minitab*. As Equações (5), (6) e (7) apresentam as funções objetivo vida da ferramenta (T), custo por peça (K_p) e rugosidade média (R_a), construídas a partir do modelo quadrático de superfície de resposta.

$$T = 4,963 - 0,861.V_c - 3,055.f - 1,440.a_p + 1,115.V_c^2 + 1,456.f^2 + 0,756.a_p^2 + 1,060.V_c.f + 0,918.V_c.a_p + 1,435.f.a_p \quad (5)$$

$$K_p = 0,803 - 0,012.V_c - 0,040.f + 0,025.a_p - 0,026.V_c^2 + 0,001.f^2 - 0,017.a_p^2 - 0,011.V_c.f - 0,015.V_c.a_p - 0,015.f.a_p \quad (6)$$

$$R_a = 0,260 - 0,007.V_c + 0,028.f + 0,000.a_p + 0,005.V_c^2 + 0,000.f^2 + 0,018.a_p^2 - 0,010.V_c.f - 0,008.V_c.a_p + 0,005.f.a_p \quad (7)$$

As Equações (5), (6) e (7) apresentam ajustes ($R-Sq$ (*adj*)) de 99,74%, 89,86% e 98,66%, respectivamente. Isso significa que os modelos são representativos quanto ao comportamento das funções. Além disso, os p -values de regressão identificados a partir da análise de variância (ANOVA) são inferiores a 0,05 para todas as três funções objetivo, o que comprova a significância estatística dos modelos.

5.2. Identificação dos pesos ótimos

A aplicação do MPCM no processo de torneamento do aço endurecido ABNT 52100 é descrita na sequência de seus cinco passos.

Passo 1: a modelagem do problema de otimização multi-objetivo é apresentada pela Equação (8):

$$\begin{aligned}
\text{Min } F(x) &= w_1 \cdot \left(\frac{T_T - T}{T_T} \right)^2 + w_2 \cdot \left(\frac{T_{Kp} - K_P}{T_{Kp}} \right)^2 + w_3 \cdot \left(\frac{T_{Ra} - R_a}{T_{Ra}} \right)^2 \\
\text{s. a. : } x^T x &\leq 2,828 \\
w_1 + w_2 + w_3 &= 1
\end{aligned} \tag{8}$$

onde: $F(x)$ – Critério Global

T, K_p e R_a – Funções objetivo definidas pelas Equações (5), (6) e (7).

T_T, T_{Kp}, T_{Ra} – Alvos definidos para as funções objetivo

w_1, w_2, w_3 – Pesos atribuídos para as funções objetivo

$x^T x \leq \alpha^2$ – Restrição esférica para o arranjo CCD, considerando $\alpha = \sqrt[4]{n^k}$

As Equações (9), (10) e (11) apresentam as otimizações individuais de cada função objetivo em relação às variáveis de entrada (V_c, f e a_p).

$$\begin{aligned}
\text{Max } T &= 4,963 - 0,861.V_c - 3,055.f - 1,440.a_p + 1,115.V_c^2 + 1,456.f^2 \\
&\quad + 0,756.a_p^2 + 1,060.V_c.f + 0,918.V_c.a_p + 1,435.f.a_p \\
\text{s. a. : } x^T x &\leq 2,828
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
\text{Min } K_p &= 0,803 - 0,012.V_c - 0,040.f + 0,025.a_p - 0,026.V_c^2 + 0,001.f^2 \\
&\quad - 0,017.a_p^2 - 0,011.V_c.f - 0,015.V_c.a_p - 0,015.f.a_p \\
\text{s. a. : } x^T x &\leq 2,828
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
\text{Min } R_a &= 0,260 - 0,007.V_c + 0,028.f + 0,000.a_p + 0,005.V_c^2 + 0,000.f^2 \\
&\quad + 0,018.a_p^2 - 0,010.V_c.f - 0,008.V_c.a_p + 0,005.f.a_p \\
\text{s. a. : } x^T x &\leq 2,828
\end{aligned} \tag{11}$$

Após as otimizações individuais, os valores ótimos encontrados foram:

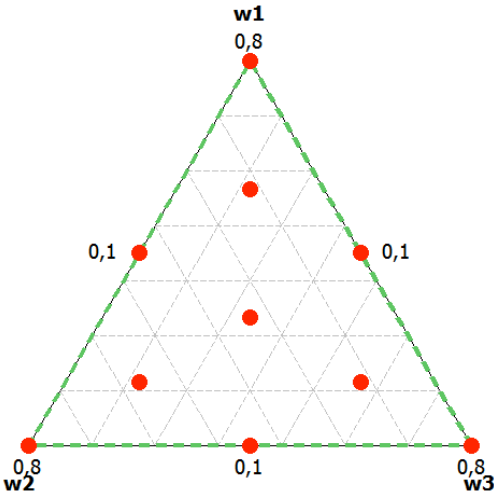
- $T = 17,18$ min;
- $K_p = \text{US\$ } 0,68/\text{peça}$;
- $R_a = 0,21 \mu\text{m}$.

Passo 2: o arranjo escolhido para a identificação dos pesos ótimos foi o *simplex* centroide. Os valores respectivos de mínimo e máximo de cada peso foram definidos como 0,1 e 0,8, conforme representado na Figura 1.

Passo 3: a partir do arranjo de misturas estabelecido, foram executados 10 experimentos. Para cada combinação de pesos, calculou-se o *EPG*, seguindo o problema de otimização descrito no passo 1 pela Equação (8). Em cada rodada de otimização, utilizou-se a

ferramenta Solver, disponível no software *Microsoft Excel®*. A ferramenta possibilitou a utilização do algoritmo GRG para encontrar as soluções Pareto-ótimas. A Tabela 3 apresenta a configuração de pesos dos experimentos realizados, bem como os valores das funções objetivo e do *EPG* de cada experimento.

Figura 1: arranjo de misturas utilizado



Fonte: próprio autor

Tabela 3: Sequência de experimentos e valores do Erro Percentual Global

Teste	Pesos			Respostas ótimas			EPG (%)
	w_1	w_2	w_3	T (min)	K_p (US/pç)	R_a (µm)	
1	0,80	0,10	0,10	17,04	0,78	0,23	26,48%
2	0,10	0,80	0,10	15,74	0,74	0,26	38,43%
3	0,10	0,10	0,80	16,54	0,82	0,22	28,60%
4	0,45	0,45	0,10	16,58	0,75	0,25	31,50%
5	0,45	0,10	0,45	16,85	0,81	0,22	26,76%
6	0,10	0,45	0,45	16,70	0,78	0,23	28,15%
7	0,33	0,33	0,33	16,83	0,78	0,23	27,39%
8	0,57	0,22	0,22	16,94	0,78	0,23	26,88%
9	0,22	0,57	0,22	16,50	0,76	0,24	30,95%
10	0,22	0,22	0,57	16,81	0,80	0,22	26,87%

Fonte: próprio autor

Passo 4: o partir dos resultados obtidos, o *EPG* foi modelado em função dos pesos. O modelo, cujo ajuste é de 98,48%, é apresentado pela Equação (12):

$$EPG(w) = 0,258.w_1 + 0,465.w_2 + 0,325.w_3 - 0,110.w_1.w_2 - 0,088.w_1.w_3 - 0,466.w_2.w_3 \quad (12)$$

A Análise de Variância (ANOVA) resultou em $p\text{-value} < 0,05$, o que garante que o modelo descrito pela Equação (12) é estatisticamente significativo. Os gráficos de superfície de resposta e de contorno, obtidos a partir da Equação (12), são apresentados pelas Figuras 2 e 3.

Passo 5: os pesos ótimos são obtidos a partir da resolução do problema de minimização apresentado pela Equação (13):

$$\begin{aligned} \text{Min } EPG(w) = & 0,258.w_1 + 0,465.w_2 + 0,325.w_3 - 0,110.w_1.w_2 \\ & - 0,088.w_1.w_3 - 0,466.w_2.w_3 \\ \text{s. a.: } & w_1 + w_2 + w_3 = 1 \\ & 0,1 \leq w_{1,2,3} \leq 0,8 \end{aligned} \quad (13)$$

Utilizando a ferramenta *Solver* do *Excel*, foram obtidos os seguintes resultados para os pesos ótimos:

- $w_1 = 0,63$;
- $w_2 = 0,10$;
- $w_3 = 0,27$.

A Figura 2 apresenta o gráfico de Superfície de Resposta para o *EPG* em função dos pesos. A Figura 3 apresenta o gráfico de contorno do *EPG* em função dos pesos.

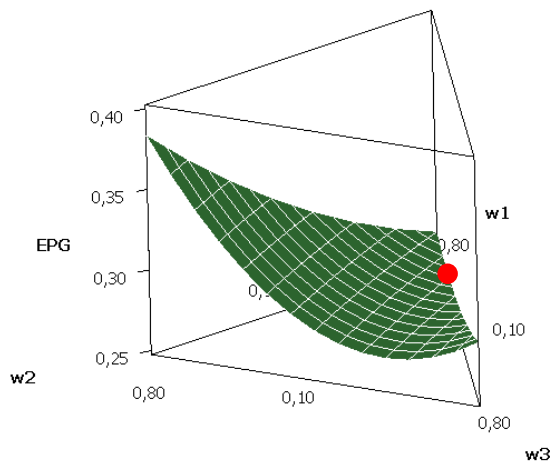


Figura 2: Gráfico de superfície de resposta para o Erro Percentual Global
Fonte: próprio autor

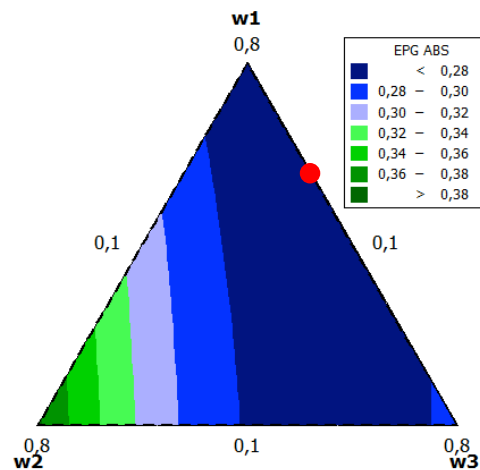


Figura 3: Gráfico de contorno para o Erro Percentual Global
Fonte: próprio autor

Com base nas Figuras 2 e 3, observa-se que o ponto de ótimo calculado está localizado na região onde o *EPG* é mínimo (ponto vermelho nos gráficos).

Na configuração de pesos ótima estabelecida, o Erro Percentual Global foi de 26,17%. A vida da ferramenta recebeu o maior peso entre as funções objetivo (0,67), seguida da rugosidade

média (0,23). O custo por peça recebeu a mínima parcela possível (0,1) no resultado critério global.

5.3 Otimização multi-objetivo

A configuração ótima de pesos obtida foi utilizada na otimização multi-objetivo do processo de torneamento, através da minimização do Critério Global, representado pela Equação (8). A partir da ferramenta *Solver* do *software Excel*, utilizando o algoritmo GRG, foram obtidos os seguintes resultados:

- Critério Global: $F(x) = 0,005$
- Funções objetivo:
 - Vida da ferramenta: $T = 16,97$ min;
 - Custo por peça: $K_p = \text{US\$}0,80/\text{pç}$;
 - Rugosidade média: $R_a = 0,224 \mu\text{m}$.
- Valores decodificados das variáveis de decisão:
 - Velocidade de corte: $V_c = 203,6$ m/min;
 - Avanço: $f = 0,164$ mm/volta;
 - Profundidade de corte: $a_p = 0,184$ mm.

Foram construídas fronteiras de Pareto das funções objetivo, relacionando-as duas a duas para cada configuração de pesos diferentes. O objetivo foi verificar se a configuração ótima de pesos encontrada, de fato, pertence ao conjunto de soluções ótimas.

Como exemplo, os dados para a construção da fronteira de Pareto entre a vida da ferramenta (T) e a rugosidade média (R_a) são apresentados na Tabela 4.

O peso w_2 da função custo por peça foi fixado em 0,1, correspondente ao peso ótimo encontrado na otimização pelo método do MPCM. As combinações dos pesos foram determinadas diferenciando-os em 0,1 a cada iteração. Além destes pontos, adicionou-se o ponto de ótimo encontrado após a aplicação do MPCM. Para cada linha da Tabela 4, executou-se a otimização multiobjetivo considerando-se as três funções e registrando-se os valores de vida e rugosidade média após a execução de cada otimização.

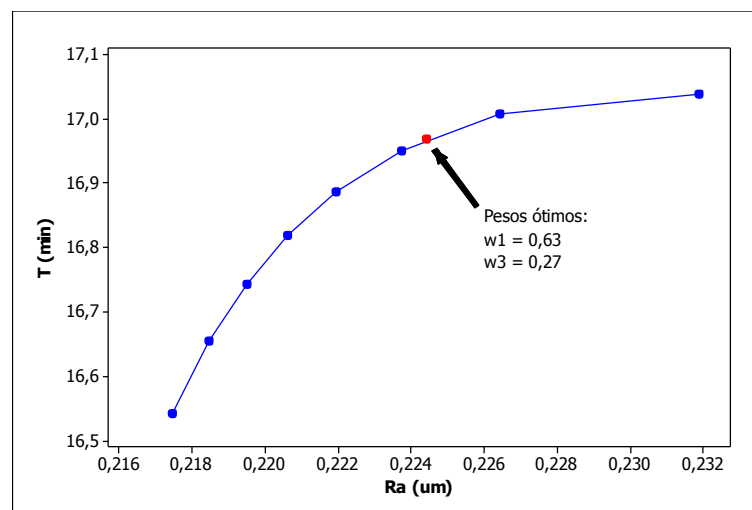
Tabela 4 – Dados para a construção da fronteira de Pareto entre T e R_a

Pesos	Funções objetivo
-------	------------------

w_1	w_2	w_3	T (min)	R_a (μm)
0,80	0,10	0,10	17,037	0,232
0,70	0,10	0,20	17,007	0,226
0,67	0,10	0,27	16,969	0,224
0,60	0,10	0,30	16,950	0,224
0,50	0,10	0,40	16,886	0,222
0,40	0,10	0,50	16,818	0,221
0,30	0,10	0,60	16,743	0,220
0,20	0,10	0,70	16,654	0,218
0,10	0,10	0,80	16,541	0,217

A Figura 4 apresenta a fronteira de Pareto entre a vida da ferramenta e a rugosidade média. O ponto de ótimo obtido pela aplicação do MPCM é indicado pela seta no gráfico.

Figura 4: Fronteira de Pareto para vida da ferramenta e rugosidade média



Fonte: próprio autor

A Figura 4 mostra que o ponto de ótimo encontrado pela aplicação do MPCM, de fato, pertence à curva de soluções Pareto-ótimas.

6. Conclusão

A aplicação do Método dos Polinômios Canônicos de Misturas (MPCM) possibilitou a determinação da configuração ótima de pesos para as funções objetivo estudadas. Portanto, o método foi aplicado com sucesso. Após a aplicação do MPCM no processo de torneamento do

aço ABNT 52100, os resultados obtidos foram os valores ótimos das variáveis de decisão e das funções objetivos dentro da configuração ótima de pesos determinada.

A investigação dos valores ótimos para variáveis de entrada em processos de produção é um dos principais caminhos para a garantia de competitividade na indústria. No caso do torneamento de aços endurecidos, uma vez determinadas as configurações ótimas (velocidade de corte, avanço da ferramenta e profundidade de corte), as empresas que utilizam este processo poderão obter consideráveis vantagens competitivas.

A otimização multi-objetivo de processos, se aliada com um método para determinação da configuração ótima de pesos para as funções objetivo, reduz as chances de erro na determinação dos pesos baseada na experiência do tomador de decisão. Através da modelagem matemática, o resultado obtido pode ser inferido como ótimo com maior segurança.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FUPAI, à FAPEMIG, ao CNPq e à CAPES pelo apoio dado a esta e a outras pesquisas.

REFERÊNCIAS

Baril, C., Yacout, S. e Clément, B. (2011). Design for Six Sigma through collaborative multiobjective optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 60:43-55.

Bouacha, K., Yallese, M. A., Mabrouki, T. e Rigal, J. F. (2010). Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of ABNT 52100 bearing steel with CBN tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 28:361-349.

Box, G. E. P. e Draper, N. R. (1987). *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. John Wiley, New York.

Campos, P. H. S. (2011). Otimização Robusta Multivariada do Processo de Torneamento do Aço Endurecido ABNT 52100 com Ferramenta Cerâmica Alisador. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá/MG.

Cornell, J. (2002). Experiments with mixtures: designs, models, and the analysis of mixture data. John Wiley & Sons, New York.

Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Figueira, J. L. e Davim, J. P. (2009). Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and Wiper ceramic inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 27:754-763.

Gomes, J. H. F. (2013) Método dos Polinômios Canônicos de Misturas para otimização multi-objetivo. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá/MG.

Gomes, J. H. F., Paiva, A. P., Costa, S. C., Peruchi, R. S. e Lopes, L. G. D. (2014). Identificação de pesos ótimos para otimização de processos multi-objetivo: uma aplicação na soldagem de revestimento de chapas de aço carbono com aço inoxidável. In XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Curitiba, PR.

Huang, H. Z., Gu, Y. K., Du, X. (2006). An interactive fuzzy multi-objective optimization method for engineering design. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19:451-460.

Huang, Y., Chou, K. C. e Liang, S. Y. (2007). CBN tool wear in hard turning: survey on research progresses. *Int J Adv Manuf Technol*, 35:453-443.

Köksoy, O. (2008). A nonlinear programming solution to robust multi-response quality problem. *Applied Mathematics and Computation*, 196:603-612.

Lee, D. H. e Kim, K. J. (2012). Interactive weighting of bias and variance in dual response surface optimization. *Expert Systems with Applications*, 39:5900-5906.

Lopes, L. G. D., Brito, T. G. Paiva, A. P., Peruchi, R. S. e Balestrassi, P. P. (2016). Robust parameter optimization based on multivariate normal boundary intersection. *Computers and Industrial Engineering*, 93:55-66.

Mishra, S. (2007). Weighting method for bi-level linear fractional programming problems. *European Journal of Operational Research*, 183:296-302.

Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis of Experiments*. Wiley, New York.
Montgomery, D. C., Runger, G. C. (2012). *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. LTC, Rio de Janeiro.

Paiva, A. P., Ferreira, J. R. e Balestrassi, P. P. (2007). A multivariate hybrid approach applied to AISI 52100 hardened steel turning optimization. *Journal of Material Processing Technology*, 189:26-35.

Paiva, A. P., Gomes, J. H. F., Peruchi, R. S., Leme, R. C. e Balestrassi, P. P. (2014). A multivariate robust parameter optimization approach based on principal component analysis with combined arrays. *Computers and Industrial Engineering*, 74:186-198.

Rao, S. S. *Engineering optimization: theory and practice*. (2009). John Wiley, New Jersey.

Zhang, W. e Yang, H. (2001). A study of the weighting method for a certain type of multicriteria optimization problem. *Computers & Structures*, 79:2741-2749.

Capítulo 9

OTIMIZAÇÃO ROBUSTA DA DILUIÇÃO E DA LARGURA DO CORDÃO NA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR PARA APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO DO AÇO CARBONO ABNT 1020 COM AÇO INOXIDÁVEL ABNT 316L

José Henrique de Freitas Gomes
Paulo Henrique da Silva Campos
Luiz Gustavo Dias Lopes
Sebastião Carlos da Costa
Anderson Paulo de Paiva

OTIMIZAÇÃO ROBUSTA DA DILUIÇÃO E DA LARGURA DO CORDÃO NA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR PARA APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO DO AÇO CARBONO ABNT 1020 COM AÇO INOXIDÁVEL ABNT 316L

José Henrique de Freitas Gomes (UNIFEI)

Paulo Henrique da Silva Campos (UNIFEI)

Luiz Gustavo Dias Lopes (UNIFEI)

Sebastião Carlos da Costa (UNIFEI)

Anderson Paulo de Paiva (UNIFEI)

Resumo

Entre as diversas aplicações da soldagem, os revestimentos de aços carbono com aços inoxidáveis se caracterizam como uma alternativa viável para os ambientes industriais, na medida em que permitem a deposição de superfícies com propriedades anti-corrosivas a partir de materiais de baixo custo. Entretanto, a obtenção de cordões com a qualidade desejada envolve o controle de múltiplas características, as quais, muitas vezes, necessitam ser otimizadas. Nesse contexto, a diluição e a largura do cordão exercem papéis importantes, já que a otimização da diluição garante as propriedades finais dos revestimentos e uma largura ótima permite o recobrimento de maiores superfícies com um menor número de passes. Além disso, é desejável que essas características atinjam seus valores ótimos apresentando mínima variabilidade, caracterizando assim um processo robusto. Portanto, o objetivo deste trabalho é a otimização das médias e variâncias para a diluição e a largura do cordão dos revestimentos de aço inoxidável ABNT 316L depositados sobre chapas de aço carbono ABNT 1020 através da soldagem com arame tubular. Quanto à modelagem das funções objetivo, as equações de médias podem ser determinadas a partir de dados experimentais, o que é uma tarefa difícil para as funções de variâncias, cuja modelagem apresenta problemas. Dessa forma, a estratégia empregada baseou-se na modelagem e otimização do erro quadrático médio, calculados individualmente sobre os resultados dos experimentos planejados segundo um arranjo CCD. Desenvolvidos os modelos de superfície de resposta para os erros quadráticos médios da diluição e largura do cordão, estes foram programados matematicamente através do Método do Critério Global e então otimizados através do emprego do Algoritmo Genético. Os resultados mostraram uma diluição e uma largura ótima próximas aos alvos especificados e apresentando uma variabilidade inferior aos valores observados nos melhores experimentos para cada característica. Sendo assim, tais resultados foram julgados satisfatórios.

Palavras-chave: Otimização robusta, Soldagem de revestimento, Erro Quadrático Médio, Metodologia de Superfície de Resposta, Método do Critério Global.

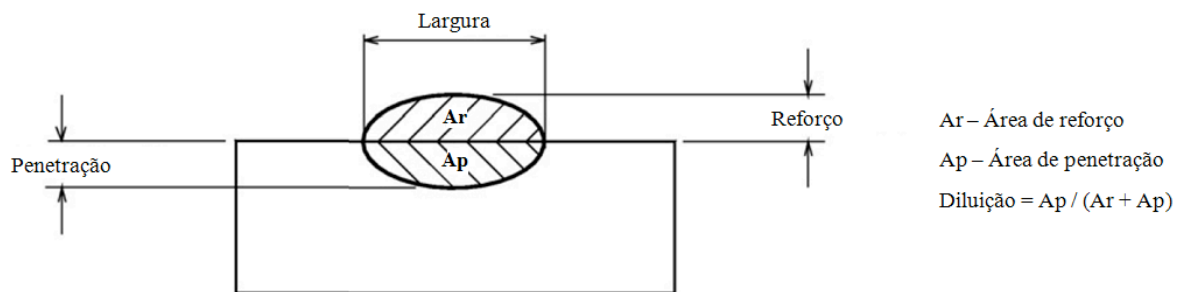
1. Introdução

A soldagem de revestimento de aços carbono com aços inoxidáveis é definida como a deposição de uma camada de aço inoxidável sobre superfícies de aços carbono ou aços de baixa liga, visando à produção de um revestimento com propriedades anti-corrosivas e resistência necessária para suportar ambientes sujeitos ao alto desgaste por corrosão (Murugan e Parmar, 1997; Phillips, 1965). Dessa forma, considerando que tais superfícies podem ser produzidas a partir de materiais comuns e de menor custo, a soldagem de revestimento de aços carbono com aços inoxidáveis tem se mostrado como uma alternativa viável aos mais diversos ambientes industriais, o que justifica o crescente interesse pelo processo nos últimos anos (Palani e Murugan, 2007). Casos de aplicações incluem as indústrias petrolíferas, químicas, alimentícias, agrícolas, nucleares, navais, ferroviária e de construção civil, conforme destacado por Palani e Murugan (2006) e Murugan e Parmar (1994).

Entretanto, a obtenção de fatores econômicos significativos requer que o cordão de solda seja depositado com o perfil geométrico desejado e este, por sua vez, demanda o controle e a otimização de diferentes características. Como pode ser observado na Fig. 1, o perfil geométrico de um cordão de solda é definido por algumas dimensões. Sendo assim, para as aplicações de revestimento de aços carbono com aços inoxidáveis, torna-se interessante que o processo de soldagem empregado seja capaz de depositar cordões com maiores larguras, maiores reforços, menores penetrações e um mínimo percentual de diluição. A obtenção de maiores larguras é importante para recobrir a maior área possível com um menor número de passes. Maiores reforços aumentam a espessura da camada de revestimento, o que garante a uniformidade do metal de adição na superfície de contato com o meio corrosivo. Menores penetrações reduzem a difusão de elementos entre os materiais base e de adição. Quanto à diluição, uma vez que o seu percentual é obtido a partir da razão entre a área de penetração e a área total do cordão de solda, a minimização desta característica combina as vantagens obtidas com uma menor penetração e um maior reforço, sendo fundamental para assegurar as propriedades finais da camada revestida. Nesse contexto, ela tem sido apontada por alguns

pesquisadores como um dos principais elementos a ser controlado durante o processo de revestimento (Balasubramanian et al., 2009; Kannan e Murugan, 2006; Shahi e Pandey, 2006). Shahi e Pandey (2008) afirmam que o aumento da diluição provoca uma redução dos elementos de liga e aumenta o conteúdo de carbono na camada revestida, reduzindo assim as propriedades de resistência à corrosão além de causar outros problemas metalúrgicos. Portanto, o estudo e o desenvolvimento de procedimentos capazes de oferecer uma diluição ótima tem se tornado muito importante.

Figura 1. Perfil geométrico do cordão de solda



Fonte:(adaptado de Palani e Murugan, 2007)

Apesar do emprego de métodos de otimização aos processos industriais ser útil no sentido de que um ou múltiplos objetivos sejam alcançados, em alguns casos torna-se interessante que as técnicas empregadas não se limitem apenas à otimização dos valores médios das respostas. A variabilidade do processo também deve ser considerada e, nesse aspecto, a estratégia empregada deve fazer com que as médias das respostas fiquem o mais próximo possível dos seus alvos, ao mesmo tempo em que as variâncias sejam mínimas.

Diante de tais considerações, o objetivo deste trabalho é a otimização robusta da diluição e da largura do cordão na soldagem com arame tubular empregada para aplicações de revestimento do aço inoxidável ABNT 316L depositado sobre chapas de aço carbono ABNT 1020. Dentro da abordagem de processo robusto apresentada por Montgomery (2005), deseja-se identificar um ajuste para os parâmetros de entrada do processo em que: (1) as médias das respostas fiquem próximas aos valores desejados e (2) a variabilidade em torno do ponto de ótimo seja a menor possível. Quanto às características geométricas que definem o perfil do cordão de solda, escolheu-se trabalhar com a diluição e a largura do cordão em função das mesmas serem as respostas mais importantes para a obtenção de um cordão de revestimento, ou seja, cordões largos e com mínima difusão de elementos entre os materiais. Além disso, como a

diluição é calculada como a razão da área de penetração pela área total do cordão, pode-se afirmar que as outras características (penetração e reforço) encontram-se inseridas nessa resposta.

Para a otimização robusta, a estratégia empregada baseou-se na modelagem e otimização do erro quadrático médio de ambas as respostas. O presente método foi desenvolvido a partir do estudo proposto por Paiva et al. (2012) e, para isso, as seguintes ferramentas foram utilizadas: Metodologia de Superfície de Resposta, cálculo dos erros quadráticos médios, Método do Critério Global e Algoritmo Genético. Tal estratégia é descrita em maiores detalhes a seguir.

2. Otimização robusta baseada na modelagem do erro quadrático médio

Diversas técnicas para programação matemática das funções objetivo são disponíveis na literatura. Entre elas, Rao (1996) apresenta a programação linear e não-linear, a programação geométrica, o critério global, a programação lexicográfica e a programação por metas. Outros exemplos incluem a função desirability (Derringer e Suich, 1980) e o Erro Quadrático Médio Multivariado (Paiva et al., 2009). Em todos esses casos, se o processo a ser otimizado não possui as funções objetivo definidas, estas podem ser determinadas a partir de dados experimentais, colhidos de forma planejada através de técnicas estatísticas como, por exemplo, a Metodologia de Superfície de Resposta (Montgomery, 2005).

Para o caso da otimização robusta, verifica-se que as funções para as médias das respostas são desenvolvidas de forma satisfatória e, neste contexto, altas capacidades de previsão dos modelos são frequentemente obtidas (Gomes et al., 2011; Palani e Murugan, 2006). No entanto, o mesmo resultado não é observado para as funções de variância. A modelagem de tais respostas costuma apresentar problemas, na medida em que a capacidade de previsão é baixa. Dessa forma, a programação matemática das funções de média e variância pelas técnicas convencionais pode gerar resultados que não representam bem a realidade, em função dos erros apresentados pelos modelos das variâncias.

Devido a essas considerações, Paiva et al. (2012) propõem desenvolver a otimização robusta através da modelagem e otimização do erro quadrático médio, que é descrito por K ksoy (2006) e Lin e Tu (1995) como a soma da variância com a diferença quadrática entre a média da resposta e o seu valor alvo. Com isso, média e variância são aglutinadas em uma única variável, que passa a ser o objetivo de otimização. Dentro dessa abordagem, utiliza-se a Metodologia de Superfície de Resposta para o planejamento dos experimentos, coleta dos dados e para modelagem das funções objetivo. Após o desenvolvimento dos modelos para o

erro quadrático médio de cada característica, estes são matematicamente programados através de técnicas convenientes. A identificação do ponto de ótimo é então realizada através do emprego de algoritmos de otimização.

Sendo assim, a estratégia de otimização do presente trabalho foi desenvolvida a partir do seguinte procedimento:

Passo 1: modelagem das funções objetivo para as médias das respostas.

Passo 2: definição dos alvos das respostas através da otimização individual dos modelos desenvolvidos no passo 1.

Passo 3: cálculo do erro quadrático médio para cada condição experimental, utilizando a seguinte expressão:

$$EQM_i(y) = [\mu_i(y) - T_y]^2 + \sigma_i^2(y) \quad (1)$$

onde: $EQM_i(y)$ – Erro quadrático médio da resposta y no i -ésimo experimento

$\mu_i(y)$ – Média da resposta y no i -ésimo experimento

T_y – Alvo da resposta y , obtido no passo 2

$\sigma_i^2(y)$ – Variância da resposta y no i -ésimo experimento

Passo 4: modelagem das funções objetivo para os erros quadráticos médios das respostas, utilizando como fonte de dados os resultados dos cálculos do passo 3.

Passo 5: definição dos alvos para os erros quadráticos médios através da minimização individual dos modelos desenvolvidos no passo 4.

Passo 6: programação matemática do problema, considerando a seguinte formulação:

$$\text{Minimizar } EQM_G = \sum_{j=1}^n \left[\frac{T_{EQM(y_j)} - EQM(y_j)}{T_{EQM(y_j)}} \right]^2 \quad (2)$$

$$\text{Sujeito a: } \mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq \alpha^2 \quad (3)$$

onde: EQM_G – Erro quadrático médio global

$T_{EQM(y_j)}$ – Alvo para o erro quadrático médio da j -ésima resposta, obtido no passo 5

$EQM(y_j)$ – Modelo de superfície de resposta para o erro quadrático médio da j -ésima resposta

n – Número de respostas consideradas

$\mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq \alpha^2$ – Restrição esférica para o espaço experimental

Passo 7: aplicação do algoritmo de otimização na formulação do passo 6.

Em relação ao procedimento anterior, é conveniente ressaltar que a técnica de programação matemática utilizada no passo 6 foi baseada no Método do Critério Global, o qual é apresentado por Rao (1996) como um método para otimização de múltiplos objetivos. Quanto ao algoritmo de otimização, utilizou-se no presente trabalho o Algoritmo Genético. Sua escolha é justificada pelo fato do mesmo ser caracterizado na literatura como um algoritmo eficaz para otimizações globais (Zain et al., 2010; Busacca et al., 2001).

3. Experimentos

3.1. Planejamento dos experimentos

Para a coleta dos dados, experimentos de soldagem foram planejados segundo um arranjo composto central (*central composite design* - CCD). O CCD é o arranjo experimental mais utilizado dentro da Metodologia de Superfície de Resposta e é composto por três grupos de elementos experimentais: um fatorial completo (2^k , sendo k o número de variáveis de entrada), um conjunto de pontos centrais (cp) e um conjunto de níveis extras denominados pontos axiais ($2k$). Os pontos axiais são definidos por uma distância codificada α em relação aos pontos centrais. O número total de experimentos é dado pela soma $2^k + 2k + cp$. Dessa forma, quatro parâmetros de soldagem foram definidos como variáveis de entrada, o que resultou em 31 experimentos, já que foram utilizados sete pontos centrais. O valor adotado para α foi 2,0. A Tab. 1 apresenta os parâmetros de soldagem e seus respectivos níveis fixados para o arranjo CCD.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem e seus níveis.

Parâmetros de soldagem	Unidade	Notação	Níveis dos fatores				
			-2	-1	0	+1	+2
Velocidade de alimentação do arame	m/min	V_a	5,5	7,0	8,5	10,0	11,5
Tensão	V	T	24,5	27,0	29,5	32,0	34,5
Velocidade de soldagem	cm/min	V_s	20	30	40	50	60
Distância bico de contato peça	mm	N	10	15	20	25	30

As respostas a serem otimizadas incluem a diluição (D) e a largura do cordão (W), representadas por suas respectivas médias e variâncias, conforme discutido anteriormente.

3.2. Procedimento experimental

A execução dos experimentos foi realizada utilizando como equipamentos uma fonte ESAB AristoPower 460, um módulo AristoFeed 30-4W MA6 para a alimentação do arame e um banco de testes com dispositivo para controle da velocidade de soldagem e ajuste da tocha em relação ao metal base. O metal base utilizado foi o aço carbono ABNT 1020, cortado em chapas de dimensões 120 x 60 x 6,35 mm. Para o metal de adição, foi empregado um arame tubular de aço inoxidável do tipo AWS E316LT1-1/4, com 1,2 mm de diâmetro. A Tab. 2 apresenta a composição química dos respectivos materiais.

Tabela 2. Composição química do metal base e metal de adição.

Material	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
Aço ABNT 1020	0,18/0,23	0,30/0,60	0,04	0,05	-	-	-	-
Arame AWS E316LT1-1/4	0,03	1,58	-	-	1,00	12,4	18,5	2,46

Como técnica de soldagem, os cordões de aço inoxidável foram simplesmente depositados sobre as chapas de aço carbono (*bead on plate*), levando em consideração o ajuste dos parâmetros definidos pelo arranjo experimental. O gás de proteção utilizado foi a mistura 75% Ar + 25% CO₂ a uma vazão de 16 l/min. O ângulo da tocha foi fixado em 15° na posição “empurrando”.

A medição das respostas foi realizada em quatro pontos diferentes dos cordões, com o início e o fim do processo sendo desprezados. Os corpos de prova foram cortados e suas seções transversais foram devidamente preparadas, atacadas com nital 4% e fotografadas. Através do software analisador de imagens *Analysis Doc*®, as dimensões do cordão foram mensuradas, obtendo-se a largura, a área de penetração e a área total da solda. O percentual de diluição foi então calculado dividindo-se a área de penetração pela área total. A Fig. 2 mostra as seções transversais de dois corpos de prova após os procedimentos de corte, preparação e ataque.

Após todas as medições, estas foram reunidas para compor a matriz experimental (Tab. 3), utilizada como fonte de dados para a modelagem e otimização do problema.

Figura 2. Geometria dos cordões após a preparação dos corpos de prova

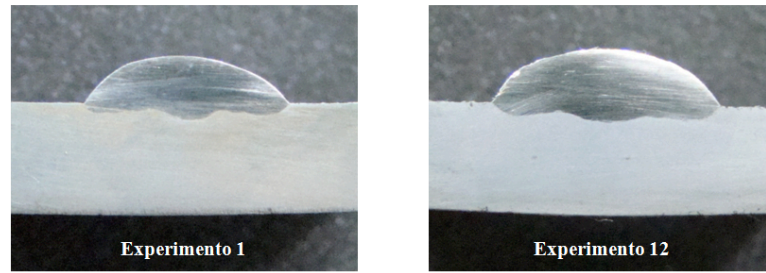


Tabela 3. Matriz experimental

Teste	Parâmetros codificados				Diluição (%)				Largura (mm)			
	Va	T	Vs	N	D_1	D_2	D_3	D_4	W_1	W_2	W_3	W_4
1	-1	-1	-1	-1	21,87	27,92	29,33	26,63	11,63	11,28	10,99	10,85
2	1	-1	-1	-1	22,74	27,68	26,75	26,12	13,13	12,89	12,81	13,13
3	-1	1	-1	-1	28,61	30,43	34,11	32,82	13,17	12,51	12,57	12,54
4	1	1	-1	-1	33,66	32,30	34,01	25,01	14,99	15,00	14,67	15,52
5	-1	-1	1	-1	38,29	37,63	34,35	34,62	9,92	9,04	8,96	8,94
6	1	-1	1	-1	34,86	30,97	33,88	35,06	10,16	10,16	9,63	9,90
7	-1	1	1	-1	32,51	38,56	36,55	40,86	10,48	9,53	9,44	9,53
8	1	1	1	-1	40,85	38,89	40,02	44,55	11,63	11,50	11,71	11,21
9	-1	-1	-1	1	14,19	26,51	26,55	22,57	10,38	10,63	10,16	10,13
10	1	-1	-1	1	21,73	15,81	16,52	19,22	12,17	11,22	11,65	10,66
11	-1	1	-1	1	21,20	24,53	25,79	23,33	11,38	11,60	11,13	10,96
12	1	1	-1	1	19,26	23,35	20,63	24,58	13,86	13,17	13,10	13,22
13	-1	-1	1	1	25,57	24,98	28,24	21,04	8,23	7,62	8,19	7,93
14	1	-1	1	1	25,41	23,03	24,91	19,87	9,68	8,08	8,56	8,17
15	-1	1	1	1	28,29	25,88	30,16	30,76	8,85	8,20	8,37	8,48
16	1	1	1	1	27,37	31,38	30,80	31,21	11,17	10,85	11,20	10,13
17	-2	0	0	0	38,58	28,46	29,66	29,53	9,27	9,17	8,74	9,09
18	2	0	0	0	26,59	31,09	32,16	33,96	13,12	11,97	11,96	11,80
19	0	-2	0	0	16,97	26,56	27,77	20,04	9,89	9,14	9,73	8,94
20	0	2	0	0	36,39	37,94	32,91	35,07	11,79	12,04	11,78	11,15
21	0	0	-2	0	17,68	17,25	21,98	17,42	15,26	15,18	14,64	14,66
22	0	0	2	0	34,70	34,96	32,55	40,92	8,84	8,51	8,22	8,35
23	0	0	0	-2	37,76	37,04	44,39	42,58	11,88	11,58	11,74	11,73
24	0	0	0	2	23,10	28,03	22,33	23,17	9,69	9,11	8,48	9,60
25	0	0	0	0	31,35	34,96	28,78	29,11	11,11	10,75	10,68	10,74
26	0	0	0	0	27,34	34,93	31,37	33,03	11,55	10,88	10,25	11,02
27	0	0	0	0	28,02	34,58	30,76	30,15	11,04	10,79	10,68	10,46
28	0	0	0	0	32,74	32,63	33,23	32,72	11,16	10,39	10,50	10,40
29	0	0	0	0	28,33	33,35	30,65	27,63	11,17	10,33	10,63	10,41
30	0	0	0	0	29,89	31,74	30,23	32,48	11,15	10,52	10,28	10,39
31	0	0	0	0	28,32	31,36	35,73	28,65	11,04	10,37	10,21	10,66

4. Resultados

Aplicando o procedimento estabelecido na seção 2, tem-se:

Passo 1: modelagem das funções objetivo para as médias das respostas

De acordo com Montgomery (2005), o modelo de superfície de resposta que relaciona uma dada resposta y com k variáveis de entrada apresenta o seguinte formato:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

onde: y – Resposta de interesse

x_i – Parâmetros de entrada

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ – Coeficientes a serem estimados

k – Número de parâmetros de entrada considerados

Escrevendo a Eq. (4) para os quatro parâmetros de soldagem considerados neste trabalho, chega-se então à seguinte expressão:

$$y = \beta_0 + \beta_1 Va + \beta_2 T + \beta_3 Vs + \beta_4 N + \beta_{11} Va^2 + \beta_{22} T^2 + \beta_{33} Vs^2 + \beta_{44} N^2 + \beta_{12} VaT + \beta_{13} VaVs + \beta_{14} VaN + \beta_{23} TVs + \beta_{24} TN + \beta_{34} VsN \quad (5)$$

Na Eq. (5), Va , T , Vs e N são expressos em sua forma codificada. A estimação dos coeficientes foi realizada através do software estatístico *Minitab*®, que utiliza o método dos Mínimos Quadrados Ordinários para este fim. Em seguida, a Análise de Variância (ANOVA) foi utilizada para verificar a adequação dos modelos, seus ajustes e para remover os termos não significativos. A Tab. 4 apresenta os coeficientes desenvolvidos para os modelos de superfície de resposta em sua forma reduzida, assim como os principais resultados da ANOVA. A título de ilustração, foram também desenvolvidos os modelos para as variâncias. Tais resultados encontram-se na Tab. 4.

Tabela 4. Coeficientes estimados para os modelos de superfície de resposta e principais resultados da ANOVA.

Coeficiente	Diluição		Largura	
	$\mu (D)$	$\sigma^2 (D)$	$\mu (W)$	$\sigma^2 (W)$
<i>Constante</i>	31,034	6,698	10,640	0,140
β_1	-0,282	-2,247	0,797	0,052
β_2	2,493	-2,630	0,656	-0,025
β_3	3,679	-1,029	-1,451	0,017
β_4	-4,250	-0,127	-0,629	0,052
β_{11}	-	1,695	-	0,019
β_{22}	-0,722	1,609	-	-
β_{33}	-1,230	-	0,270	-
β_{44}	-	-	-	-
β_{12}	0,771	2,607	0,266	-0,032
β_{13}	0,497	-	-0,114	-
β_{14}	-0,418	-1,691	-	0,091
β_{23}	-	1,679	-0,102	-
β_{24}	-	-3,610	-	-0,039
β_{34}	-0,771	-	0,067	-
$R^2(adj.)$	94,30%	30,88%	98,33%	63,81%
<i>p-value</i> (regressão)	0,000	0,051	0,000	0,000

Como pode ser observado, boa significância estatística e bons ajustes foram identificados para as equações de médias, uma vez que os *p-values* de regressão foram menores que 5% de significância e os valores de $R^2 (adj.)$ foram superiores a 90%. No entanto, os mesmos resultados não podem ser atribuídos para as equações de variâncias. Apesar dos *p-values* de regressão serem satisfatórios, os ajustes obtidos para essas respostas foram inferiores a 70%. Dessa forma, tais resultados confirmam o que foi exposto anteriormente no que diz respeito aos problemas na modelagem das variâncias, justificando assim o emprego da estratégia de otimização adotada.

Passo 2: definição dos alvos das respostas

A definição dos alvos para diluição e largura foi obtida a partir da otimização individual dos modelos desenvolvidos anteriormente. Com isso, obteve-se uma diluição mínima de 16,27% e uma largura máxima de 15,57 mm.

Passo 3: cálculo dos erros quadráticos médios dos experimentos

Utilizando a Eq. (1) sobre cada condição experimental da Tab. 3, são obtidos os resultados apresentados na Tab. 5.

Tabela 5. Matriz experimental para os erros quadráticos médios.

Teste	Parâmetros codificados				Diluição			Largura		
	Va	T	Vs	N	$\mu (D)$	$\sigma^2 (D)$	$EQM (D)$	$\mu (W)$	$\sigma^2 (W)$	$EQM (W)$
1	-1	-1	-1	-1	26,44	10,50	113,84	11,19	0,12	19,37
2	1	-1	-1	-1	25,82	4,64	95,76	12,99	0,03	6,70
3	-1	1	-1	-1	31,49	6,01	237,54	12,70	0,10	8,37
4	1	1	-1	-1	31,25	17,83	242,11	15,05	0,12	0,40
5	-1	-1	1	-1	36,22	4,11	401,95	9,21	0,22	40,67
6	1	-1	1	-1	33,69	3,56	306,88	9,96	0,06	31,58
7	-1	1	1	-1	37,12	12,54	447,10	9,75	0,24	34,19
8	1	1	1	-1	41,08	6,02	621,36	11,51	0,05	16,56
9	-1	-1	-1	1	22,46	33,87	72,14	10,32	0,06	27,61
10	1	-1	-1	1	18,32	7,31	11,50	11,43	0,41	17,61
11	-1	1	-1	1	23,71	3,81	59,10	11,27	0,08	18,64
12	1	1	-1	1	21,96	5,96	38,29	13,34	0,13	5,13
13	-1	-1	1	1	24,96	8,83	84,28	7,99	0,08	57,58
14	1	-1	1	1	23,31	6,30	55,81	8,62	0,54	48,84
15	-1	1	1	1	28,77	4,81	160,96	8,48	0,08	50,47
16	1	1	1	1	30,19	3,59	197,24	10,84	0,25	22,67
17	-2	0	0	0	31,56	22,19	255,86	9,07	0,05	42,40
18	2	0	0	0	30,95	9,86	225,24	12,21	0,37	11,68
19	0	-2	0	0	22,84	26,82	69,93	9,42	0,21	38,04
20	0	2	0	0	35,58	4,54	377,26	11,69	0,14	15,24
21	0	0	-2	0	18,58	5,17	10,49	14,93	0,11	0,52
22	0	0	2	0	35,78	12,90	393,39	8,48	0,07	50,37
23	0	0	0	-2	40,44	12,97	596,96	11,73	0,01	14,77
24	0	0	0	2	24,16	6,81	69,00	9,22	0,31	40,68
25	0	0	0	0	31,05	8,08	226,42	10,82	0,04	22,61
26	0	0	0	0	31,67	10,44	247,48	10,93	0,29	21,90
27	0	0	0	0	30,88	7,48	220,81	10,74	0,06	23,40
28	0	0	0	0	32,83	0,07	274,18	10,61	0,13	24,76
29	0	0	0	0	29,99	6,69	194,82	10,64	0,14	24,54
30	0	0	0	0	31,09	1,50	221,02	10,59	0,15	25,03
31	0	0	0	0	31,02	11,74	229,18	10,57	0,13	25,17

Passo 4: modelagem das funções objetivo para os erros quadráticos médios

Os modelos de superfície de resposta para os erros quadráticos médios foram desenvolvidos utilizando o mesmo procedimento do passo 1. Com isso, foram obtidas as seguintes expressões:

$$EQM(D) = 224,062 - 2,883Va + 61,508T + 90,463Vs - 118,465N - 9,922T^2 - 15,336Vs^2 + 17,425N^2 + 24,785VaT + 18,372TVs - 24,863TN - 48,174VsN \quad (6)$$

$$EQM(W) = 24,493 - 7,036Va - 5,797T + 12,434Vs + 5,938N + 0,502Va^2 + 0,674N^2 - 1,650VaT - 1,195VaVs - 0,793VaN - 1,002TVs - 0,995TN + 1,401VsN \quad (7)$$

Após a Análise de Variância (ANOVA), os modelos anteriores foram classificados como estatisticamente significantes, com *p-values* de regressão menores que 5% de significância. Os ajustes obtidos foram 91,64% para $EQM(D)$ e 97,19% para $EQM(W)$.

Passo 5: definição dos alvos para os erros quadráticos médios

A partir da minimização individual das Eqs. (6) e (7), os alvos para os erros quadráticos médios foram fixados em 0,01 para $EQM(D)$ e para $EQM(W)$.

Passo 6: formulação do problema

Tendo desenvolvido as funções objetivo para os erros quadráticos médios e fixado os seus respectivos alvos, estes foram matematicamente programados através do Método do Critério Global (Rao, 1996), o que resultou na seguinte formulação:

$$\text{Minimizar } EQM_G = \left[\frac{0,01 - EQM(D)}{0,01} \right]^2 + \left[\frac{0,01 - EQM(W)}{0,01} \right]^2 \quad (8)$$

$$\text{Sujeito a: } \mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq 4,00 \quad (9)$$

onde: EQM_G – Erro quadrático médio global
 $EQM(D)$, $EQM(W)$ – Modelos de superfície de resposta representados pelas Eqs. (6) e (7)

$\mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq 4,00$ – Restrição esférica para o espaço experimental, considerando $\alpha = 2,0$

Passo 7: aplicação do algoritmo de otimização

A identificação do ponto de ótimo foi obtida a partir da aplicação do Algoritmo Genético na formulação anterior. Para isso, o problema foi programado em uma planilha do *Microsoft Excel®* e o suplemento *Solver Evolutionary* foi utilizado. Como parâmetros do Algoritmo Genético, foram utilizados uma população de 100 soluções, taxa de mutação de 10%, 1.000 iterações e convergência de 0,0001. Sendo assim, após algumas execuções do algoritmo, o ponto de ótimo foi encontrado. Tais resultados, obtidos com um nível de confiança de 95%, são apresentados pela Tabela 6.

Tabela 6. Resultados para a otimização robusta da diluição e largura do cordão.

	Parâmetros				Diluição		Largura	
	Va	T	Vs	N	$\mu (D)$	$\sigma^2 (D)$	$\mu (W)$	$\sigma^2 (W)$
Ponto de ótimo	9,6	29,0	22,1	20,1	18,93	8,64	14,62	0,17
Objetivo	-	-	-	-	min	min	max	min
Unidades	m/min	V	cm/min	mm	%	% ²	mm	mm ²

O resultado ótimo mostra que as médias se estabeleceram próximos aos alvos, já que uma diferença de 2,66% para a diluição e 0,95 mm para a largura foram verificados em relação aos valores desejados. Quanto à variabilidade no ponto de ótimo, as Figs. 3 e 4 apresentam uma comparação dos resultados com as melhores condições experimentais para a diluição (experimento 10) e para a largura (experimento 4). Tais gráficos foram construídos a partir da simulação dos dados obtidos com os modelos de superfície de resposta desenvolvidos. Como pode ser observado, no experimento com melhor diluição (Fig. 3) foi observada uma baixa largura e uma maior variabilidade em torno desta característica. Da mesma forma, o experimento com melhor largura (Fig. 4) apresentou uma diluição alta com, também, uma maior variabilidade. O resultado ótimo, por sua vez, foi capaz de combinar as vantagens dos dois experimentos em uma única condição, ou seja, apresentar ao mesmo tempo uma diluição baixa e uma largura alta, com baixa variabilidade para ambas as respostas.

Em comparação com o melhor resultado individual, a diluição no ponto de ótimo, assim como a sua variabilidade, foi levemente superior ao valor obtido no experimento 10. O mesmo ocorreu com a largura, já que o resultado ótimo foi um pouco inferior e apresentou uma variabilidade levemente superior em relação ao experimento 4. No entanto, considerando que este resultado se deve à existência de conflitos de interesse característicos de problemas de otimização multi-objetiva e tendo em vista os resultados observados nas Figs. 3 e 4, julgou-se

como satisfatória a otimização robusta desenvolvida neste trabalho para a soldagem com arame tubular, utilizada para as aplicações de revestimento do aço inoxidável ABNT 316L depositado sobre superfícies de aço carbono ABNT 1020.

Figura 3. Comparação do resultado ótimo com o experimento de melhor diluição.

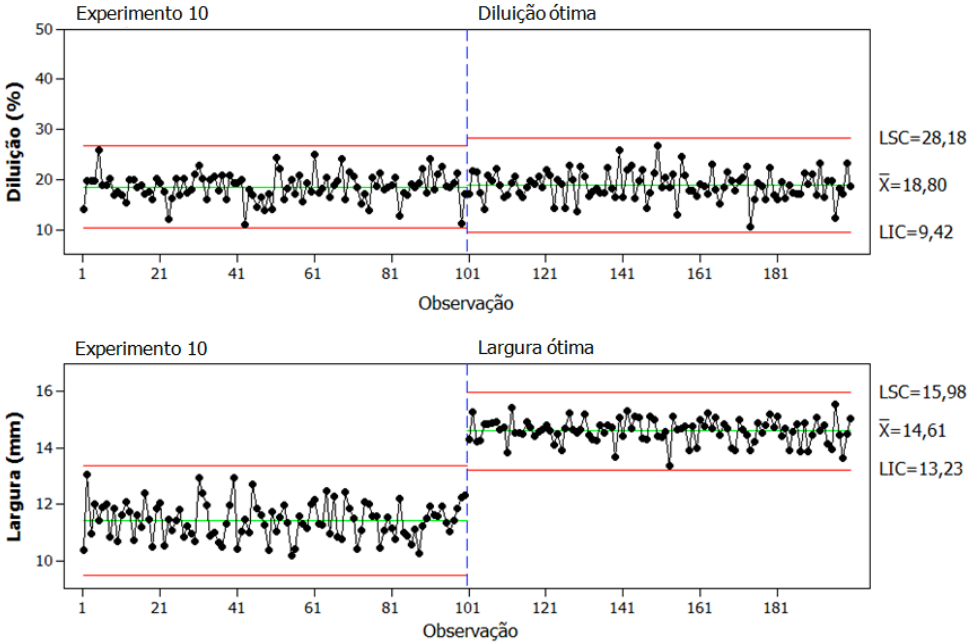
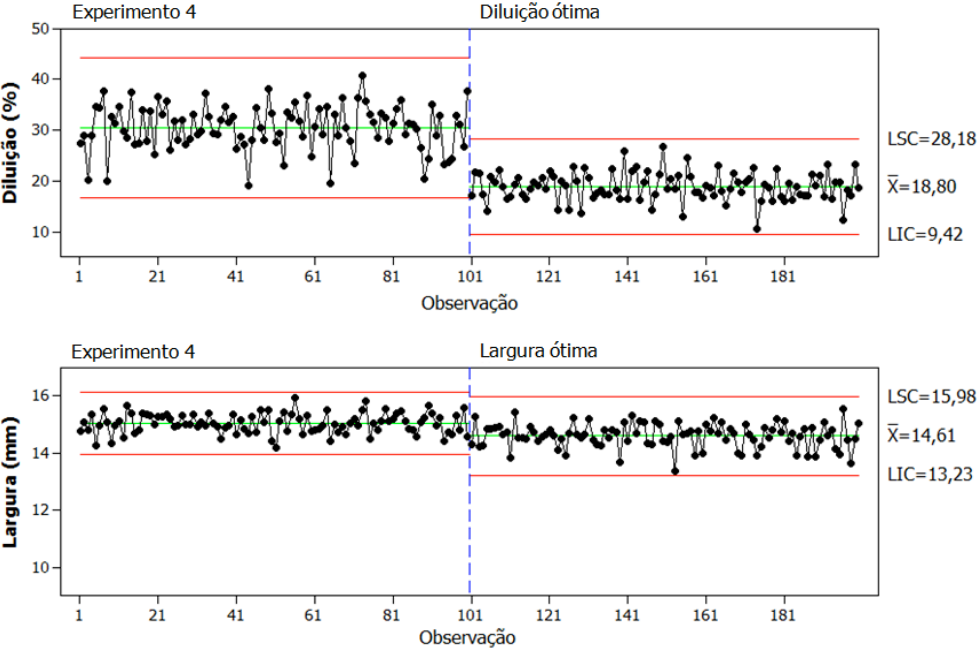


Figura 4. Comparação do resultado ótimo com o experimento de melhor largura.



5. Conclusões

O presente trabalho apresentou uma estratégia para a otimização das médias e variâncias da diluição e da largura do cordão em aplicações de revestimento do aço inoxidável ABNT 316L depositado sobre superfícies de aço carbono ABNT 1020 através da soldagem com arame tubular. Em função das dificuldades existentes com a modelagem das variâncias, a estratégia utilizada baseou-se na modelagem e otimização do erro quadrático das respostas, através de um procedimento que utilizou conjuntamente a Metodologia de Superfície de Resposta, o Método do Critério Global e o Algoritmo Genético. Dessa forma, os modelos desenvolvidos para as médias e para os erros quadráticos médios foram caracterizados como expressões confiáveis para a representação das respostas, já que os ajustes foram superiores a 90% e os *p-values* de regressão ficaram abaixo do nível de significância considerado (5%). Uma vez que os modelos para os erros quadráticos médios foram bem ajustados, o Método do Critério Global e o Algoritmo Genético foram aplicados com êxito e uma solução ótima para o processo foi obtida para os seguintes parâmetros de soldagem: $Va = 9,6$ m/min; $T = 29,0$ V; $Vs = 22,1$ cm/min e $N = 20,1$ mm. Nessa condição, diluição e largura apresentaram valores médios ótimos respectivamente iguais a 18,93% e 14,62 mm, considerados relativamente próximos aos valores desejados. Em relação à variabilidade, a simulação e comparação dos dados no ponto de ótimo com os melhores resultados obtidos experimentalmente mostraram que a solução ótima foi capaz de atingir uma baixa diluição, uma alta largura e baixa variabilidade para ambas as respostas, o que não ocorreu quando elas foram verificadas de forma isolada.

Por fim, após a aplicação do procedimento para otimização robusta através da modelagem e otimização do erro quadrático médio, verifica-se que a principal vantagem desta estratégia diz respeito ao fato de que o cálculo do erro quadrático médio sobre os dados experimentais aglutina a média e a variância das respostas em uma única variável, a qual passa a ser modelada como função objetivo. Com isso, considerando que os modelos para os erros quadráticos médios são bem ajustados, a otimização desta variável representa a otimização conjunta das médias e variâncias, porém sem passar pelos problemas existentes com a modelagem das variâncias.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPEMIG, CAPES e CNPq para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Balasubramanian, V., Lakshminarayanan, A.K., Varahamoorthy, R. and Babu, S., 2009, “Application of response surface methodology to prediction of dilution in plasma transferred arc hardfacing of stainless steel on carbon steel”, *International Journal of Iron and Steel Research*, Vol. 16, No. 1, pp. 44-53.

Busacca, G.P., Marseguerra, M. and Zio, E., 2001, “Multiobjective optimization by genetic algorithms: application to safety systems”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 72, No. 1, pp. 59-74.

Derringer, G. and Suich, R., 1980, “Simultaneous optimization of several response variables”, *Journal of Quality Technology*, Vol. 12, No. 4, pp. 214-219.

Gomes, J.H.F., Costa, S.C. Paiva, A.P. and Balestrassi, P.P., 2011, “Otimização de múltiplos objetivos na soldagem de revestimento de chapas de aço carbono ABNT 1020 utilizando arame tubular inoxidável austenítico”, *Soldagem & Inspeção*, Vol. 16, No. 3, pp. 232-242.

Kannan, T. and Murugan, N., 2006, “Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 176, No. 1-3, pp. 230-239.

Köksoy, O., 2006, “Multiresponse robust design: Mean square error (MSE) criterion”, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 175, No. 2, pp. 1716-1729.

Lin, D.K.J. e Tu, W., 1995, “Dual response surface optimization”, *Journal of Quality Technology*, Vol. 27, No. 1, pp. 34-39.

Montgomery, D.C., 2005, “Design and Analysis of Experiments”, Ed. John Wiley, New York, 643 p.

Murugan, N. and Parmar, R.S., 1994, "Effects of MIG process parameters on the geometry of the bead in the automatic surfacing of stainless steel", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 41, No. 4, pp. 381-398.

Murugan, N. and Parmar, R.S., 1997, "Stainless steel cladding deposited by automatic gas metal arc welding", *Welding Journal*, Vol. 76, No. 10, pp. 391s-403s.

Paiva, A.P., Campos, P.H., Ferreira, J.R., Lopes, L.G.D., Paiva, E.J. and Balestrassi, P.P., 2012, "A multivariate robust parameter design approach for optimization of AISI 52100 hardened steel turning with wiper mixed ceramic tool", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 30, No. 1, pp.152-163.

Paiva, A.P., Paiva, E.J., Ferreira, J.R., Balestrassi, P.P. and Costa, S.C., 2009, "A multivariate mean square error optimization of AISI 52100 hardened steel turning", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 43, No. 7-8, pp. 631-643.

Palani, P.K. and Murugan, N., 2006, "Development of mathematical models for prediction of weld bead geometry in cladding by flux cored arc welding", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30, No. 7-8, pp. 669-676.

Palani, P.K. and Murugan, N., 2007, "Optimization of weld bead geometry for stainless steel claddings deposited by FCAW", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 190, No. 1-3, pp. 291-299.

Phillips, A.L., 1965, "Welding Handbook: Special Welding Processes and Cutting", American Welding Society, London, 4, Vol. 3.

Rao, S.S., 1996, "Engineering optimization: theory and practice", Ed. John Wiley & Sons, New Jersey, 903 p.

Shahi, A.S. and Pandey, S., 2006, "Prediction of dilution in GMA and UGMA stainless steel single layer cladding using response surface methodology", *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 11, No. 6, pp. 634-640.

Shahi, A.S. and Pandey, S., 2008, "Modeling of the effects of welding conditions on dilution of stainless steel claddings produced by gas metal arc welding procedures", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 196, No. 1-3, pp. 339-344.

Zain, A.M., Haron, H. and Sharif, S., 2010, "Application of GA to optimize cutting conditions for minimizing surface roughness in end milling machining process", *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, No. 6, pp. 4650-4659.

Capítulo 10

PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DE UMA DISCIPLINA COM FOCO NO ENSINO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Juliana Helena Daroz Gaudêncio
Camila Pereira Pinto
Anna Paula Galvão Scheidegger
João Batista Turrioni

PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DE UMA DISCIPLINA COM FOCO NO ENSINO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Juliana Helena Daroz Gaudêncio (UNIFEI)

Camila Pereira Pinto (UNIFEI)

Anna Paula Galvão Scheidegger (UNIFEI)

João Batista Turrioni (UNIFEI)

Resumo

Em um mercado altamente competitivo, as empresas necessitam de recursos humanos, em especial engenheiros, cada vez mais qualificados. Nesse cenário, as Universidades desempenham um papel importante ao formar os futuros profissionais do país. No entanto, nessa tarefa, as Instituições deparam-se com o desafio de atrair e lidar com jovens da Geração Y, que apresentam características e necessidades que não são mais atendidas pelos métodos de ensino tradicionais. Dessa forma, é importante estudar e desenvolver alternativas de ensino que atendam às exigências das empresas, bem como o novo perfil de estudantes. A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é uma abordagem desenvolvida com este objetivo. Deste modo, este trabalho visa apresentar o planejamento e condução de uma disciplina de Engenharia de Produção na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), fundamentada na ABP. O método adotado foi o de pesquisa-ação, onde os autores participaram ativamente durante todas as etapas da disciplina. Como resultados, destacam-se, neste artigo, os benefícios alcançados por todos os envolvidos: alunos, tutores, professor e embaixadores da empresa.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada em Problemas, Projeto Semestral Europeu, Metodologias Ativas, Ensino de Engenharia de Produção

1. Introdução

O mundo está passando por um processo de rápidas e profundas transformações, atribuídas à revolução tecnológica e à globalização. Tais mudanças desafiam as empresas que, para se manterem competitivas e sobreviverem no mercado, precisam

buscar profissionais cada vez mais competentes e completos. Além dos conhecimentos tradicionalmente adquiridos em sala de aula, os profissionais, em especial os engenheiros, precisam apresentar habilidades e atitudes exigidas pelo mercado. Nesse sentido, Ribeiro; Mizukami (2005), afirmam que a revolução tecnológica vivenciada afeta também o ensino em Engenharia ao promover uma rápida expansão na base de conhecimento e, ao mesmo tempo, uma obsolescência imprevisível do que se aprende nas Universidades.

De acordo com Dias; Turrioni; Silva (2012), além da expansão no seu campo de atuação, os engenheiros são desafiados por exigências que ultrapassam o conhecimento técnico como possuir habilidades e atitudes em liderança, trabalho em equipe, pró-atividade, ética, comprometimento, equilíbrio emocional, flexibilidade, capacidade de decisão e priorização,

Além disso, a entrada de uma nova geração, a Geração Y, nas salas de aula e, conseqüentemente, no mercado de trabalho desafiam ainda mais as empresas e universidades. Segundo Pereira; Treml; Rank (2012), a maioria dos acadêmicos presentes nos cursos de engenharia pertence à denominada Geração Y que, frequentemente, expressam resistência às aulas tradicionais.

Desta forma, as mudanças contínuas enfrentadas pelas empresas e o desafio das universidades em conseguir atrair a atenção dos jovens da Geração Y, requerem adaptações na forma de ensinar. Assim, é preciso repensar o ensino em Engenharia como um todo, de modo a se adaptar ao novo ambiente e superar metodologias incompatíveis com os desejos dos atuais graduandos e necessidades do mercado profissional.

Dias; Turrioni; Silva (2012) indicam a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), que vem do inglês *Problem Based Learning* (PBL), como uma abordagem pedagógica ativa que tem sido amplamente estudada e aplicada no ensino das ciências médicas. Esse método centra-se no aluno e favorece o desenvolvimento de novas habilidades e atitudes. Porém, Cardoso (2011) ressalta que, apesar da ABP já ser utilizada em áreas como medicina há vários anos, no ensino da engenharia é algo relativamente raro. Por outro lado, recentemente tem sido discutido o *European Project Semester* (EPS) ou, em português, Projeto Semestral Europeu, outro método de ensino ativo, com maior foco no ensino em Engenharia.

Portanto, considerando a relevância e necessidade de novas práticas de ensino ativo em Engenharia que favoreçam a formação de profissionais capacitados às exigências do mercado, este trabalho visa apresentar o planejamento, criação e condução de uma disciplina para o curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) baseada na abordagem ABP. O objetivo geral se desdobra nos seguintes objetivos específicos: (i) apresentar a criação da disciplina “Projeto Semestral em Engenharia de Produção” na UNIFEI; (ii) discutir as etapas propostas para a condução da disciplina; (iii) destacar as dificuldades encontradas durante a execução do curso e (iv) discutir os resultados alcançados.

2. Fundamentação teórica

Atualmente, as aulas ministradas nos cursos de Engenharia no Brasil acompanham um modelo tradicional de ensino, onde o professor, centro das atenções, é responsável por transmitir todo o conhecimento, enquanto os alunos são apenas os receptores da informação.

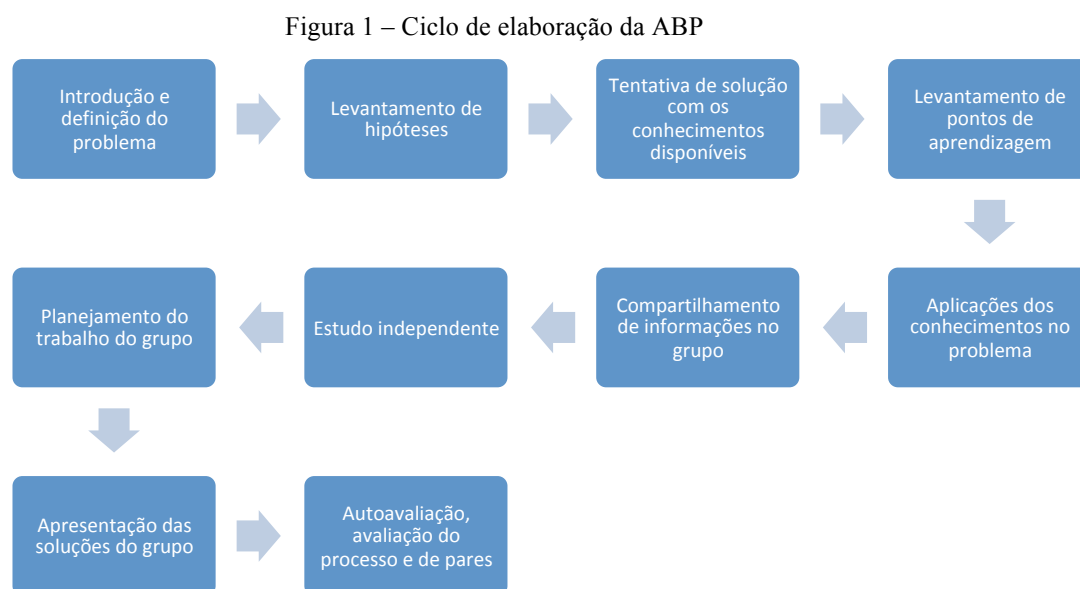
Para aperfeiçoar este método de ensino, a ABP vem sendo difundida, cada vez mais, nos cursos de nível superior e principalmente nas áreas de Engenharia. Campos; Dirani; Manrique (2011) ressaltam o inexpressivo número de trabalhos científicos envolvendo a ABP, na Engenharia, em comparação com a quantidade de cursos existentes, nesta área, no Brasil.

Segundo Branda (2009), a ABP surgiu no final da década de 1960, na Faculdade de Medicina da Universidade de McMaster, Canadá. Esta estratégia foi criada com intenção de superar a discrepância entre o início do curso, onde a formação era predominantemente teórica, com o final do mesmo, onde os alunos iniciavam a prática médica. A ABP permitiu o estabelecimento de uma relação prática-teoria-prática como processo de formação dos médicos desta Universidade.

A ABP, que é uma metodologia ativa de ensino, compõe estratégias de uma proposta pedagógica na qual a aprendizagem é desenvolvida em pequenos grupos tutorados, onde o professor passa a ser apenas um mediador, permitindo que o aluno busque o melhor caminho de solucionar o problema proposto (MAMEDE, 2001). O ensino através desta abordagem ativa faz com que os alunos desenvolvam suas habilidades profissionais através da resolução de problemas reais.

De acordo com um dos pioneiros na aplicação desta metodologia, Barrows (1996), o processo da ABP inicia-se com a apresentação de um problema, onde os alunos, divididos em grupos, tentam solucioná-lo utilizando todo conhecimento e ferramentas que dispõem. A partir daí, os alunos levantam hipóteses, examinam e discutem como solucionar o problema, baseando-se nos dados apresentados. Em seguida, determinam quais conceitos não foram compreendidos e explorados e determinam as responsabilidades de cada membro do grupo, priorizam prazos e as fontes de pesquisa para, então, compartilharem os resultados com o grupo. Ao final desta jornada, eles devem chegar a uma solução satisfatória, aplicá-la ao contexto do problema e apresentá-la diante dos demais grupos e, por fim, avaliações do processo, do grupo e de cada aluno são realizadas.

Dentro desta mesma discussão e do modelo proposto por Barrows (1996), Ribeiro (2008a) propõe um ciclo semelhante e simples para a elaboração da ABP, sendo flexível para atender a diferentes objetivos, conforme Figura 1.



Fonte: Adaptada de Ribeiro (2008a)

Freitas (2012) considera que a ABP exerce um avanço no método de ensino superior devido ao aluno aprender de uma maneira diferente da convencional. Ao colocar o aluno no centro da aprendizagem, ela contribui na aquisição de hábitos de aprendizagem autônoma e, assim, motivando o aluno a desenvolver um senso de responsabilidade e, também, o ajuda a superar a tão criticada separação entre a

formação acadêmica (teoria) e a prática. O método é avaliado através de uma avaliação por pares que estimula o estudante a ter responsabilidade pelo aprendizado dos demais participantes do grupo.

Ribeiro (2008b) cita, em seus estudos, benefícios resultantes da aplicação da ABP no ensino em Engenharia, como: capacidade de tornar a aprendizagem mais dinâmica e prazerosa, desenvolvimento de habilidades comunicativas e sociais e desenvolvimento da responsabilidade dos alunos no cumprimento de prazos e planos de estudo. No entanto, a metodologia da ABP não deve ser abordada como uma solução para todos os problemas na educação em Engenharia, pois alguns alunos podem não se adaptar à natureza participativa, mesmo que para a formação destes profissionais tais habilidades sejam necessárias. Outras desvantagens a serem consideradas são: o fato de não existirem problemas para todos os conteúdos do currículo e ausência de tempo para o desenvolvimento dos demais conteúdos por conta da abrangência do projeto.

Como fruto da ABP, em 1995 na Dinamarca, surge para a Engenharia o EPS. O Dr. Arvid Andersen foi o idealizador do conceito, onde foram criadas equipes internacionais a fim de desenvolver trabalhos em projetos multidisciplinares de modo a treinar os estudantes de engenharia a trabalhar em equipe para obterem resultados que solucionassem os problemas propostos.

O EPS traz em sua essência duas principais áreas de orientação: a orientação para a solução do problema e, também, para o desenvolvimento do curso. Os alunos passam a desenvolver e aprimorar habilidades fundamentais para o mercado de trabalho e, ao fim do projeto, serão capazes de se tornarem profissionais que sabem trabalhar em equipe, diferenciando cooperação e concorrência, e de adquirir características como responsabilidade profissional e comprometimento (ANDERSEN, 2011).

O criador do EPS ressalta como principais características que o projeto na área de Engenharia seja formado por grupos de quatro a cinco alunos em parceria com empresas. A avaliação se mantém individual, porém a apresentação oral, o conteúdo técnico e comunicativo do relatório, o exame individual oral e o desempenho do grupo serão utilizados como base para a nota final. Outro importante ponto do EPS são alguns dos resultados atingidos pelos seus participantes no final do semestre, nos quais se destacam segundo Andersen (2011):

- Desenvolvimento de percepção e compreensão interdisciplinar;

- Desenvolvimento de habilidades técnicas;
- Os alunos se veem responsável pelo próprio aprendizado;
- Aumento da criatividade, conhecimento e comunicação.

Um levantamento realizado em dois bancos de dados, onde o primeiro aborda publicações em todas as áreas de ensino do Brasil e a segunda aborda apenas o campo da Engenharia de Produção, mostrou poucos estudos e publicações, no Brasil, sobre a ABP na Engenharia. A fonte de ambas as pesquisas foi “Aprendizagem Baseada em Problemas”, durante os últimos cinco anos no Brasil.

Tabela 1 – Aplicação da ABP no Brasil

Scielo® – <i>Scientific Eletronic Library Online</i>		ENESEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção	
Palavra-chave: Aprendizagem Baseada em Problemas		Palavra-chave: Aprendizagem Baseada em Problemas	
País: Brasil		País: Brasil	
Ano: 2009 a 2013		Ano: 2009 a 2013	
Idioma: Português		Idioma: Português	
Resultado: 27 publicações		Resultado: 3 publicações	
Áreas	Resultado	Áreas	Resultado
Medicina	17	2013	2
Enfermagem	6	2012	0
Terapia Ocupacional	1	2011	0
ABP	2	2010	1
Química	1	2009	0

Fonte: Elaborada pelos autores

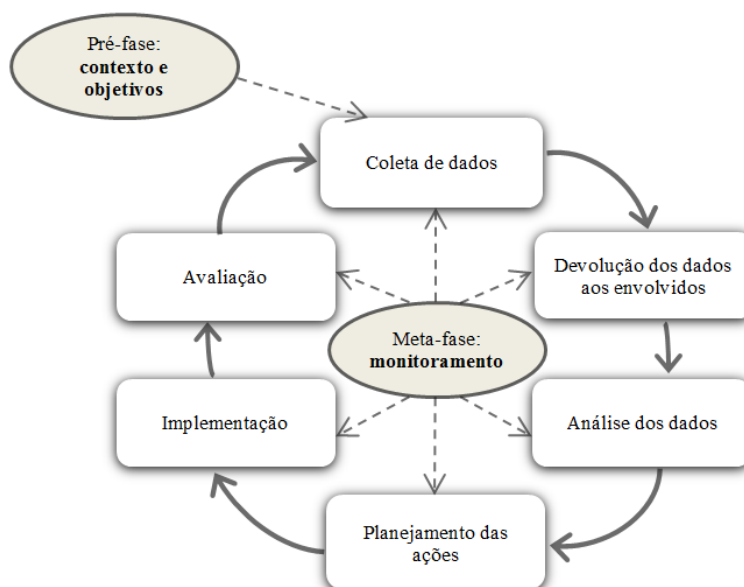
Portanto, é possível perceber que o sucesso desta metodologia de ensino concebida na área de saúde, pode ser aplicada na Engenharia como vem sendo feito há anos em toda Europa. O Brasil ainda tem muito a amadurecer em seu método de ensino para que a aplicação desta forma de aprendizagem seja efetiva.

3. Método de pesquisa

O método de pesquisa adotado neste presente trabalho foi a pesquisa-ação por possuir uma dimensão participativa, onde os vários atores implicados na situação a ser pesquisada são levados a identificar os problemas e a propor ações concretas, gerando assim um conhecimento entrelaçado com a prática.

Para a condução do trabalho, foi adotada a estrutura proposta por Coughlan; Coghlan (2002), conforme Figura 2. Thiollent (2011) destaca que a pesquisa-ação pode ser realizada em um único ciclo ou separada em ciclos menores.

Figura 2 – Estrutura para condução da pesquisa-ação



Fonte: Traduzido de Coughlan; Coghlan (2002)

Considerando um único ciclo de pesquisa-ação, este trabalho englobou as seguintes etapas:

- a) Coleta de dados: coleta de informações sobre os métodos de ensino ativo, a necessidades da empresa parceira e as exigências curriculares da Universidade;
- b) Devolução e análise dos dados: discussões entre empresa e Universidade sobre os métodos de ensino existentes, a proposta de disciplina a ser criada e o contrato para execução da mesma;
- c) Planejamento das ações: planejamento da disciplina e dos projetos que fariam parte da mesma,
- d) Implementação e monitoramento: criação da disciplina eletiva na grade curricular da Engenharia de Produção na UNIFEI e sua efetiva condução no segundo semestre de 2013;
- e) Avaliação: avaliação dos resultados obtidos com a disciplina, sob o ponto de vista dos alunos, tutores, Universidade e empresa.

Por outro lado, ao se pensar em pequenos ciclos, deve-se considerar a execução da disciplina, a qual pode ser dividida em quatro ciclos de um mês, onde os estudantes, através de visitas e análise de documentos, coletavam dados necessários para desenvolver soluções dos projetos propostos pela empresa e os tutores, bem como o professor, realizavam entrevistas exploratórias e observações para analisarem o desenvolvimento dos projetos como um todo.

4. Desenvolvimento

4.1 Criação da disciplina “Projeto Semestral em Engenharia de Produção”

A UNIFEI já vem aplicando a ABP no curso de Engenharia de Produção através da disciplina Gestão da Qualidade como relatado em Dias; Turrioni; Silva (2012). Essa busca pela criação de novas disciplinas que utilizam a aprendizagem ativa fez com que ocorresse o surgimento da disciplina “Projeto Semestral em Engenharia de Produção” no 2º semestre de 2013.

Essa disciplina foi concebida em parceria entre a UNIFEI e uma empresa multinacional localizada no Vale do Paraíba, São Paulo, com o intuito de que os alunos pudessem resolver problemas reais da empresa, ambientando-se ao meio empresarial, desenvolvendo suas habilidades e despertando seu interesse em trabalhar na organização futuramente.

O contato inicial entre universidade e empresa aconteceu no final de 2012, quando foram discutidos os assuntos jurídicos envolvidos na parceria como, por exemplo, o sigilo de informações da empresa, bem como o compromisso da organização em disponibilizar seus funcionários e infraestrutura para que os alunos pudessem conduzir os projetos. Internamente, na universidade, foi aprovada a criação da nova disciplina, optativa aos alunos do 8º período do curso de Engenharia de Produção. Internamente, na empresa, foram levantados os problemas que deveriam ser resolvidos pelos alunos.

4.2 Etapas e atividades estabelecidas para a condução da disciplina

No primeiro dia de aula, o professor responsável pela disciplina apresentou aos alunos o calendário de atividades da disciplina incluindo as datas das quatro visitas pré-agendadas à empresa.

O professor também informou que haveria encontros na universidade, às sextas-feiras, no período da tarde, onde os alunos poderiam utilizar o tempo para trabalharem na resolução dos problemas propostos e o professor abordaria conceitos e teorias apontados pelos alunos como necessários à elaboração das soluções. A Figura 2 exibe os alunos, tutores e professor em uma das reuniões realizadas.

Figura 3 – Foto tirada em uma reunião entre alunos, tutores e professor



Fonte: Autores

Com o número de alunos matriculados na disciplina, realizou-se um sorteio e os alunos foram divididos em quatro grupos de oito alunos cada. Através de outro sorteio, quatro projetos propostos pela empresa foram sorteados para cada um dos grupos de modo a não privilegiar alguma equipe. Os projetos sorteados foram apresentados aos alunos e envolviam áreas de Ferramentas *Lean*, Análise de Controle de Custos, Gestão de Inventário e Redução de Despesas de Embalagem.

Cada grupo seria monitorado por dois tutores, sendo um da empresa e outro da universidade. Os tutores da universidade eram alunos de pós-graduação convidados a ajudar o professor na condução da disciplina, de modo a propiciar um melhor monitoramento dos grupos. Os tutores da empresa, denominados “embaixadores”, eram compostos por funcionários que trabalhavam diretamente nas áreas afetadas

pelos problemas propostos e, assim, poderiam repassar todas as informações e contatos necessários para que os alunos pudessem entender o problema.

Formadas as equipes e com o escopo do projeto já definido, deu-se início as atividades. Como primeira atividade, os alunos estabeleceram as responsabilidades de cada integrante e definiram o cronograma das atividades a serem entregues. Para isso, foram utilizadas ferramentas de gerenciamento de projetos como a Matriz RACI (*R-responsible, A-accountable, C-consulted, I-informed*) que apresenta a relação entre os papéis desempenhados e as atividades a serem entregues em um projeto e, também, o diagrama SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*) que é uma ferramenta utilizada para identificar todos os processos relevantes, incluindo seus clientes e fornecedores, bem como, suas entradas e saídas.

A primeira visita oficial à empresa aconteceu em 16 de agosto de 2013 quando cada grupo conheceu o seu respectivo embaixador e pôde esclarecer dúvidas em relação ao projeto proposto. Também, traçaram-se metas que os alunos deveriam atingir até a próxima visita oficial.

Alguns grupos sentiram a necessidade de realizar mais visitas à empresa. Deste modo, cada grupo agendou com o seu respectivo embaixador visitas extras. Com o intuito de minimizar a ida dos alunos à empresa, foram agendadas também reuniões semanais com os embaixadores via telefone, *Skype®* ou através do software *Webex®* que auxilia em conferências pela internet.

Para a condução do projeto, os alunos tiveram, então, que buscar soluções viáveis através de consulta e pesquisa bibliográfica, orientações e *brainstorming* com professores, tutores e embaixadores, mas de modo que nenhuma experiência externa interferisse ou influenciasse na decisão final dos alunos.

4.3 Métodos de avaliação da disciplina

A avaliação formativa de disciplinas baseadas na ABP, amplamente discutida por especialistas, visa monitorar o processo ensino-aprendizagem dos alunos e professores (CAMPOS; DIRANI; MANRIQUE, 2011). Essa avaliação atribui aos estudantes um papel de responsabilidade em analisar os seus avanços no projeto e dos seus colegas de grupo, não focando apenas no professor como o responsável por avaliar o processo de aprendizagem.

Na disciplina “Projeto Semestral em Engenharia de Produção”, o professor responsável propôs que avaliações periódicas fossem realizadas durante todo o semestre com o intuito de monitorar a participação de cada aluno em seu grupo de trabalho.

Com base nesta definição, os alunos foram avaliados de quatro maneiras diferentes:

- Avaliação por pares: cada integrante do grupo avaliou os demais colegas do mesmo grupo considerando dezesseis critérios, com notas de 1-10, sem repetição;
- Avaliação tutor-aluno: através de avaliações semanais, o tutor avaliou a evolução do projeto e o desempenho individual de cada aluno do seu grupo;
- Avaliação professor-aluno: avaliações periódicas em que o professor pontuava as entregas de metas previamente estabelecidas;
- Avaliação embaixador-grupo: avaliações mensais durante as visitas pré-agendadas em que o embaixador avaliava a evolução das propostas de solução apresentadas pelo grupo.

4.4 Dificuldades encontradas durante a execução da disciplina

Apesar da grande importância do ensino baseado na ABP, implementá-la ainda é um grande desafio, pois o aluno historicamente assume uma postura passiva na sala de aula e o professor, até então, sempre foi o centro das ações. Quando os papéis se invertem e as ações passam a serem centradas no aluno, algumas limitações surgem podendo comprometer o resultado final do projeto.

O professor responsável e os tutores da disciplina identificaram alguns dos principais problemas que ocorreram nos quatro grupos. A primeira dificuldade foi o alinhamento de escopo e linguagem, pois os grupos demandaram muito tempo para entender com detalhes o problema que a empresa almejava resolver já que a dinâmica e a linguagem empresarial eram fatores desconhecidos dos alunos até então.

Outra dificuldade foi a conciliação de agendas e prioridades para ambas as partes (empresa x alunos). Os alunos alegaram que o desempenho do projeto poderia ter sido melhor se não fossem as preocupações do final de curso como, por exemplo, as dinâmicas e entrevistas de estágio, provas de outras disciplinas e os trabalhos finais de conclusão do curso. Também não foi fácil para eles conciliarem um horário para

reunir o grupo com o seu respectivo embaixador para a discussão do andamento do projeto. A empresa também reconheceu que ocorreram algumas falhas como, por exemplo, a falta de *backup* de funcionários envolvidos no projeto para que, assim, os alunos não ficassem muito tempo na espera de informações já que as atividades diárias dos funcionários e as mudanças dentro da empresa influenciaram no desenvolvimento das atividades.

A distância entre a empresa e a universidade também foi apontada pelos alunos como um fator limitante ao acesso mais rápido a informações precisas e detalhadas, já que apenas quatro visitas oficiais foram agendadas.

Por fim, também foi apontada a dificuldade de liderança em algumas equipes já que houve resistência por parte de alguns integrantes em respeitar a hierarquia estabelecida, isto é, as posições e responsabilidades de cada integrante o que sobrecarregou os integrantes mais responsáveis e comprometidos com a disciplina.

5. Conclusão

A apresentação final do “Projeto Semestral em Engenharia de Produção” ocorreu em 29 de novembro de 2013, onde os alunos apresentaram para os embaixadores, gerentes e diretores da empresa, assim como para professores e para o pró-reitor de graduação da Universidade, as soluções desenvolvidas e seus resultados esperados. Os responsáveis da empresa analisaram, então, cada solução, avaliando os resultados como positivos e demonstrando interesse em implementar cada solução proposta em suas respectivas áreas. Além disso, o projeto possibilitou o surgimento de ideias e propostas diferentes daquelas usualmente pensadas pelos funcionários que estão no contato diário do problema.

Por parte da Universidade, os docentes também ficaram muito satisfeitos com os resultados, planejando estender a disciplina, inicialmente planejada apenas para os alunos de Engenharia de Produção, para alunos das diversas engenharias da instituição nos próximos períodos e, futuramente, até mesmo abranger alunos de instituições diferentes para se assemelhar cada vez mais ao EPS mencionado na Seção 2. Há ainda como resultado a formação de profissionais melhor qualificados que destacarão a universidade no cenário da educação superior do país. É importante

notar, também, que o projeto vai de encontro com os princípios inovadores propostos por Brasil (2009) para a estrutura curricular das Engenharias.

Do ponto de vista dos tutores, alunos de pós-graduação da UNIFEI, destaca-se como positivo seu contato mais próximo à sala de aula, muitas vezes não possibilitado no dia-a-dia da pesquisa e, mais importante que isso, à prática de ensino ativo, cuja metodologia é mais moderna e dinâmica, porém ao mesmo tempo mais desafiadora e, assim, proporcionando uma melhor formação dos futuros professores de ensino superior do Brasil.

Do ponto de vista dos alunos, a ABP permitiu a familiarização dos mesmos com o ambiente empresarial, antes de sua inserção real no mercado de trabalho, e o desenvolvimento de habilidades não estimuladas normalmente pelo método tradicional de ensino, como: comunicação, trabalho em equipe e foco na resolução de problemas. Desta forma, os estudantes, cuja maioria estava em busca de oportunidades de estágio, sentiram-se melhor preparados para o futuro profissional e para os desafios existentes no processo de seleção das empresas.

Por fim, os autores acreditam que as dificuldades encontradas pelos alunos já eram esperadas, uma vez que os envolvidos estavam participando pela primeira vez de um projeto com base no aprendizado ativo. As dificuldades, muitas vezes utilizadas como “desculpa” pelos estudantes, ressaltam a ausência de características comportamentais exigidas pelo mercado de trabalho atual como: comprometimento, capacidade de priorização de atividades e pró-atividade. Assim, destaca-se a importância de que mais disciplinas de Engenharia sejam conduzidas com base na abordagem de ensino ativa e espera-se com este trabalho, estimular o interesse e a adoção de mais docentes pela abordagem em questão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio concedido a esta pesquisa. Ressalta-se, também, a gratidão à UNIFEI e à empresa, pela oportunidade de participar do projeto e condução da disciplina.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, Arvid. A fórmula EPS – Projeto Semestral Europeu. In: CAMPOS, Luiz Carlos de; DIRANI, Ely Antonio Tadeu; MANRIQUE, Ana Lúcia (orgs.). 1ª ed. **Educação em Engenharia: Novas Abordagens**. São Paulo - EDUC. 2011.

BARROWS, Howard . S. Problem-based learning in medicine and beyond: a brief overview. **New Directions for Teaching and Learning**, v. 1996, n. 68, p.3-12, 1996.

BRANDA, Luis A. A Aprendizagem Baseada em Problemas – o resplendor tão brilhante de outros tempos. In: ARAÚJO, Ulisses F.; SASTRE, Genoveva (orgs.). **Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino Superior**. 1ª ed. São Paulo: Editora Summus, 2009.

BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Princípios norteadores das engenharias nos institutos federais**. Brasília, 2009.

CAMPOS, Luiz Carlos de; DIRANI, Ely Antonio Tadeu; MANRIQUE, Ana Lúcia. **Educação em Engenharia. Novas Abordagens**. São Paulo: EDUC, 2011.

CARDOSO, Igor de Moraes. **Métodos Ativos de Aprendizagem: o uso do aprendizado baseado em problemas no ensino de logística e transportes**. Itajubá: UNIFEI, 2011. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 2011.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2003.

COUGHLAN, Paul; COUGHLAN, David. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DIAS, Michele de Cacea; TURRIONI, João Batista; SILVA, Cristiano Vieira da. O uso do aprendizado baseado em problemas no ensino da engenharia de produção. In: **Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

FREITAS, Raquel Aparecida Marra da Madeira. Ensino por problemas: uma abordagem para o desenvolvimento do aluno. **Educação e Pesquisa**, v. 38, n. 2, p. 403-418, 2012.

MAMEDE, S. **Aprendizagem baseada em problemas**: características, processos e racionalidade. Fortaleza: Hucitec, 2001.

PEREIRA, Liandra; TREML, Edina Elisangela Zellmer Fietz; RANK, Sueli Maria Weiss. A geração Y e os processos de aprendizagem na Universidade: um estudo exploratório no curso de Engenharia Mecânica numa universidade do interior de Santa Catarina. In: **Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo; MIZUKAMI, Maria da Graça Nicoletti. Student Assessment of a Problem-Based Learning Experiment in Civil Engineering Education. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 131, p. 13-18, 2005.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. Aprendizagem Baseada em Problema (PBL) na Educação em Engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008a.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL)**: uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores. 2008b. Tese (Doutorado em Educação), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008b.

SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. A pesquisa científica. In: GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Editora Cortez, 2011.

Capítulo 11

PLANEJAMENTO FINANCEIRO, UMA REVISÃO DA LITERATURA

Pedro José Papandrea
Marília Grasiela Machado
Vanessa Maria da Silva

PLANEJAMENTO FINANCEIRO, UMA REVISÃO DA LITERATURA

Pedro José Papandrea (ASMEC)

Marília Grasiela Machado (ASMEC)

Vanessa Maria da Silva (ASMEC)

Resumo

Ainda existem muitas falhas nos planejamentos financeiros das empresas, pois nem sempre este controle existiu, deixando assim por diversas vezes a saúde financeira da empresa exposta a riscos. Planejar é fundamental e isso fornece visões claras para melhorias e inovações. A rotina de gastar hoje para pagar amanhã já se tornou uma cultura aos cidadãos principalmente dos brasileiros, e com isso muitas vezes os controles é deixado para trás, causando diversos sufocos e isso não é diferente nas empresas, o que por diversas vezes leva as empresas a fracassarem. Por isso é fundamental o planejamento financeiro, que se dá pelo acompanhamento das finanças, apurações de resultados, elaboração de orçamentos e após isso as estruturas deveram ser definidas para o sucesso da empresa. As atividades financeiras, o fluxo de caixa, a definição fiscal de acordo com o perfil de cada empresa são requisitos imprescindíveis no planejamento de uma organização de sucesso.

Palavras-chave: Finanças, planejamento, controle, gestão.

1. Introdução

A atividade financeira de uma empresa requer supervisão perdurável de seus resultados, com o objetivo de avaliar seu desempenho, realizando os ajustes e correções necessárias. Uma das ferramentas indispensáveis no controle gerencial das empresas é o fluxo de caixa, através dele é possível analisar se os recursos financeiros disponíveis são satisfatórios para o giro da empresa, pressupondo a capacidade de expansão com recursos próprios.

O processo de planejamento, segundo Maximiano (2000), é muito importante para administrar as relações futuras. As decisões que influenciam ou que são colocadas em práticas no futuro, são decisões de planejamento.

A empresa possui uma missão, um modelo de gestão, uma estrutura organizacional, um processo de planejamento e controle e um sistema de informações, que se inter-relacionam

buscando atingir a eficácia. Tendo sido definido os princípios, a empresa passará a delinear sua estrutura organizacional coerente com seu processo de decisão. Para avaliarmos o desempenho dos gestores a empresa deve ser dividida em áreas de responsabilidade. E de acordo com a necessidade, subdivididas em unidades de acumulação (centro de custos, resultados e investimentos).

Para dar suporte ao processo decisório a empresa deve estruturar adequadamente o sistema de informações que, a margem de contribuição, preço de transferência e custo de oportunidade. Dentro deste contexto enfocamos a gestão financeira, pois entendemos que este é um aspecto importante e que, se bem conduzido, poderá contribuir para a eficácia gerencial. (CHENG e MENDES *et al.*, 1989, p. 1).

Gestão financeira pode ser definida como a gestão dos fluxos monetários derivados da atividade operacional, em termos de suas respectivas ocorrências no tempo. Entretanto que ela não é função exclusiva do gestor da “Área financeira”, mas de todos os gestores das diversas áreas de responsabilidade. (CHENG e MENDES *et al.*, 1989, p. 1).

As crises econômicas não são novidade no campo da economia, sempre surgem no mercado afetando direta e indiretamente as empresa, gerando instabilidade financeira podendo até levar grandes negócios ao encerramento, com isso se faz necessário um bom controle financeiro para reverter a situação com uso de estratégias viáveis para ter um empreendimento bem sucedido.

Segundo Mintzberg e Quinn (2001), estratégia é um plano que integra metas, políticas e ações de uma organização de forma coerente. Uma estratégia, quando bem formulada, ajuda na ordenação e alocação de recursos de uma organização baseando-se em competências internas e relativas, mudanças no ambiente e ações contingências realizadas por oponentes inteligentes.

Verificar toda parte tributária, os controles de pagamentos e recebimentos, é uma direção sensata para a restabelecimento da empresa, o fluxo de caixa, permite uma visualização antecipada das necessidades ou sobras de caixa no curto prazo auxiliando o gestor a planejar seu negócio, dando uma visão holística das atividades da organização, sendo possível projetar as entradas e saídas do caixa, permitindo determinar as operações a serem realizadas pela empresa.(CAETANO *et. Al.*, 2014).

2. Administração financeira

2.1 Administração financeira nas tomadas de decisões

O conjunto de ações realizadas no processo financeiro de um negócio vão desde o planejamento, análise e controle de todas atividades financeiras. As áreas de atuação da administração financeira de uma empresa podem ser divididas em finanças corporativas, investimentos, instituições financeiras e finanças internacionais. Todas estas áreas visam a viabilização do crescimento, desenvolvimento e estabilização do negócio.

Finanças podem ser definidas como a arte e a ciência de administrar fundos. Finanças, ocupa-se do processo, instituição, mercados e instrumentos envolvidos na transferência de fundos entre pessoas e empresas e governos. (BRAGA et. al.,1989). Um controle financeiro bem estruturado é fundamental para se obter sucesso e gerir a empresa. Sem dúvida, o que todo o empresário quer é lucro, e para que isso ocorra, a atenção máxima nos registros do caixa da empresa. Hoje, quase a maioria das empresas tem terceirizado a contabilidade, podemos constatar o número de escritórios abertos e nos quais tem um grande número de empresas dando assessoria fiscal, mas, mesmo assim, o gestor tem que ter um acompanhamento ao fluxo de caixa diário, nas contas a pagar, saldo em banco e etc. No cenário atual, lucrar é um trabalho dificultoso, com a crise política, concorrência grande, mas se a empresa tiver consistência, planejamento real, aproveitando as oportunidades do mercado, direcionando suas atividades e o mais importante, manter o processo de controle diário nas atividades financeiras, assim poderá se manter no mercado, pois o descontrole financeiro levará a problemas causando o comprometimento da empresa. (TROMBETTA et al., 2014).

2.2 Objetivo da administração financeira

Segundo Camargo (2007) O objetivo da administração financeira é de garantir maior rentabilidade sobre o capital dos sócios, porém sem descuidar das obrigações para com os terceiros, entre eles pagamento de salários, fornecedores, empréstimos e demais contas. Com isso cabe ao gestor a responsabilidade de tomar as decisões corretas. Possui também o objetivo de estabilizar o negócio e oferecer possibilidades de crescimento e bons rendimentos.

Com isso uma administração financeira eficiente possibilitando o empresário ter uma visão a frente e planejar o futuro dos negócios.

Os objetivos segundo Atkinson (2011) são classificados em primários e secundários, onde os objetivos primários: Nas empresas privadas é o lucro e a riqueza de seus proprietários. Nas organizações sem fins lucrativos e governo, são objetivos multidimensionais geradores de bem estar social.

A qualidade, satisfação dos clientes, inovações, qualificação de funcionários, posição competitiva no mercado, produtividade, competitividade no mundo globalizado, responsabilidade pública e social da empresa, responsabilidade ambiental, entre outros são objetivos de segunda ordem necessários para se atingir os objetivos primários.

3. Planejamento financeiro

3.1 Ferramentas de planejamento financeiro

Um bom planejamento financeiro é a principal arma estratégica para que os empreendedores sejam capazes de determinar suas metas financeiras de curto e longo prazo, a partir da análise da situação financeira da empresa e orientando a tomada de decisões sobre o negócio. Neste sentido, um planejamento financeiro consiste em uma ferramenta administrativa que o gestor utiliza para reconhecer o cenário atual do empreendimento, estuda os caminhos possíveis que se poderia tomar e viabiliza a rota para essas metas serem alcançadas, com a prospecção dos recursos disponíveis

Segundo Ross et al (2002) o planejamento financeiro estabelece o método pelas quais as metas financeiras devem ser atingidas. A meta mais frequente adotada pelas empresas é o crescimento. E é neste contexto que o planejamento financeiro procura identificar suas ações e metas através de planejamento. O desenvolvimento do país e a alta do desemprego, as micro e pequenas empresas foram crescendo, tanto no comércio como na indústria e na prestação de serviços. Existem empresas que elabora toda sua estratégia num minucioso mecanismo de planejamento. É uma forma de gerenciamento dentre várias. Porém o planejamento financeiro pode contemplar um orçamento gerencial de forma a associá-los às demais necessidade de controle e gestão da empresa. Por isso, o planejamento financeiro pode ser visto como uma

ferramenta ampla e fundamental no atendimento às necessidades de gerenciamento das empresas.

Já para Gitman (2010, p.105) é um aspecto fundamental para as operações e gestão das empresas porque fornece um mapa para a orientação, a coordenação e o controle que será de fundamental importância para que a empresa atinja os objetivos que foram planejados. O planejamento financeiro geralmente são de curto e longo prazo.

3. 2 Responsabilidade de planejamento financeiro nas empresas

Os planejamentos nas empresa geralmente são de responsabilidade dos cargos mais altos, são eles quem determinam os melhores caminhos a serem seguidos. Elabora todo o planejamento não descarta os riscos, mas possibilita uma visão melhor para tomadas de decisões.

[...] é o processo contínuo de, sistematicamente e com o maior conhecimento possível do futuro contido, tomar decisões atuais que envolvem riscos; organizar sistematicamente as atividades necessárias à execução dessas decisões e, através de uma retroalimentação organizada e sistemática, medir os resultados dessas decisões em confronto com as expectativas alimentadas. (CHIAVENATO; SAPIRO, 2003, p.39).

Chiavenato & Sapiro (2003), diz que a intenção estratégica da empresa é constituída de seus propósitos, das competências essenciais para caminhar em direção aos objetivos almejados e de sua ideologia central, ou seja, princípios e valores que norteiam as ações da organização.

Cabe as empresas muito mais do que saber da importância do planejamento financeiro, é fundamental também executar seus processos com êxito para se obter os resultados pretendidos. Segundo Rasmussem (1990) o planejamento estratégico estimula o crescimento e o desenvolvimento das organizações para se atingir os objetivos determinados, dentro de um período estimado. Os próprios gestores participam da elaboração do plano estratégico da empresa, determinando também os prazos e metas, com isso fica mais fácil uma vez que eles mesmo determinaram os prazos e objetivos a serem atingidos.

Segundo Tavares (1991) os processos de planejamentos devem ser elaborados de acordo com as características próprias de cada instituição, pois, diversos fatores podem interferir nos desempenhos, entre eles pode-se destacar, a região, a cultura, o perfil da empresa, os ramos, entre outros.

Figueiredo e Caggiano, citado por Marques e Palmeira (2011) argumentam que o planejamento consiste em estabelecer e manter um plano para as operações de acordo com as metas e objetivos da empresa, devendo ser revisado e analisado diariamente, mantendo a comunicação com todas as áreas.

3.3 Papel do administrador financeiro

Segundo DRUCKER (1999), *“não se pode gerenciar as mudanças, somente estar à sua frente”*. Como se pode perceber desta frase, é necessário que, em qualquer profissão, os profissionais sempre estejam à frente de seu tempo, de sorte a enfrentar a concorrência internacional. Isso também se aplica às funções do administrador, gestor e líder financeiro, peça fundamental para o bom funcionamento das empresas inseridas no sistema global de acumulação capitalista.

De uma postura essencialmente administrativa, a partir da década de 90, coube a esse profissional deter uma postura de gestor. Já na década em que vivemos, faz-se necessária uma postura completamente diferente: a de líder financeiro, que implica uma postura de responsabilidade social, conforme previram (MAXIMIANO 2004).

Tal conceito de administrador, gestor e líder, pressupõe condições físicas, mentais e emocionais, cuja abrangência e influência é, certamente, muito maior do que foi a do gestor e do administrador. Em outras palavras, há uma necessidade de melhor participar da comunidade, caso esses líderes desejem fazer com que suas empresas tenham uma forte atuação no mercado competitivo, segundo as ideias de DORIVES (2002). As tradicionais funções do administrador financeiro, encontram-se ainda em pauta, porém necessárias de uma visão mais sistêmica. De acordo com BRIGHAM (2001), as principais responsabilidades do homem de finanças são:

- a) Previsão e planejamento: o staff financeiro deve coordenar todo o processo de planejamento empresarial, não só o pertinente ao financeiro e tributário, o que faz com que esse profissional precise interagir com colaboradores de outros processos à medida que realiza projetos para modelar o futuro da empresa.
- b) Decisões de investimentos e financiamento: como investir para obter a poupança necessária e como obter recursos de terceiros, remunerado o capital investido, de acordo com uma determinada taxa nominal de juros do mercado. Em outras palavras, uma empresa que deseja

competir nos mercados nacional e internacional, deve ter um rápido crescimento nas vendas, e necessita de investimentos em fábricas, equipamentos e estoques. Tudo isso deve ser bem pensado, uma vez que o capital pode pertencer parte à empresa e parte, provir de terceiros.

c) Coordenação e controle: o líder financeiro deve interagir com os colaboradores de outras áreas, de sorte a assegurar que a empresa esteja sendo operada com maior eficiência possível. Cabe lembrar que todas as decisões possuem uma mistura de nacionalidade e intuitividade. Assim, faz-se necessário que o líder financeiro possua uma visão sistêmica ao invés de pontual.

d) Observação dos mercados financeiros: cabe a esse profissional realizar sucessivas interações com os mercados financeiros e de capitais, sempre com o intuito de levantar e aplicar fundos.

e) Administração do risco: o líder financeiro, quer seja controller ou tesoureiro, deve ter uma noção exata de que sejam os riscos sistemático ou não-diversificado e não-sistemático ou diversificado, inclusive, no que tange ao risco país.

Como podemos perceber, há elementos pertinentes aos conceitos de valor econômico adicionado, valor de mercado adicionado e gerenciamento de valor, todos eles intrinsecamente relacionados e ainda, observa-se que as funções do líder financeiro estão se ampliando, não mais se limitando às questões pertinentes à utilização e aplicação dos recursos, mas também aos aspectos pertinentes aos impactos de longo prazo que podem comprometer a vida empresarial.

4. Planejamento tributário

Segundo Martins (2003), antes da revolução industrial para fazer a contabilidade das empresas, era levantado os estoques físicos, verificava-se os montante pago pelos itens estocados e assim se dava o valor das mercadorias, os cálculos era simples: a mercadoria inicial mais as compras do período, era comparado ao que ainda restava e assim se dava valor das mercadorias.

Nos dias atual, torna-se bem mais difícil manter uma empresa, e fazer com ela dê resultados, e uma das tarefa que poderão causar grande impacto nos números seja começando pela escolha do melhor regime tributário para cada empresa, porque cada empresa se encaixa melhor em uma forma de tributação e a escolha certa garante maior facilidade e segurança. A decisão

correta lavará a empresa ganhar créditos ou ter descontos referente aos impostos pagos. Portanto, é imprescindível o planejamento tributário nas organizações com o intuito de amenizar os custos, principalmente no que diz respeito ao pagamento de tributos, o que causa bastante impacto dentro das contas da empresa. (BORGES, 2002). No Brasil há quatro formas de tributação, que são: Lucro real, lucro presumido simples nacional e lucro arbitrado.

4.1 Sistema de tributação com base no lucro real

Segundo Lima e Duarte (2007) o sistema de tributação com base no lucro real é um método de apuração e recolhimento do imposto de renda que se dá a partir de um resultado econômico, para isso, dever-se realizar primeiramente o relatório contábil que é denominado a demonstração de resultado do exercício, o DRE, com esse relatório é possível apurar ao final de um período o resultado econômico que são obtidos pelas empresas.

Segundo o art. 247, Decreto nº 3000, de 26.03.99, publicado no DOU de 29.03.99 e republicado em 17.06.99 (RIR/99) é o seguinte: “Art. 247. Lucro Real é o lucro do período base ajustado pelas adições, exclusões e compensações prescritas ou autorizadas por este decreto”. Com isso, pode-se afirmar que o lucro real é obtido com base na apuração dos seguintes elementos: lucro ou prejuízo econômico do período base; exclusões e compensações de valores prescritos ou autorizados por lei, que finalizam com o resultado, o qual denominamos lucro real. A legislação tributária fiscal diz que:

A legislação do Imposto de Renda em seu artigo 193, do Decreto nº 3000, de 29.03.99, publicado no DOU de 29.03.99 e republicado em 17.06.99 (RIR/99), o Lucro Real é definido como base puramente para fins fiscais, sendo apurado após o lucro líquido contábil do período-base ajustadas pelas adições, exclusões ou compensações prescritas ou autorizadas pela legislação do Imposto de Renda.

Segundo o Regulamento do Imposto de Renda, o conceito de lucro líquido contábil, se dá através da soma algébrica do lucro operacional, dos resultados não operacionais, do saldo de correção monetária e das participações. Sendo assim pode-se dizer que o lucro líquido contábil, para efeito de apuração do lucro real, nada mais é do que o valor do resultado do exercício, antes da provisão dos impostos e contribuições encontrados na demonstração do resultado do exercício das empresas. Uma empresa só poderá utilizar o lucro real como forma de pagamento dos seus tributos, se ela elaborar suas demonstrações financeiras, especialmente

a demonstração do resultado do exercício, de acordo com as exigências contidas no art. 1873 da Lei das Sociedades Anônimas, Lei Nº. 6.404, de 15 de dezembro de 1976. Referente as pessoas jurídicas que estão obrigadas por lei a adotarem o pagamento do imposto de renda pelo Sistema de Tributação com base no Lucro Real, o artigo 246 do RIR, dispõe:

Pessoas jurídicas cuja receita bruta total (operacional e não operacional) tiver ultrapassado, no ano calendário anterior, o limite correspondente a R\$ 24.000.000,00; Instituições financeiras; Pessoas jurídicas que tiverem lucros, rendimentos ou ganhos de capital obtidos no exterior; Que usufruírem benefícios fiscais relativos à isenção ou redução de impostos; Que, no decorrer do ano calendário, tenha efetuado pagamento mensal pelo regime de estimativa; Que explorem as atividades de prestação cumulativa e contínua de serviços de assessoria creditícia, mercadológica, gestão de crédito, seleção e riscos, administração de contas a pagar e a receber, compras de direitos creditórios resultante de vendas mercantis a prazo ou de prestação de serviços (factoring).

4.2 Sistema de tributação com base no lucro presumido

Segundo Lima e Duarte (2007), o sistema de tributação com base no Lucro Presumido é outro método e forma para apuração e recolhimento do Imposto de Renda, este sistema é cabível para as pequenas e médias empresas, pois atribui menos ônus lucrativo e dispensa, somente para efeito da legislação fiscal. A utilização da escrituração contábil, regular e completa consiste, apenas, em aplicar os percentuais de presunção do lucro sobre a receita bruta da empresa de acordo com a atividade desenvolvida, conforme demonstra o quadro abaixo.

De acordo com o art. 223, do RIR/1999, o lucro presumido pode ser definido da seguinte forma: Lucro Presumido é o montante determinado pela soma do valor resultante da aplicação dos preceitos fixados pela legislação em vigor, sobre a receita bruta de cada atividade, auferidos em cada período de apuração trimestral, mais os ganhos de capital, os rendimentos e os ganhos líquidos auferidos em aplicações financeiras e demais valores determinados pela lei e auferidos no mesmo período. Pode-se dizer que o sistema de Lucro Presumido é uma forma de arrecadação que tem por finalidade de facilitar o pagamento do imposto de renda.

Segundo o que determina a Lei nº 9.718, de 27 de novembro de 1998, em seu artigo 14, só poderão optar pelo Sistema de Tributação com Base no Lucro Presumido as pessoas jurídicas que não estejam obrigadas, por lei, a apuração pelo lucro real.

4.3 Sistema de tributação pelo simples

Segundo Lima e Duarte (2007) o Sistema Integrado de Pagamento de Impostos e Contribuições (SIMPLES) foi criado com o propósito de incentivar os empresários de pequeno porte pela simplificação de suas obrigações administrativas, tributárias, previdenciárias e creditícias, conforme dispõe a Lei Nº. 9.317/96, que regulamentou o art. 179 da Constituição Federal de 1988, descrita a seguir:

Art. 179. A União, os Estados, O Distrito Federal e os Municípios dispensarão às microempresa e às empresas de pequeno porte, assim definidas em lei, tratamento jurídico diferenciado, visando a incentivá-las pela simplificação de suas obrigações administrativas, tributárias previdenciárias e creditícias, ou pela eliminação ou redução destas por meios de lei.

Os impostos e contribuições unificados no SIMPLES são:

- IRPJ (Imposto de Renda de Pessoa Jurídica);
- PIS/PASEP (Contribuição);
- CSSL (Contribuição Social Sobre o Lucro);
- COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social);
- IPI (Imposto Sobre Produtos Industrializados);
- ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços de Transporte

Interestadual e Intermunicipal) se o Estado onde a empresa está localizada tiver aderido ao SIMPLES;

- ISS (Imposto Sobre Serviços), neste caso, apenas se o Município no qual a empresa está localizada tiver aderido ao SIMPLES;

As contribuições previdenciárias a cargo da pessoa jurídica, inclusive as devidas por empresas rurais e as contribuições destinadas ao Sesc, Sesi, Senac, Senai, Sebrae a seus congêneres, bem como as relativas ao salário-educação.

Os impostos e contribuições não incluídos no SIMPLES são:

- II (Imposto de Importação);
- IE (Imposto de Exportação);
- IOF (Imposto Sobre Operações Financeiras);
- FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço);

- CPMF (Contribuição Provisória Sobre Movimentação de Valores Financeiros)
IRRF (Imposto de Renda Retido na Fonte)

A Lei nº 9.317/96 dispõe sobre outras legalidades referentes ao SIMPLES. Porém, nosso trabalho se resume apenas em apresentar o sistema como método e forma de apuração e recolhimento dos impostos e contribuições unificados, sem um maior aprofundamento, mesmo sabendo que as estatísticas indicam que este sistema é de utilização mais frequente pelas micro e empresas de pequeno porte.

4.4 Sistema de tributação com base no lucro arbitrado

Segundo Lima e Duarte (2007) o Sistema de Tributação com base no Lucro Arbitrado é um método e forma de apuração e recolhimento do Imposto de Renda que não poderá ser adotado pelo contribuinte. Fabretti (2000, p.282) diz que: “lucro arbitrado é uma prerrogativa do fisco. Este poderá arbitrar o lucro, na forma da lei, nas hipóteses em que a escrituração contábil e fiscal do contribuinte for desclassificada”.

Ainda de acordo com Fabretti (2000, p.282), a autoridade tributária poderá fixar o lucro arbitrado, através de percentuais sobre receita bruta, caso ela seja conhecida, ou ainda com base nos valores do ativo, do capital social, do patrimônio líquido, da folha de pagamento de empregados, das compras, do aluguel, ou do lucro líquido auferido em período-base anteriores.

4.5 Pontos importantes para tomada de decisão

É muito importante diversos pontos serem analisados, levar em conta o faturamento anual das empresas porque é através das tabelas de cada regime tributário que o empresário vai verificar a percentagem que irá incidir sobre seu negócio. O que pode ser uma vantagem para as empresas é a possibilidade de se obter créditos tributários, onde no lucro real as alíquotas são mais altas.

A economia gerada pela opção de um regime tributário precisa ser realmente benéfica para a empresa, ou seja, ela deve ser uma redução nos custos e não uma alocação dos mesmos. As decisões sobre a escolha do regime tributário para uma empresa não é obrigada a ser

definitiva, ao contrário, todo início de ano deve-se fazer uma nova verificação e análise para verificar se deve continuar a mesma ou outra que seja adequada.

Para que uma empresa tenha um bom funcionamento a mesma deverá sofrer mudanças contábeis, o que significa dizer que uma mudança de regime tributário para o ano seguinte pode ser relevante. Cada empresa deverá optar por aquele regime tributário que mais enquadra em suas necessidades, fazendo a apuração anual. Nada impede que a tributação seja mudada, desde que esteja dentro dos prazos limites para a troca.

O ideal é sempre avaliar cada regime tributário de acordo como se encontra a empresa naquele momento. E, dessa forma, aos poucos verificar se o negócio corresponde ou não dentro das regras de cada regime, no ano seguinte apure novamente a situação da empresa.

5. Considerações finais

Ao finalizar este trabalho foi possível concluir que o controle financeiro nas empresas é de grande importância, pois as pesquisas possibilitou identificar que um desempenho confiável, com bom controle das contas e tomadas de decisões concisas é fundamental para que as empresas tenham um bom andamento.

Dessa forma, as empresas que desejam crescer, de forma estruturada e com boa saúde financeira, devem estar constantemente atentas a gestão das finanças. Torna-se necessário que o gestor estabeleça políticas e utilize práticas de gestão financeira que permitam a empresa conduzir seus negócios e aproveitar oportunidades.

A administração financeira estabelece uma ferramenta eficaz para aumentar a riqueza patrimonial de uma empresa, isto é, o sucesso nos negócios de qualquer empresa, seja ela instituição privada, pública, com fins lucrativos ou sem fins lucrativos, depende de um bom planejamento financeiro. Todo tipo de movimentação de recursos dentro de uma organização deve ser de básico conhecimento do setor financeiro, pois é necessário verificar a viabilidade das movimentações de recursos para que a empresa não esteja deixando de ter maior lucro ou até mesmo prejuízo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Edjanes Alfredo de. Planejamento tributário: instrumento eficaz no processo de

gerenciamento dos impostos das micros e pequenas empresas. Campina Grande: UEPB, 2003. BRASIL.

CAMARGO, CAMILA. PLANEJAMENTO FINANCEIRO. 2. Ed. Rev. E atual. Curitiba: Ibpx, 2007.

CERVO, Amado Luiz. Metodologia científica. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHENG, ÂNGELA. MENDES, MÁRIA MARTINS - A IMPORTÂNCIA E A RESPONSABILIDADE DA GESTÃO FINANCEIRA NA EMPRESA. Caderno de Estudos nº 01, São Paulo, FIPECAFI, Outubro/1989.

CHIAVENATO, IDALBERTO. INTRODUÇÃO À TEORIA DA ADMINISTRAÇÃO: UMA VISÃO ABRANGENTE DA MODERNA ADMINISTRAÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES. 7 ed. rev. e atual – Rio de Janeiro: Elsevier, 2003 -12ª Reimpressão.

Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 out. 1988.

Decreto nº 3.000, de 26 de março de 1999. Regulamenta a tributação, fiscalização, arrecadação e administração do Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 mar. 1999.

Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966. Dispõe sobre o sistema tributário nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 out. 1966.

Lei nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976. Dispõe sobre as Sociedades por Ações. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 dez. 1976.

Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o código civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2002. BORGES, Humberto Bonavides. Gerência de impostos: IPI, ICMS e ISS. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 1998.

LIMA, Francineide Borges. Duarte, Ana Maria da Paixão. PLANEJAMENTO TRIBUTÁRIO: INSTRUMENTO EMPRESARIAL DE ESTRÁTEGIA COMPETITIVA - QUALIT@S Revista Eletrônica.ISSN 1677-4280.v6.n1. Ano 2007.

LUCION, CARLOS EDUARDO ROSA. PLANEJAMENTO FINANCEIRO. Revista Eletrônica de Contabilidade Curso de Ciências Contábeis UFSM, VOLUME I. N.3 MAR-MAI/2005.

MARTINS, ELISEU. CONTABILIDADE DE CUSTOS / Martins, Eliseu. - 9. ed. - São Paulo : Atlas, 2003.

PINTO, RAMON MAGALHÃES. A IMPORTÂNCIA DO FLUXO DE CAIXA E SUA APLICAÇÃO NA GESTÃO FINANCEIRA DE MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Faculdade de Pará de Minas. Pará de Minas, 2014

RIBEIRO, HÉLIO ALESSANDRO; ANDRADE, MACSON ALYSSON VIEIRA. A Importância do Planejamento Estratégico nas Organizações Atuais. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia Jan-jun de 2012.

REGULAMENTO DO IMPOSTO DE RENDA - RIR/99. (Decreto nº 3.000, de 26/03/99) - Regulamenta a tributação, fiscalização, arrecadação e administração do imposto sobre a renda e proventos de qualquer natureza.

TROMBETTA, ARI. A IMPORTÂNCIA DO CONTROLE FINANCEIRO NAS EMPRESAS. Universidade tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Ciências Contábeis Curso de Ciências Contábeis. Pato Branco, 2014

Capítulo 12

PROPOSTA E INTERPRETAÇÃO DE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO ADOTADO EM UMA DISCIPLINA DE ENGENHARIA BASEADA NO ENSINO ATIVO

Anna Paula Galvao Scheidegger
Juliana Helena Daroz Gaudêncio
Camila Pereira Pinto
Joao Batista Turrioni

PROPOSTA E INTERPRETAÇÃO DE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO ADOTADO EM UMA DISCIPLINA DE ENGENHARIA BASEADA NO ENSINO ATIVO

Anna Paula Galvao Scheidegger (UNIFEI)

Juliana Helena Daroz Gaudêncio (UNIFEI)

Camila Pereira Pinto (UNIFEI)

Joao Batista Turroni (UNIFEI)

Resumo

A necessidade de adaptar a educação para as exigências da sociedade moderna e do mercado profissional, em especial quando se trata de áreas tecnológicas como a Engenharia, tem atraído atenção de educadores e pesquisadores nos últimos anos. Porém, mais desafiador do que implementar e trabalhar com métodos de ensino ativo é avaliar a evolução da aprendizagem dos estudantes e o cumprimento dos objetivos curriculares em disciplinas que adotam esta metodologia. Assim, considerando esta dificuldade, assim como a importância de integrar a avaliação à aprendizagem dos alunos, este trabalho pretende apresentar uma proposta de método de avaliação adotado em uma disciplina de Engenharia de Produção baseada na Abordagem Baseada em Problemas e interpretar as notas dos alunos e dos grupos obtidas através dos questionários aplicados. Para isso, utilizou-se de abordagem qualitativa e quantitativa e, através de análises estatísticas, foi possível visualizar as diferenças entre as notas obtidas pelos grupos de alunos e examinar as relações entre as notas dadas pelos tutores aos grupos e, também, entre as notas obtidas pelos alunos de cada grupo.

Palavras-chave: Aprendizagem baseada em problemas; Projeto semestral europeu; Métodos de avaliação; Metodologia ativa; Ensino de engenharia.

1. Introdução

Nos últimos anos a necessidade de adaptar a educação para as exigências da sociedade e, em especial, do mercado profissional tem atraído considerável atenção de educadores e pesquisadores. A educação moderna deve ser capaz não apenas de fornecer conhecimento teórico, mas também desenvolver atitudes, habilidades e preparar os futuros profissionais para

lidar com situações do mundo real. Segundo Chua; Yang; Leo (2013) o desafio do ensino na sociedade moderna é ainda maior na educação em engenharia, uma vez que esta deve focar-se principalmente no desenvolvimento da capacidade dos alunos em resolver problemas e fornecer soluções “fora da caixa”.

O reconhecimento da importância desta mudança na educação foi responsável, pelo desenvolvimento de novos métodos de ensino em que os alunos deixaram de ser receptores passivos da informação e passaram a ser o centro da atenção. Entre as metodologias ativas desenvolvidas, destaca-se a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), do inglês *Project Based Learning* (PBL), e o Projeto Semestral Europeu (PSE), do inglês *European Project Semester* (EPS).

A ABP surgiu na área de medicina como uma inovação curricular que, conforme afirma Karpiak (2011), envolve os alunos em atividades de aprendizagem autênticas, através da análise de problemas médicos reais, compreendendo, pois, uma mudança substancial do ensino tradicional. Apesar desta metodologia já ser utilizada em áreas da medicina há vários anos, no ensino da Engenharia a ABP ainda não é amplamente difundida (CARDOSO, 2011). Assim, o PSE revela sua importância por apresentar maior foco no Ensino em Engenharia.

Enquanto a ABP é um choque cultural para novos alunos, pode-se dizer o mesmo em relação aos educadores que usam esta técnica em suas disciplinas. Além do desafio de alterar a forma de conduzir as aulas, os educadores são confrontados com a tarefa de definir como avaliar os estudantes e se os mesmos cumpriram os objetivos de aprendizagem do curso. Conforme sugerem Waters; McCracken (1997), Eva (2001) e Kritikos *et al.* (2011), as técnicas de avaliação tradicionais, que preocupam-se apenas com a atribuição de notas, como os exames de múltipla escolha e verdadeiro-falso, não avaliam corretamente a evolução do aluno.. Ainda, Struyf *et al.* (2001) e Eva (2001) ressaltam, respectivamente, que a integração da avaliação com a aprendizagem e as inovações na forma de avaliar permanecem um desafio. Consequentemente, determinar a melhor forma de avaliar o progresso do aluno em metodologias de ensino ativo permanece um desafio.

Considerando este contexto de transformação nos métodos de ensino das instituições, bem como as necessidades de mudanças na forma de avaliar os alunos, surgiu o interesse deste trabalho, que pretende, portanto: (i) descrever o método de avaliação adotado em uma disciplina de Engenharia de Produção baseada na ABP, e (ii) interpretar as notas dos alunos e dos grupos obtidas através dos questionários utilizados na avaliação.

2. Fundamentação teórica: avaliação da aprendizagem

Desde o início do ensino em engenharia, muitas formas de avaliação foram aplicadas para acompanhar o avanço na formação destes profissionais. Avaliações realizadas com qualidade proporcionam aos educadores informações que podem ser usadas para desenvolver melhor as competências do aluno, atingindo o máximo de aproveitamento de sua aprendizagem. De maneira oposta, avaliações realizadas de forma inadequada podem leva-los a caminhos ineficazes de ensino, resultando na perda de tempo, energia e dinheiro. A aplicação de princípios e práticas aceitos para avaliação da aprendizagem dos alunos tem um impacto significativamente positivo sobre o desenvolvimento de currículos e de grades de ensino em engenharia e sobre as avaliações em termos de desempenho dos alunos (RAUD, 2010).

Conceitos sobre avaliação são amplos e difíceis de mensurar. Phillips (2005) ressalta a importância da distinção de dois tipos de uso da avaliação, a formativa e a somativa. A formativa é aquela que normalmente ocorre em sala de aula, ministrada pelo professor e envolve o uso de avaliações como fontes de reforço para aperfeiçoar o ensino e a aprendizagem como, por exemplo, provas e apresentações de trabalhos. A somativa é aquela que mede o quanto os alunos aprenderam no final de um conjunto de atividades ou no final de um período letivo, como por exemplo, testes nacionais de desempenho. Um ambiente educacional centrado na avaliação induz os alunos a focar sua aprendizagem em torno do que será avaliado, pois independente do tipo de avaliação, seu uso é muito importante nesta área para avaliar o crescimento e o progresso do aprendizado dos alunos, bem como o resultado final deste desenvolvimento.

Os instrumentos de avaliação e suas abordagens precisam ser elaborados de forma que o aluno possa demonstrar seu conhecimento adquirido e não apenas demonstrar sua capacidade de regurgitar informações decoradas. Porém, inevitavelmente, isto significa uma menor aplicação de avaliações escritas tradicionais e uma maior ênfase em instrumentos de avaliação que permitam aos alunos a capacidade de aplicar o material que aprenderam em situações diretas ou reais (BROWN, 2004).

A variedade de métodos de avaliação aplicadas no ensino superior vem se expandindo nos últimos anos. Mais recentemente, métodos como autoavaliação, avaliação por pares, simulações e outros métodos inovadores foram introduzidos em contextos de avaliação no ensino superior. A aprendizagem está ligada a um conceito dinâmico, podendo ser

constantemente modificada pelo contexto real e pelas tarefas que o aluno esteja enfrentando. Porém, a necessidade de mudanças nas abordagens de aprendizagem, muitas vezes, é sutil e passam despercebidas (STRUYVEN; DOCHY; JANSSENS, 2005).

Em um estudo de caso que levantou as percepções dos alunos sobre a avaliação tradicional e a avaliação alternativa, Sambell (1997) concluiu que a avaliação tradicional é vista como um mal necessário. Ela é considerada como uma medida inadequada, pois aparenta simplesmente um método para medir a memória ou a capacidade de listar fatos. Já a avaliação alternativa foi acreditada como sendo mais justa, porque, em oposição, permite medir e desenvolver qualidades, habilidades e competências que seriam valiosas em outras situações da vida.

Sambell (1997) concluiu também que a perspectiva do estudante em relação à justiça do método de avaliação é importante. Em seu estudo, os alunos criticam mais os métodos de avaliação tradicionais devido à sensação de que os exames mediam apenas a qualidade das notas dos alunos e sentiam, também, certa incapacidade de exercerem qualquer grau de controle dentro da avaliação da sua própria aprendizagem. Dentro do conceito proposto pela avaliação alternativa, os alunos a sentiram mais justa porque foi percebida a capacidade dela recompensar aqueles que sempre fazem um esforço para aprender, e não aqueles que dependem de uma dedicação de última hora.

Abaixo, Sambell (1997) descreve de forma clara, porém do ponto de vista dos alunos, o reflexo que a avaliação tem que apresentar para resultar em um efeito positivo e justo: Referir-se a tarefas autênticas;

- Representar pedidos razoáveis;
- Incentivar os alunos a aplicar os conhecimentos para contextos realistas;
- Salientar a necessidade de desenvolver uma série de competências;
- Benefícios percebidos em longo prazo;
- Recompensas pelo esforço genuíno, ao invés de medir a "sorte";
- Amplitude e profundidade na aprendizagem;
- Fornecer *feedback* adequado sobre a progressão dos alunos;
- Precisão ao medir as habilidades e qualidades complexas.

3. Método de pesquisa

3.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa é o método de avaliação adotado em uma disciplina optativa e disponibilizada aos alunos do 8º período do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), já que estes haviam completado mais de 70% do curso e, em sua maioria, buscavam uma oportunidade de estágio profissional.

A disciplina, nomeada “Projeto Semestral em Engenharia de Produção”, foi realizada no 2º semestre de 2013 através de uma parceria entre a UNIFEI e uma empresa multinacional do Vale do Paraíba. Em sua condução foi utilizada a ABP e, para isso, problemas reais da empresa foram apresentados aos alunos que tinham como tarefa propor soluções diferentes e inovadoras. Com isso, pretendia-se familiarizar os estudantes com conceitos teóricos relacionados aos processos empresariais, prepará-los para situações desafiadoras reais e ambientá-los ao meio empresarial antes de iniciarem no mercado de trabalho.

No total a disciplina contou com 37 participantes, sendo: 28 alunos divididos em quatro grupos de sete alunos cada; 1 professor; 4 tutores da universidade; e, 4 tutores da empresa, denominados “embaixadores”. Cada grupo de alunos foi monitorado, portanto, por dois tutores, sendo um da empresa e outro da universidade. Os tutores da universidade eram alunos de pós-graduação que tinham como objetivo auxiliar o professor na condução da disciplina e propiciar um melhor monitoramento dos grupos, enquanto os embaixadores eram funcionários que trabalhavam diretamente nas áreas afetadas pelos problemas propostos e, assim, poderiam repassar todas as informações e contatos necessários para que os alunos pudessem estudar o problema.

3.2. Método e procedimentos

Esta pesquisa seguiu uma abordagem qualitativa, no que se refere à apresentação do método de avaliação adotado na disciplina “Projeto Semestral em Engenharia de Produção”. Por outro lado, trata-se fundamentalmente de um trabalho quantitativo uma vez que, através de estudos estatísticos, busca interpretar os resultados dos questionários utilizados na disciplina com o intuito de compreender as notas obtidas pelos alunos e seus respectivos grupos nas avaliações.

As análises estatísticas foram realizadas através do *software* Minitab® onde, inicialmente, foram construídos gráficos *boxplot*, para fornecer uma visualização da magnitude das diferenças entre as notas obtidas pelos grupos e, na sequência, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para testar estatisticamente as conclusões extraídas dos gráficos *boxplot*.

4. Desenvolvimento

4.1. Descrição do método de avaliação adotado

O método de avaliação adotado nesta disciplina foi proposto pelo professor em conjunto com os tutores no qual se buscou integrar a avaliação à aprendizagem, adotando um método que recompensasse aqueles que consistentemente se esforçaram para aprender, ao invés daqueles que se dedicaram apenas no último minuto.

Partindo destas premissas, foi proposto que avaliações periódicas fossem realizadas durante todo o semestre com o intuito de monitorar a participação de cada aluno em seu grupo de trabalho e os conhecimentos por ele adquiridos. Com isso os estudantes foram avaliados de quatro maneiras diferentes: avaliação por pares (aluno-aluno), avaliação tutor-aluno, avaliação professor-aluno e, por fim, a avaliação embaixador-grupo. Essas avaliações são detalhadas a seguir e a Tabela 1 resume suas principais características.

- Avaliação por pares: cada integrante do grupo avaliou os demais integrantes do mesmo grupo considerando dezoito critérios, com notas de 0-10, sem repetição, ou seja, cada aluno teve que ordenar os seus colegas de equipe do melhor para o pior em todos os critérios. Desta forma, haveria uma nítida diferença das participações dos alunos dentro do grupo e buscava-se evitar possíveis interferências de amizades na avaliação;

- Avaliação tutor-aluno: (1) a cada reunião semanal com seu grupo, o tutor pontuou cada aluno, com notas de 0-10, sem repetição, com o intuito de diferenciar a participação de cada aluno durante a evolução do projeto e (2) avaliação da apresentação oral de cada um dos grupos, onde cada tutor avaliou os quatro grupos considerando dezesseis critérios, com notas de 1-6, sem repetição, de acordo com a escala: 6 – extremamente favorável, 5 – muito favorável, 4 – favorável, 3 – quase desfavorável, 2 – desfavorável, 1 – extremamente desfavorável;

- Avaliação professor-aluno: (1) avaliações periódicas em que o professor pontuava a presença e participação dos alunos durante os encontros às sextas-feiras, na Universidade, e (2) avaliar a evolução do projeto a cada semana com o intuito de medir se os grupos estavam cumprindo as metas estabelecidas pelos embaixadores da empresa;
- Avaliação embaixador-grupo: (1) avaliações mensais em que o embaixador avaliou a evolução das propostas de solução apresentadas pelo grupo e (2) avaliação da apresentação oral dos grupos considerando os mesmos dezesseis critérios e escala de notas utilizados pelos tutores.

Tabela 1 – Estrutura de avaliação adotada na disciplina.

Avaliação	Forma de avaliar	Periodicidade	Composição da nota	Responsável
Por pares	Questionário com escala quantitativa	Única	20%	Aluno
Tutor-aluno	1. Não estruturado e não padronizado 2. Questionário com escala quantitativa e qualitativa sobre a apresentação	1. Semanal 2. Única	20%	Tutor
Professor-aluno	1. Avaliação de presença e participação 2. Avaliação dos relatórios entregues	1. Semanal 2. Duas vezes	30%	Professor
Embaixador-grupo	1. Não estruturado e não padronizado 2. Questionário com escala quantitativa e qualitativa sobre a apresentação	1. Semanal 2. Única	30%	Embaixador

4.2. Análise das notas obtidas por meio dos questionários adotados na disciplina

Por meio do auxílio do *software Minitab®*, as notas que os alunos obtiveram pela avaliação por pares e, também, as notas que os grupos obtiveram na avaliação da apresentação oral foram analisadas e, inicialmente, alguns gráficos do tipo *boxplot* foram criados com o intuito de ilustrar a distribuição dessas notas e, em seguida, a análise de variância (ANOVA) *one-way* foi realizada com o intuito de comprovar, estatisticamente, as observações extraídas dos gráficos.

4.2.1. Análise das notas através da visualização do gráfico *boxplot*

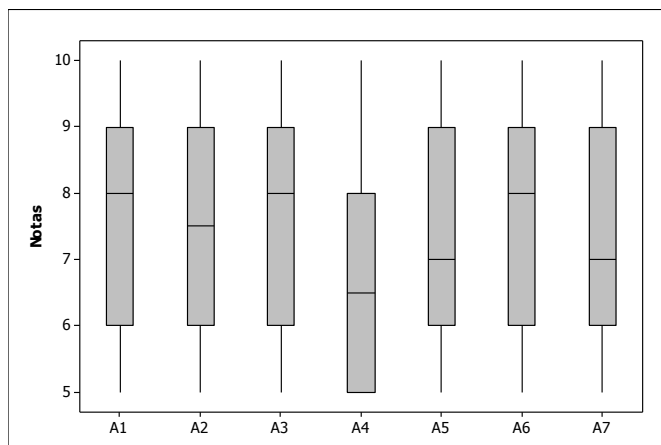
O gráfico do tipo *boxplot* foi originado por Tukey (1977) e de acordo com Dawson (2011), este gráfico divide os dados em quatro fronteiras invisíveis, duas internas (dentro da caixa) e duas externas (extensão fora da caixa). Cada distância entre as fronteiras representa 25% dos dados que serão analisados e caso existam dados fora das fronteiras externas, estes serão

considerados como valores discrepantes do conjunto de dados (*outliers*) e são representados pelo símbolo * (asterisco).

Segundo Hubert e Vandervieren (2008), as fronteiras internas que representam a caixa do gráfico *boxplot* se iniciam no primeiro quartil (Q1) e vão até o terceiro quartil (Q3), sendo esse comprimento igual ao interquartil $IQR = [Q3 - Q1]$. Uma linha é inserida no segundo interquartil (Q2) representando a mediana da amostra de dados e esses dados serão considerados *outliers* quando estiverem fora do intervalo $I = [Q1 - 1,5(IQR); Q3 + 1,5(IQR)]$ e, também, possuem *whiskers* que são as linhas que vão desde as extremidades da caixa até os pontos mais distantes dentro do intervalo I.

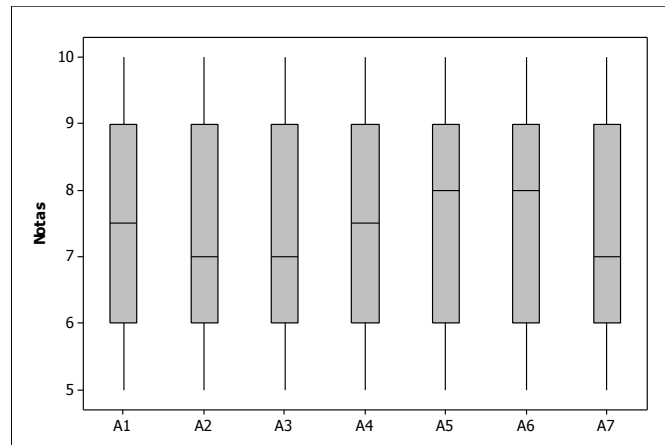
As “Figuras 1 - 4” ilustram o desempenho individual de cada um dos alunos participantes na disciplina de acordo com as notas obtidas pelos 18 critérios da avaliação por pares. Inicialmente, a “Figura 1” ilustra a distribuição das notas obtidas pelos sete alunos pertencentes ao grupo 1 em que se percebe uma certa homogeneidade entre as notas, com exceção, do aluno 4 que recebeu, em sua maioria, notas inferiores em relação aos outros seis integrantes do grupo.

Figura 1 - Avaliação por pares do grupo 1.



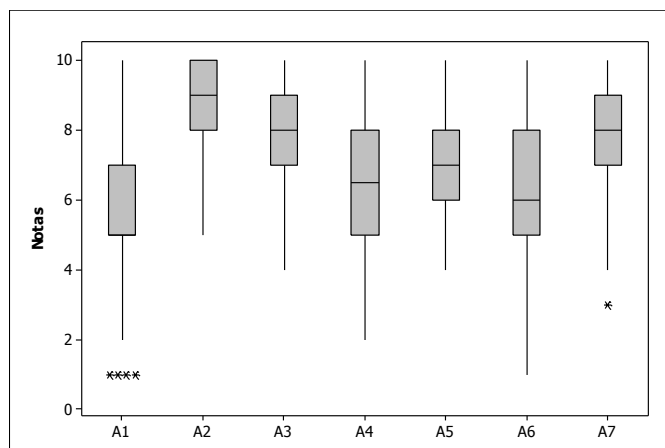
A “Figura 2” ilustra a distribuição das notas obtidas pelos sete alunos pertencentes ao grupo 2 em que, também, se percebe uma homogeneidade entre as notas dos integrantes do grupo e alterando-se apenas a mediana das notas obtidas. Os alunos 2 e 3 obtiveram um conjunto de notas com mediana 7 enquanto que o conjunto de notas dos alunos 5 e 6 possuem mediana 8, por exemplo.

Figura 2 - Avaliação por pares do grupo 2.



A “Figura 3” ilustra a distribuição das notas obtidas pelos sete alunos pertencentes ao grupo 3 em que se percebe uma nítida diferença entre as notas dos integrantes do grupo. Existe ainda, a presença de *outliers* nas notas dos alunos 1 e 7 que representam notas muito diferentes das do conjunto de notas obtidas por esses alunos, ou seja, em determinados critérios eles obtiveram um desempenho inferior em relação aos demais. O conjunto de notas do aluno 2 obteve mediana 9 enquanto que o conjunto de notas do aluno 6 obteve mediana 6, por exemplo.

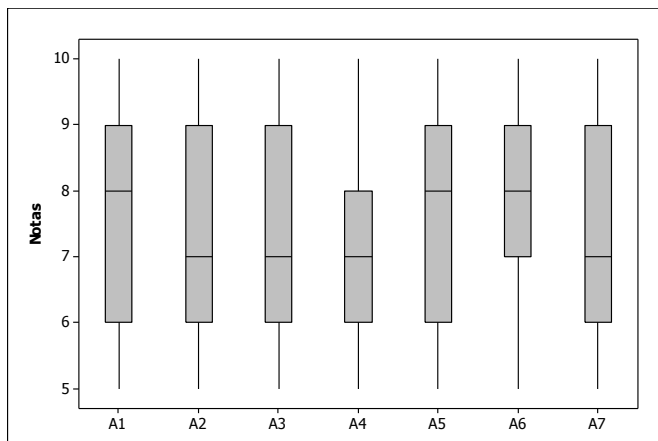
Figura 3 - Avaliação por pares do grupo 3.



A “Figura 4” ilustra a distribuição das notas obtidas pelos sete alunos pertencentes ao grupo 4 em que se percebe uma certa homogeneidade entre as notas, com exceção, do aluno 4 que recebeu, em sua maioria, notas inferiores em relação aos outros seis integrantes do grupo e,

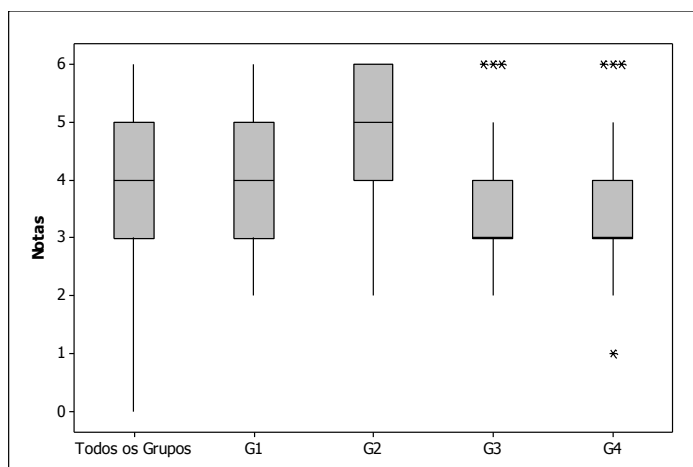
também, com exceção do aluno 6 que recebeu notas superiores em relação aos outros seis integrantes do grupo.

Figura 4 - Avaliação por pares do grupo 4.



Já a “Figura 5” ilustra o desempenho de cada um dos grupos de acordo com as notas obtidas pelos 16 critérios avaliados na apresentação oral. Percebe-se que o grupo 1 obteve a mesma mediana das notas recebidas por todos os quatro grupos, já o grupo 2 foi o melhor avaliado e os grupos 3 e 4 obtiveram uma avaliação inferior em relação aos outros dois grupos e, também, apresentam *outliers* que ilustram notas muito acima da maioria das notas obtidas por esses dois grupos, com exceção do grupo 4 que obteve uma nota muito inferior em relação as demais e, assim, sendo o único grupo a obter nota um que representa um critério extremamente desfavorável de acordo com a escala adotada pelo questionário.

Figura 5 - Avaliação da pré-apresentação dos grupos.



4.2.2. Análise das notas através da análise de variância (ANOVA)

De acordo com Roberts e Russo (1999), a análise de variância (ANOVA) é um conjunto de modelos estatísticos utilizados para analisar as diferenças entre as médias de conjunto de dados e seus procedimentos associados como a variação dentro e entre grupos. Em outras palavras, a ANOVA é utilizada para comparar médias de diferentes populações para verificar se essas populações possuem médias iguais ou não, assim, essa técnica permite que vários grupos sejam comparados ao mesmo tempo.

Com o objetivo de comprovar estatisticamente as conclusões extraídas dos gráficos ilustrados anteriormente, a ANOVA *one-way* foi aplicada às notas dos sete alunos de cada grupo com o intuito de descobrir se as médias de notas recebidas por cada um desses alunos são estatisticamente iguais ou diferentes. Essa confirmação dá-se em relação ao teste de hipótese aplicado a cada conjunto de dados analisado através de duas hipóteses: (1) hipótese nula (H_0) em que as médias populacionais são iguais quando $pvalue > 0,05$ e (2) hipótese alternativa (H_1) em que as médias populacionais são diferentes quando $pvalue \leq 0,05$. Exemplos práticos do uso da ANOVA são encontrados em Montgomery (2011).

A Tabela 2 ilustra as análises de variância das notas obtidas pela avaliação por pares realizada pelos quatro grupos de alunos.

Tabela 2 – ANOVA *one-way* da avaliação por pares.

Grupo	Alunos	<i>Pvalue</i>	Hipótese válida	Média Populacional
1	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7	0,000	H_1	Diferente
1	A1, A2, A3, A5, A6, A7	0,574	H_0	Igual
2	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7	0,996	H_0	Igual
3	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7	0,000	H_1	Diferente
3*	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7	0,000	H_1	Diferente
4	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7	0,013	H_1	Diferente
4	A1, A2, A3, A5, A7	0,411	H_0	Igual

*análise realizada sem a presença dos *outliers*

A primeira análise realizada para o grupo 1 comprova que a média de notas entre os sete alunos é estatisticamente diferente, mas excluindo o aluno 4 que de acordo com a Figura 1 recebeu, em sua maioria, notas inferiores em relação aos outros seis integrantes do grupo, a análise foi refeita e desta forma a média entre as notas tornou-se estatisticamente igual e, assim, comprovando a homogeneidade do grupo com exceção do aluno 4 que obteve um desempenho abaixo da média.

Já a análise realizada para o grupo 2 comprova que a média das notas entre os sete alunos é estatisticamente igual conforme ilustrado na Figura 2. Ao contrário da análise realizada para o grupo 3 que comprova que a média das notas entre os sete alunos é estatisticamente diferente mesmo a análise sendo refeita com a ausência dos *outliers* conforme ilustrado na Figura 3.

Por fim, a análise realizada para o grupo 4 comprova que a média de notas entre os sete alunos é estatisticamente diferente, mas excluindo o aluno 4 que de acordo com a Figura 4 recebeu, em sua maioria, notas inferiores em relação aos outros seis integrantes do grupo e, também, excluindo o aluno 6 que recebeu, em sua maioria, notas superiores relação aos outros seis integrantes do grupo, a análise foi refeita e desta forma a média entre as notas tornou-se estatisticamente igual e, assim, comprovando a homogeneidade do grupo com exceção do alunos 4 e 6 que obtiveram, respectivamente, um desempenho abaixo e acima da média.

A análise de variância (ANOVA) *one-way* também foi aplicada as notas que os grupos receberam dos tutores e dos embaixadores através da avaliação da apresentação oral no qual o teste de hipótese foi aplicado conforme as informações da Tabela 3.

Tabela 3 – ANOVA *one-way* da avaliação da apresentação oral.

Grupos	Pvalue	Hipótese válida	Média Populacional
1, 2, 3, 4	0,000	H ₁	Diferente
Todos e 1	0,012	H ₁	Diferente
3 e 4	0,197	H ₀	Igual

A primeira análise foi realizada entre os quatro grupos e comprova que a média de notas entre eles é estatisticamente diferente conforme ilustrado na Figura 5, ou seja, comprova a diferenciação entre as apresentações dos grupos. Já a segunda análise foi realizada com as notas obtidas por todos os grupos em relação as notas do grupo 1 e, assim, comprovando que a média é estatisticamente diferente, ao contrário da percepção visual obtida pela Figura 5.

A terceira e última análise foi realizada entre os grupos 3 e 4 que, visualmente, na Figura 5, aparentam ter a mesma distribuição de notas e que foi comprovada com a análise de variância no qual a média entre as notas é estatisticamente igual.

5. Conclusões

Diante do método de avaliação proposto para a disciplina baseada no ensino ativo apresentada neste trabalho, análises estatísticas foram realizadas em dois questionários: (1) avaliação por pares realizada pelos próprios alunos e (2) avaliação da apresentação oral realizada pelos tutores e embaixadores.

As análises iniciaram-se pelos gráficos do tipo *boxplot* no qual é possível visualizar o agrupamento das notas recebidas tanto pelos alunos quanto pelos grupos e, também, os seus respectivos *outliers*. Com esse gráfico pode-se visualizar que os alunos dos grupos 1, 2 e 4 obtiveram uma distribuição de notas mais uniforme em relação às notas dos alunos do grupo 3. Isto se justifica pelo fato dos alunos do grupo 3 atribuírem atividades com responsabilidades diferentes dentro do grupo de forma que poucos alunos encabeçaram o trabalho e, assim, se sobressaíram em relação aos demais e obtiveram uma participação mais ativa, diferentemente dos demais grupos em que os alunos trabalharam com a mesma carga de trabalho, mas de forma que um ou outro se destacasse devido às suas habilidades pessoais como pró-atividade, criatividade, foco em resultados e entre outras. Este fato é confirmado pelos tutores que acompanharam todo o desenrolar das atividades de cada um dos grupos.

Já em relação às notas atribuídas aos grupos, o gráfico *boxplot* mostrou um conjunto de notas superior para o grupo 2 e um conjunto de notas inferior quase que igualmente distribuídas aos grupos 3 e 4 e, assim, ilustra-se que o grupo 2 desempenhou uma melhor apresentação do trabalho em relação aos demais e pode-se concluir que tanto os tutores quanto os embaixadores demonstraram ter a mesma opinião de que o grupo 2 realmente obteve um melhor desempenho durante a apresentação em relação aos demais grupos.

Por fim, a segunda análise estatística foi à análise de variância (ANOVA) *one-way* a qual se aplicou um teste de hipótese com o objetivo de confirmar se as médias de notas recebidas pelos alunos, individualmente, e pelos grupos eram iguais ou não. Com essa análise foi possível comprovar, estatisticamente, através dos valores dos *pvalues* que as informações obtidas pelos gráficos do tipo *boxplot* são verdadeiras.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio concedido através do projeto APQ-01293-13 e também a Capes e ao CNPQ pelo apoio durante a condução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BROWN, S. Assessment for learning. *Learning and Teaching in Higher Education*, n. 1, 2004.

CARDOSO, I. M. *Métodos Ativos de Aprendizagem: o uso do aprendizado baseado em problemas no ensino de logística e transportes*. Itajubá: UNIFEI, 2011. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 2011.

CHUA, K.J.; YANG, W.M.; LEO, H.L. Enhanced and conventional project-based learning in an engineering design module. *International Journal of Technology and Design Education*, p. 1-22, 2013.

DAWSON, R. How significant is a boxplot outlier? *Journal of Statistics Education*, v.19, n.2, P. 1-13, 2011.

EVA, K. W. Assessing tutorial-based assessment. *Advances in Health Sciences Education*, v. 6, n. 3, p. 243-257, 2001.

GOODYEAR, P.; JONES, C.; ASENSIO, M.; HODGSON, V.; STEEPLES, C. Networked learning in higher education: student's expectations and experiences. *Higher Education*, v. 50, n. 3, p. 473-508, 2005.

HUBERT, M.; VANDERVIEREN, E. An adjusted boxplot for skewed distributions. *Computational Statistics and Data Analysis*, v. 52, n. 12, p. 5186-5201, 2008.

KARPIAK, C. P. Assessment of problem-based learning in the undergraduate statistics course. *Teaching of Psychology*, v. 38, n. 4, p. 251-254, 2011.

KRITIKOS, V. S.; WOULFE, J.; SUKKAR, M . B.; SAINI, B. Instructional design and assessment: intergroup peer assessment in problem-based learning tutorials for undergraduate pharmacy students. *American Journal of Pharmaceutical Education*, v. 75, n. 4, p. 1-12, 2011.

MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. United States of America: John Wiley & Sons, 2011.

PHILLIPS, R. Challenging the primacy of lectures: the dissonance between theory and practice in university teaching. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, p. 1-12, 2005.

RAUD, Z. Active learning power electronics: a new assessment methodology. In: *Proceedings of 14th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Ohrid, Macedonia, 2010.

ROBERTS, M. J.; RUSSO, R. *A student's guide to analysis of variance*. New York: Routledge, 1999.

SAMBELL, K.; MCDOWELL, L.;BROWN, S. But is it fair? An exploratory study of student perceptions of the consequential validity of assessment. *Studies in Educational Evaluation*, v. 23, n. 4, p. 349-371, 1997.

SMITH, C.; BATH, D. The role of the learning community in the development of discipline knowledge and generic graduate outcomes. *Higher Education*, v. 51, n. 2, p. 259-286, 2006.

STRUYF, E.;VANDENBERGHE, R.; LENS, W. The evaluation practice of teachers as a learning opportunity for students. *Studies in Educational Evaluation*, v. 27, n. 3, p. 215-238, 2001.

TUKEY, J. W. *Exploratory data analysis*. Massachusetts: Addison-Wesley, 1977.

WATERS, R.; MCCRACKEN, M. Assessment and evaluation in problem-based learning. In: *Proceedings of 24th Annual Conference of Frontiers in Education*, Pittsburgh, USA, 1997.

Capítulo 13

SISTEMA DE GESTÃO DA INOVAÇÃO EM PEQUENAS EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA: UM NOVO MODELO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO SISTÊMICO

Estevão Luiz Romão
Adriana Ferreira de Faria
Jaqueline Akemi Suzuki
Anna Laura Teixeira de Almeida
Sarah de Oliveira Teixeira Cardoso

SISTEMA DE GESTÃO DA INOVAÇÃO EM PEQUENAS EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA: UM NOVO MODELO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO SISTÊMICO

Estevão Luiz Romão (UNIFEI)

Adriana Ferreira de Faria (UFV)

Jaqueline Akemi Suzuki (UFV)

Anna Laura Teixeira de Almeida (UFOP)

Sarah de Oliveira Teixeira Cardoso (UFV)

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o como foi realizado o processo de intervenção para a implantação de um modelo de referência de um Sistema de Gestão da Inovação (SGI) em micro e pequenas empresas de base tecnológica que participaram do Programa Tecnova, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e Financiadora de Projetos (Finep). Esse programa financiou as propostas de desenvolvimento de processos e/ou produtos inovadores de conteúdo tecnológico dessas empresas que contaram com o apoio de uma equipe de Tutores da Universidade Federal de Viçosa (UFV) durante implantação do SGI e desenvolvimento de um plano tecnológico para o produto inovador. Foi adotado como modelo de referência o Sistema EPR desenvolvido pelo Núcleo de Tecnologia de Gestão (NTG), que é um grupo de pesquisa e extensão tecnológica da UFV, fazendo-se possível auxiliar as empresas a inovarem de forma sistemática e rotineira. Nesse artigo serão abordadas a organização do trabalho da equipe de execução do projeto, as etapas do processo de intervenção, o Sistema de Gestão da Inovação desenvolvido no âmbito da pesquisa, bem como as dificuldades e as melhorias sugeridas no processo. Assim, espera-se que com os resultados e considerações aqui apresentados seja possível contribuir com o desenvolvimento de trabalhos futuros na área do empreendedorismo inovador de base tecnológica.

1. Introdução

As empresas enfrentam um ambiente caracterizado pela complexidade mercadológica, dinamicidade tecnológica e incertezas econômicas e políticas crescentes. As preocupações

comuns são como proporcionar um crescimento contínuo à empresa, vencer a concorrência e ser mais competitivo, conquistar novos mercados e manter a empresa de forma lucrativa. Uma das respostas mais adequada a essas perguntas é por meio da inovação. Porém, de acordo com Faria (2017b, pg. 118):

“Ninguém - em sã consciência - questiona a importância da inovação para a competitividade empresarial. Todos reconhecem que inovar é necessário para alcançar sustentabilidade nos negócios. Porém, poucos sabem como gerenciar a inovação ou fazem da inovação um instrumento eficaz para a competitividade. Poucos sabem liderar para inovar e principalmente - infelizmente - poucos de fato inovam! Portanto, a pergunta é: como fazer com que a inovação de fato aconteça? - ou ainda - como ser de fato uma empresa inovadora”.

Infelizmente, as empresas decidem inovar apenas em determinados momentos, a partir da identificação de ameaças, como a concorrência de outras empresas (CORAL et al., 2009). Deveriam levar em consideração que a competitividade da organização pode ser alcançada por meio de inovação tecnológica e organizacional (FARIA, 2017a). A inovação não deve ser vista apenas como o desenvolvimento de novos produtos, mas como algo mais abrangente capaz de trazer retorno por meio da exploração bem-sucedida de uma ideia.

A inovação é um processo de criação de possibilidades, geradas a partir da combinação de conhecimentos que podem vir como resposta a uma necessidade, articulada ou latente, ou a partir de antigas experiências que resultaram de projetos tecnicamente possíveis (TIDD et al., 2008). A OCDE (2005) define inovação como a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou ainda, um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas. Assim, o conceito de inovação pode estar relacionado a novos modelos de negócio, mercados e serviços, novas formas de gestão, criação de plataformas tecnológicas e canais de distribuição (SCHERER et al., 2009).

O sucesso obtido por meio da inovação está relacionado a uma enorme lista de requisitos que devem ser coordenados e sincronizados, haja vista que a inovação não é um evento ou acontecimento, mas um processo que exige gerenciamento eficaz. A inovação deve ser gerenciada na forma de entradas, saídas, sub processos e atividades, meios de controle, objetivos, parâmetros e recursos que devem ser direcionados por estratégias claras (TIDD et al., 2008). A inovação competitiva, bem-sucedida, não se trata apenas de ter boas ideias, mas de um processo estruturado, composto por atividades que envolvem quase todos as funções da empresa (COSTA, 2011).

Mesmo as grandes empresas correm o risco de desaparecerem se não inovarem. O destino da micro e pequena empresa pode ser ainda pior por não ter a proteção do capital que uma grande empresa possui. Os fatores de sucesso das micro e pequenas empresas de base tecnológica derivaram-se de questões como: características gerais dos empreendedores, organização da empresa, práticas de gestão, fatores culturais e ambientais, conjuntura socioeconômico-institucional e acesso a recursos e financiamentos.

Uma dificuldade apontada na literatura para o crescimento das pequenas empresas de base tecnológica situa-se na falta de experiência das agências de fomento e dos financiadores privados em avaliar e propor correções no processo de gestão destas empresas (SEBRAE & IPT, 2001). Portanto, é fundamental identificar os obstáculos que dificultam a inovação, para que os programas desenvolvidos pelas agências governamentais de apoio às empresas sejam mais efetivos e tragam maiores retornos para a sociedade.

Dessa forma, o presente artigo tem por objetivo geral apresentar o processo de intervenção para a implantação de um modelo de referência de um Sistema de Gestão da Inovação, em micro e pequenas empresas de base tecnológica participantes do Programa Tecnova, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e Financiadora de Projetos (Finep). O modelo de referência foi desenvolvido pelo Núcleo de Tecnologia de Gestão (NTG), que é um grupo de pesquisa e extensão tecnológica da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O Sistema busca auxiliar as empresas a inovar de forma sistemática e rotineira.

O Programa Tecnova (MG) refere-se ao Edital Fapemig 13/2013 “Programa de apoio à inovação tecnológica em microempresas e empresas de pequeno porte TECNOVA Minas Gerais”, que teve por objetivo financiar propostas de micro e pequenas empresas, para o desenvolvimento de produtos e/ou processos inovadores, com risco e conteúdo tecnológico e, dessa forma, promover o aumento das atividades de inovação e da competitividade das empresas.

2. Revisão bibliográfica

Um modelo é uma representação útil de um tema, que apresenta a realidade de forma simplificada e abstrata, mas, expressa de maneira formal. Os modelos de referência, muitas vezes relacionados a processos, podem ser diferenciados, de acordo com as organizações que os adotam, entre modelos genéricos ou mais específicos, como foi o caso desse projeto, para

micro e pequenas empresas de base tecnológica. Todo modelo de referência de processo possui em sua estrutura a definição de atividades, informações, recursos e organização do trabalho (Bagno e Faria, 2017).

Os modelos são embasados por um conhecimento constituído por conceitos, métodos, técnicas e ferramentas (AMIGO, 2013 apud MUNDIM et al., 2002) aplicados ao tema. Dessa forma, deve ser estabelecida a base teórica conceitual do modelo, que posteriormente será validado, permitindo assim o seu robustecimento por meio da sua aplicação prática. Os principais conceitos relacionados ao modelo de referência do Sistema de Gestão da Inovação, utilizados pelo NTG, estão resumidamente apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Conceitos considerados para o desenvolvimento do modelo de referência do Sistema de Gestão da Inovação em Micro e Pequenas Empresas

Inovação	O requisito mínimo para se definir uma inovação é que ela seja nova para a empresa onde será implementada (OCDE, 2005). As inovações podem ser incrementais caracterizadas por modificações e aperfeiçoamentos ou radicais, ou seja, que induzem grandes transformações (TIGRE, 2006).
Inteligência Competitiva	Processo sistemático que transforma <i>bits</i> e partes de informações competitivas em conhecimento estratégico para a tomada de decisão, que engloba a posição competitiva atual, desempenho, pontos fortes e fracos, bem como cenário futuro (ROTHER <i>et al.</i> , 2007 apud Tyson, 1998). Possui como principais atividades a identificação, coleta, sistematização e interpretação de informações relevantes sobre o ambiente interno ou externo, objetivando a melhor decisão e a disseminação de dados (CANONGIA <i>et al.</i> , 2004).
Planejamento Estratégico	Processo de elaborar a estratégia, definindo a relação entre a organização e o ambiente CORRÊA (2008). É um processo que define os objetivos organizacionais que a empresa deve alcançar e facilita a escolha dos melhores caminhos para atingi-los, devendo envolver todas as áreas da organização e podendo ser subdividido em estratégias operacionais para facilitar sua aplicabilidade MAXIMIANO (2007).
Ciclo PDCA	Um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance de metas necessárias à sobrevivência de uma organização, composto por quatro fases: <i>Plan, Do, Check e Act</i> (BEHR, MORO & ESTABEL, 2008).
Gestão da inovação	Sistema gerencial que consiste em um processo de coleta e análise de informações para definir uma estratégia tecnológica, priorizar ideias e oportunidades, definir a carteira de projetos e os investimentos, implementar os projetos e medir o retorno dos esforços dos novos desenvolvimentos para a empresa (CORAL, 2009).
Gestão do Processo de Inovação	Consiste em implementar e manter decisões, atividades, recursos e métricas, de forma integrada, com a finalidade de fomentar, selecionar e desenvolver diretrizes inovadoras, em consonância com o planejamento estratégico (FARIA, 2016b).
Sistema de Inovação	As políticas para a inovação, a organização do trabalho para a inovação e a gestão do processo de inovação constituem o Sistema de Gestão da Inovação da empresa (FARIA, 2016b).

Para a melhor compreensão do processo de inovação, o mesmo pode ser dividido em macro fases, conforme Coral *et al.* (2009) na estruturação da metodologia do NUGIN (Núcleo de Gestão Integrada da Inovação): Organização para a inovação; Planejamento estratégico para a inovação; Processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Para os autores, algumas das práticas relacionadas à incorporação do processo de gestão da inovação nas empresas estão

ligadas à implantação de uma cultura que apoie a criatividade e participação dos colaboradores, ao entendimento do mercado e do consumidor, à criação de equipes multifuncionais, ao monitoramento de tecnologias, à cooperação entre fornecedores e clientes, à priorização dos projetos inovadores e à realização de um amplo planejamento.

A gestão do processo de inovação deve ser continuamente mensurada dentro das organizações, entretanto nem sempre isso é tarefa fácil. Não há como avaliar o desempenho do processo de inovação sem os indicadores corretos (SCHERER *et al.*, 2009). Entre os principais indicadores estão (INÁCIO JÚNIOR *et al.*, 2007):

- Dispendios financeiros em atividades de P&D em relação à receita líquida de vendas e aos dispendios com máquinas e recursos humanos envolvidos no processo de inovação;
- A efetividade do sistema de gestão: número de parceiros prospectados e parcerias firmadas para a inovação, tempo médio de desenvolvimento de novos produtos e valores obtidos com recursos externos para o financiamento da inovação;
- Número de patentes, novos produtos processos implementados, assim como receita líquida de novos produtos sobre a receita líquida total de vendas da empresa.

O gerenciamento da inovação pressupõe legitimidade por parte dos dirigentes da empresa e a presença de determinadas características na condução de estratégias competitivas e de inovação bem-sucedidas, como experiência no setor; capacidade de aprender com erros e acertos; motivação; relacionamento interpessoal facilitado; e a percepção de oportunidades que impulsionarão o lançamento de novos produtos e constante crescimento da empresa (VILHA, 2010).

Edwards (2005) propõe que a inovação em pequenas empresas seja encarada em termos de competências, recursos e estruturas existentes, incluindo orientação estratégica e as principais práticas e técnicas dos gestores. Assim, a análise de tais atributos fornecerá a capacidade da empresa em lidar com as incertezas e de se relacionar com seus clientes e outras instituições. O autor ainda define o potencial inovador de uma organização como proporcional à força da relação entre a estratégia de inovação e as práticas adotadas pela empresa.

Nessa ótica, é importante entender a tipologia de empresa onde o modelo de referência será aplicado (Bagno e Faria, 2017). Ser uma empresa inovadora pode ser um *status* temporário, haja vista que uma empresa inovadora é aquela que introduziu pelo menos uma inovação em um determinado período de análise OCDE (2005). Na literatura não existe uma definição

formal, amplamente aceita, para empresas de base tecnológica em função dos setores que atuam ou dos produtos e serviços que oferecem, podendo ainda serem consideradas de alta tecnologia emergentes ou estabelecidas (NAKAGAWA, 2008).

3. Metodologia de pesquisa

O projeto apresentado nesse artigo trata-se de pesquisa-ação, que é um método de pesquisa qualitativa (MELLO *et al.*, 2012). Quanto à natureza da pesquisa essa pode ser classificada como aplicada e quanto ao objetivo é exploratória (GIL, 2007). Na pesquisa-ação os resultados são tanto uma ação quanto a pesquisa, que, diferentemente da ciência positivista tradicional, visa criar apenas o conhecimento. É a pesquisa em ação ao invés da pesquisa sobre a ação; é participativa e concomitante com a ação; é uma sequência de eventos e uma abordagem para a resolução de problemas (COUGHLAN & COUGHLAN, 2002). O ciclo da pesquisa-ação adotado para a realização do trabalho é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Ciclo da pesquisa-ação adotado pelo projeto

Fase do ciclo	Descrição
Planejamento da pesquisa-ação	a) Iniciação da pesquisa: a pesquisa teve como início com a necessidade do desenvolvimento de um modelo de referência para o sistema de inovação em micro e pequenas empresas de base tecnológico que pudesse ser repassado para as empresas participantes do Edital Tecnova Fapemig/Finep. O problema, portanto, apresenta duas naturezas complexas: o próprio modelo de referência a ser desenvolvido e o processo de intervenção mais adequado juntos às empresas envolvidas. b) Definição da estrutura conceitual-teórica: para o desenvolvimento do modelo de referência buscou-se a fundamentação teórica pertinente sobre os conceitos e as ferramentas relacionados com a área de gestão da inovação e práticas relacionadas com as micro e pequenas empresas de base tecnológica. c) Seleção da unidade de análise: a unidade de análise são as empresas participantes do Edital Tecnova Fapemig/Finep. d) Técnicas de coleta de dados: as técnicas de coleta de dados observação participante dos pesquisadores do NTG no ambiente da pesquisa, sondagens através de questionamento dos participantes quanto a explicações e interpretações do modelo de referência e das práticas e análise de documentos escritos dos participantes e outros dados secundários.
Coleta dos dados	Foram realizadas coletas de dados primários e secundários. Os dados primários foram coletados por meio de observação, discussões e entrevistas com as empresas realizados durante o processo de capacitação e tutoria.
Análise dos dados e planejamento das ações	O desenvolvimento do modelo de referência aconteceu de forma concomitante com o processo de intervenção junto às empresas. O processo de intervenção se deu por meio de capacitações (<i>workshops</i>) e tutoria. As tutorias foram realizadas de forma remota e tinham por objetivo auxiliar as empresas no processo de implantação do modelo de referência do sistema de gestão da inovação. As ações buscavam responder questões como: O que precisa mudar no modelo de referência para que ele seja mais eficaz? Quais partes da organização precisam ser mais envolvidas nesse processo? Que tipo de apoio é necessário para que a implantação do modelo de referência de fato aconteça? Qual são as resistências a serem gerenciadas?
Implementação do plano de ação	As ações propostas pelo NTG, considerando as análises dos dados foram implementadas, buscando refinar o modelo de referência e ter maior adesão e participação das empresas no processo de implantação.
Avaliação dos resultados	Para cada fase de implementação do modelo de referência os resultados obtidos foram avaliados, utilizando o método de redução dos dados. Os resultados também foram avaliados pela equipe do NTG e da Fapemig, buscando estabelecer melhorias no processo de intervenção. Também foi realizado um <i>survey</i> com as empresas a fim de avaliar o nível de satisfação e dificuldades encontradas.
Ciclo de melhoria e aprendizagem	Essa fase permeou todo o processo de desenvolvimento do modelo de referência e intervenção junto às empresas, conforme o planejamento da pesquisa-ação aqui realizado, de acordo com o ciclo: planejar (P), implementar (I), observar e avaliar (O&A) e refletir e agir (R&A).

Fonte: Adaptado de Mello *et al.* (2012)

4. Resultados

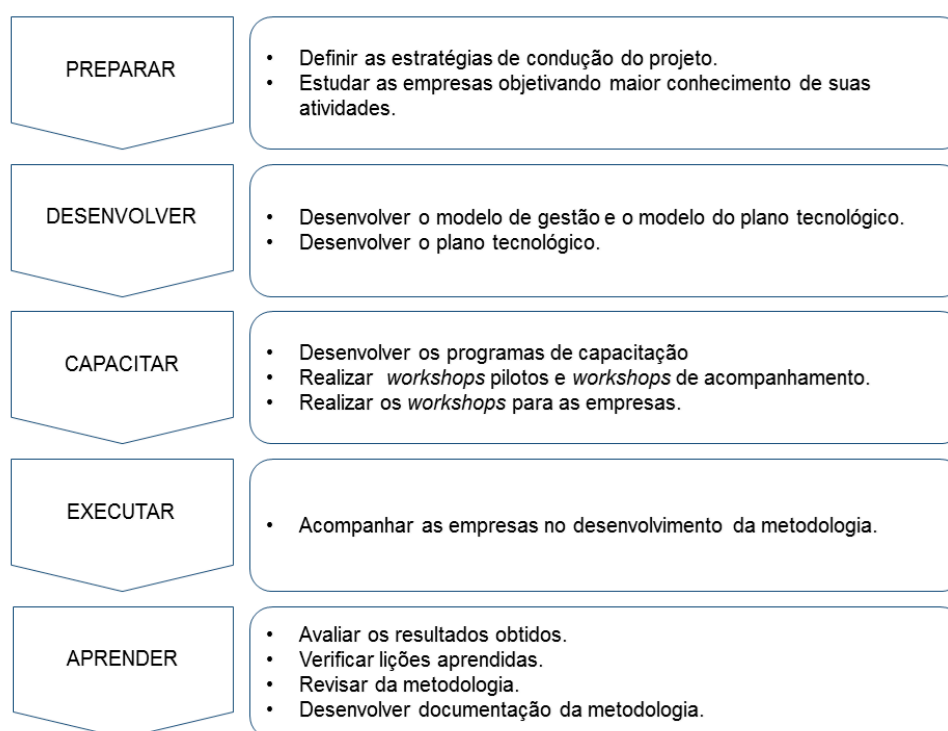
4.1. Processo de intervenção

O objetivo principal do NTG foi desenvolver e aplicar junto às empresas, participantes do Programa Tecnova, a metodologia para a implantação do modelo de referência do Sistema de

Gestão da Inovação (SGI). Participaram do Programa 47 empresas. Dessa forma, as empresas receberam capacitação para implantação do SGI, que foi denominado Sistema EPR de Gestão da Inovação. Todo esse esforço foi denominado processo de intervenção do NTG, conforme ilustrado na Figura 1.

Para tal, foi necessário preparar as empresas no estabelecimento de uma estrutura organizacional favorável à inovação, que permita a difusão da cultura empreendedora e de inovação. A metodologia foi estabelecida de forma a desenvolver junto às empresas competências empresariais alinhadas aos desafios e oportunidades oferecidos pelo mercado, bem como criar bases gerenciais que constituam raízes para o crescimento das empresas.

Figura 1 - Etapas de condução do projeto de intervenção do NTG junto às empresas

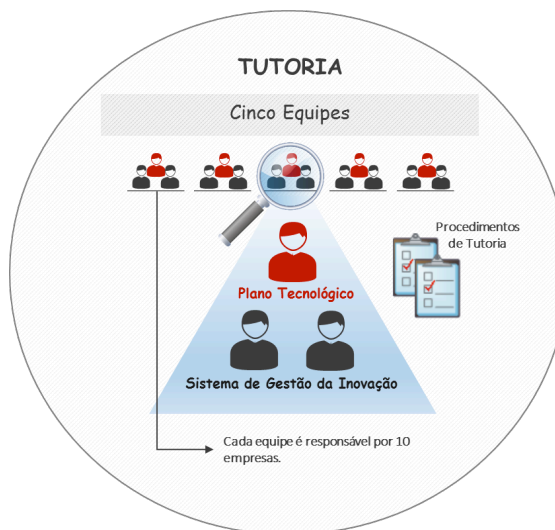


Conforme Figura 1, inicialmente os responsáveis pelo projeto tiveram que preparar sua condução e compreender um pouco mais sobre as empresas com as quais trabalhariam. Simultaneamente, a metodologia para o SGI foi desenvolvida, a qual possui como uma de suas etapas o desenvolvimento do Plano Tecnológico (PTec) para o produto inovador de cada empresa, objeto do Tecnova. O PTec teve por objetivo sistematizar as etapas do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).

Para esse processo de intervenção, a equipe do NTG foi organizada com a seguinte estrutura: Coordenador de Projeto, Equipe Técnica de Projeto e Equipe de Acompanhamento de Projeto. A Equipe de Acompanhamento foi composta por um assessor e 15 Tutores, alunos do curso de Engenharia de Produção. A Equipe Técnica, composta por 4 pesquisadores do NTG gerenciou o trabalho do Assessor de Projeto e dos Tutores, bem como desenvolveu a metodologia. O conhecimento sobre o Sistema foi formalmente difundido às empresas por meio de 4 workshops de capacitação, realizados pela Equipe Técnica.

Os Tutores foram divididos em dois grupos: Tutoria do SGI (dez estagiários) e Tutoria do PTec (cinco estagiários). A função da Tutoria do SGI foi oferecer suporte às empresas para a implantação do SGI, elucidando as dúvidas dos responsáveis técnicos das empresas e auxiliando no desenvolvimento das atividades propostas pela metodologia. A função dos Tutores do Plano Tecnológico (PTec) foi auxiliar as empresas na elaboração do PTec. Durante o processo de intervenção foram oferecidas 420h de tutoria para as empresas. Os Tutores foram organizados em cinco equipes, sendo cada uma é composta por um Tutor do Plano Tecnológico e dois Tutores do SGI, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura da organização do trabalho da Tutoria



Cada equipe foi responsável por acompanhar diretamente 10 projetos, sendo que cada Tutor de PTec desenvolveu 10 Planos Tecnológicos, uma para cada empresa, e cada Tutor do SGI da equipe auxiliou 5 empresas diretamente. A divisão das empresas para as equipes de tutoria foi realizada levando em consideração a base tecnológica dos projetos: Biotecnologia e TIC

(2); Eletroeletrônica, Termodinâmica e TIC, Biotecnologia e Eletroeletrônica; Eletroeletrônica, Engenharia Hidráulica e de Materiais.

Foram definidos três diferentes tipos de workshops para o processo de intervenção: workshop piloto, workshop de acompanhamento e workshop de capacitação. Todo o conteúdo da capacitação a ser repassado para as empresas foi ministrado pelos pesquisadores do NTG primeiramente aos tutores nos workshops pilotos, que possibilitaram a identificação de melhorias em questões de didática, organização dos tópicos e conteúdo, proporcionando melhores resultados para os workshops de capacitação.

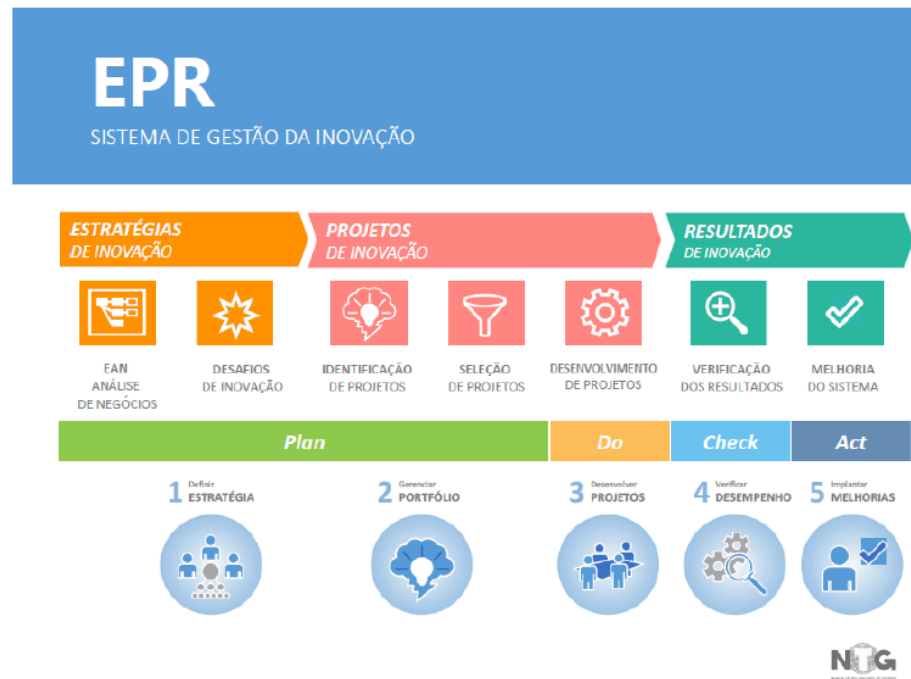
Os workshops de acompanhamento constituíam-se em reuniões entre os pesquisadores da Equipe Técnica e tutores, objetivando discutir melhor os projetos e as empresas. Nesses momentos os Tutores tinham a oportunidade de ouvir as sugestões dos pesquisadores a respeito dos projetos de cada empresa, ou seja, qual a melhor maneira de auxiliar cada uma, além de como dar orientações para a elaboração do PTec. Foram de extrema importância tais encontros, pois neles as atividades desenvolvidas pelas duas frentes de tutoria eram monitoradas e avaliadas e as melhorias propostas adotadas.

4.2. Sistema de Gestão da Inovação – Sistema EPR

O Sistema de Gestão da Inovação desenvolvido no âmbito dessa pesquisa foi referenciado como Sistema EPR de Inovação, onde “E” significa estratégia, “P” representa projetos e “R” significa resultados. O Sistema EPR, Figura 3, foi baseado no conceito de inovação como processo, utilizando o Ciclo PDCA para que as empresas conseguissem visualizar os seus negócios e o mercado de trabalho, e a partir desse conhecimento, identificar os desafios para inovar, essas que deveriam estar alinhadas com a estratégia da empresa.

O Sistema objetiva implantar um processo de inovação na empresa que facilite o gerenciamento dos projetos inovadores. Dessa forma, ele permite a empresa planejar estrategicamente a inovação, visualizar seu portfólio atual, gerar e selecionar ideias em relação aos desafios que enfrenta e escolher para desenvolvimento aquelas que tiverem maior potencial. Além da base conceitual metodológica, o Sistema EPR um conjunto de módulos, em que podem ser inseridas informações estratégicas e gerenciais, portfólio de produtos atual, desafios e o planejamento do projeto selecionado. Os módulos do Sistema, programados, em Excel são divididos em: Gerencial, Rotina, Sistema, EAN, Desafios, Identificação, Seleção, PDProjetos, Verificação, Melhoria.

Figura 3 - Esquema do Sistema EPR de Gestão da Inovação



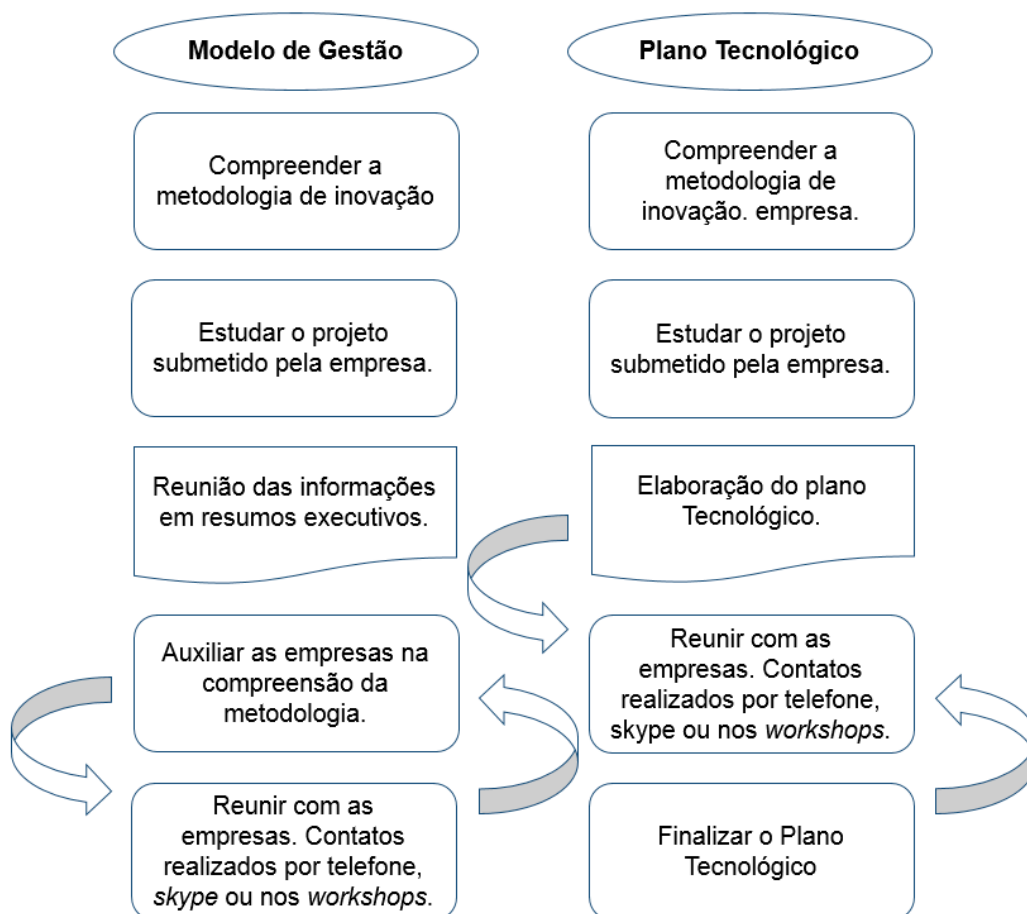
4.3. Atividades da Tutoria

Na Figura 4 está ilustrada a organização do trabalho realizado pelos Tutores para o processo de intervenção. Os Tutores a princípio ficaram encarregados de elaborar, inicialmente, os resumos executivos das empresas, que eram compostos pelos seguintes itens: setor, mercado, atividades, receitas, concorrentes, clientes, vantagens competitivas e diferenciais estratégicos. Grande parte das informações necessárias foi fornecida pelos próprios empresários enquanto que outras foram encontradas a partir de dados secundários. Objetivou-se com a elaboração dos resumos que os Tutores estudassem as empresas para que assim pudessem auxiliá-las. De fato, essa atividade forneceu parte dos conhecimentos necessários sobre como a empresa se posicionava no mercado e aonde ela esperava chegar. Sem essa base os tutores não compreenderiam os projetos, o que tornaria o auxílio completamente ineficaz.

Enquanto isso, os Tutores do PTec construíam o plano tecnológico. As empresas compreenderam que o PTec era uma ferramenta cujo propósito é sistematizar as etapas do PDP por meio de ações realizadas em uma ordem pré-estabelecida, como mencionado anteriormente. Sendo assim, o PTec busca a obtenção do produto final com maior eficiência possível por meio da realização do programado segundo um modelo de referência.

Um modelo de referência torna a organização mais apta ao desenvolvimento de novos produtos. Entretanto, um mesmo modelo não se adequa necessariamente a todas as organizações, e por isso a Equipe Técnica adaptou o modelo do PTec e do SGI a ser implantado, de acordo com as características das empresas.

Figura 4 - Organização dos trabalhos dos Tutores



Foram estabelecidas três formas de contato com as empresas: via Skype e telefone, e-mail e em encontros presenciais com os seus principais responsáveis. As duas primeiras formas de comunicação exigiam maior cautela pois era importante saber os momentos em que os empresários estariam disponíveis para conversar com os tutores, de forma a não criar problemas de relacionamento. Na maior parte das vezes o cronograma de atividades desses empresários era muito cheio, o que dificultava um pouco a troca de informações.

Os encontros presenciais aconteceram no âmbito dos workshops de capacitação quando os tutores tinham um contato mais direto com as empresas e o entendimento do processo como um todo era facilitado, pois ao deparar-se com as necessidades dos empresários, as atividades

tutoriais foram melhor compreendidas. Verificava-se onde as empresas possuíam maiores dúvidas e fornecia-se um esclarecimento às questões relacionadas ao modelo de referência.

Após cada workshop, os gestores das empresas eram incentivados a repassarem ao pessoal da empresa o aprendizado em relação aos temas trabalhados e ao Sistema EPR. Nesse repasse, eram validadas as atividades realizadas durante os workshops. Os tutores realizaram o acompanhamento dessas atividades. Os workshops foram bem avaliados pelos participantes, mas nem todas as empresas do edital acompanharam as atividades. Algumas empresas justificaram o não acompanhamento dessas atividades com o excesso de trabalho, por não possuir uma pessoa para cuidar exclusivamente dessas atividades e outras atividades da rotina serem priorizadas.

O Sistema EPR foi avaliado positivamente pelas empresas, assim como o processo de intervenção do NTG. Porém, o processo de tutoria pode ser aperfeiçoado para que possa contribuir ainda mais com as empresas. Outro ponto de melhoria percebido foi em relação à organização do trabalho na empresa para a implantação do Sistema EPR. Há uma série de atividades que devem ser realizadas a fim de alimentar o sistema com as informações necessárias. Essas atividades vão além daquelas propostas nos workshops e a listagem dessas atividades, como determinação da equipe de inovação, dos responsáveis por cada atividade e a sequência dessas atividades seria um meio de facilitar essa implantação.

Durante o processo de intervenção, algumas dificuldades tiveram que ser superadas:

- Certas empresas apresentaram resistência à compreensão das ferramentas e metodologias que lhes foram apresentadas. Objetivou-se levá-las a outro patamar de consciência em relação à gestão do processo de inovação, entretanto, pelo fato de muitos empresários não terem essa compreensão, surgiram questionamentos que dificultaram o desenvolvimento das atividades do projeto;
- Em alguns casos, a aplicabilidade do modelo de referência adotado, cuja proposta era sistematizar etapas do processo de inovação, chegou a ser questionada, já que a empresa pretendia apenas desenvolver um projeto de P&D. Dessa forma, mesmo que o projeto se enquadrasse ao edital Tecnova, ele não se adaptou bem à proposta;
- Em relação às equipes de trabalho, menciona-se a dificuldade de comunicação com as empresas. As diferentes necessidades de informações demandavam diversas conversas via internet ou telefone, mas que não eram tão fáceis de serem agendadas devido à alta carga de trabalho dos empresários.

5. Considerações

O sistema de gestão da inovação permitiu a combinação de metodologias de gestão e ferramentas de tecnologia de comunicação e informação com a organização do trabalho, de forma que os processos possam ser gerenciados de forma mais efetiva. No caso da gestão da inovação, o sistema contribuiu para que ideias sejam transformadas em resultados de forma mais eficiente.

Dado o exposto no trabalho, percebe-se que a gestão da inovação nas pequenas e micro empresas pode e deve ser estimulada, de forma a impulsioná-las a atingirem novos mercados a partir do lançamento de novos produtos ou serviços. A inovação não se trata de sorte, mas sim de um processo contínuo que exige preparo e muito estudo interno e externo à organização para que as oportunidades possam ser aproveitadas.

Pôde ser percebido que mesmo em meio a algumas questões que dificultaram a aplicação do PTec cada caso passou a ser analisado fazendo adaptações que possibilitassem melhorias significativas no desenvolvimento do projeto das organizações. Com o plano tecnológico preenchido as empresas puderam compreender melhor como deveria ser a sequência de suas atividades, bem como o motivo pelo qual aquelas atividades estavam sendo desenvolvidas, gerando assim maior conscientização da importância de serem realizadas.

O desenvolvimento das atividades junto às empresas do Programa Tecnova-MG foi desafiante. A mudança da cultura proposta encontra obstáculos na implementação, apesar de ser um modelo relativamente simples. Os principais obstáculos relatados pelas empresas dizem respeito à falta de tempo e recursos humanos para implementação. No entanto, houve empresas que se destacaram no desenvolvimento das atividades e acataram com valor a metodologia repassada. As empresas que já possuíam um Sistema de Gestão da Inovação e aproveitaram os workshops e transferência de conhecimento conseguiram robustecer seus próprios Sistemas.

A participação no Programa Tecnova-MG permitiu as empresas se atentarem para a necessidade de se adequar ao mercado competitivo mundial e da implicação de inovar de forma sistemática e regular para se tornar competitivo. A participação no Programa e a adoção do Sistema em si é apenas o início para institucionalizar a gestão da inovação. A consolidação do Sistema na empresa deve seguir um processo de aprendizado, onde o sucesso está nessa jornada. É preciso compreender que nenhum risco associado à inovação supera o risco de se abster de inovar.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro concedido ao projeto que subsidiou o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AMIGO, Carolina Román. MODELOS DE REFERÊNCIA PARA O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS:NOVAS POSSIBILIDADES DE REPRESENTAÇÃO. 2013. 258 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../CarolAmigoDEFINITIVO.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2016.
- BAGNO, R. B.; FARIA, Adriana Ferreira de. O Modelo das Duas Rodas: uma referência para o Sistema de Gestão da Inovação em Pequenas e Médias Empresas. Viçosa: Editora UFV, 2017.
- COUGHLAN, P.; COUGHLAN,. Action research action research for operations management. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.
- CORAL, E.; OGLIARI, A.; ABREU, A. F. (Org.). Gestão Integrada da Inovação: estratégia, organização e desenvolvimento de produtos. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 2009. 269 p.
- COSTA, Daniela Dutra da. A Gestão do Desenvolvimento de Produtos na Indústria de. Revista de Administração Contemporânea, Curitiba, v. 15, p.1-24, jan. 2011. Bimestral.
- EDWARDS, Tim; DELBRIDGE, Rick; MUNDAY, Max. Understanding innovation in small and medium-sized enterprises: a process manifest. Technovation, Cardiff, p.1119-1127, jan. 2005. Anual.
- Faria, A. F. Desenvolvimento de Produto. In: Faria, A. F.; Martins, D. D. S. (Editores) Introdução à engenharia de Produção. Viçosa: DEP, 2017a. Cap. 7.

Faria, A. F. Gestão da Inovação. In: Faria, A. F.; Martins, D. D. S. (Editores) Introdução à engenharia de Produção. Viçosa: DEP, 2017b. Cap. 8.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MELLO, C. H. P. et al. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. Produção, v. 22, n. 1, p. 1-13, jan./fev. 2012.

NAKAGAWA, M. H. Empresa inovadora de base tecnológica: um modelo de desenvolvimento para o contexto brasileiro. São Paulo: Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da UNiversidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção, 2008.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). Manual de Oslo - Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3ª ed. Rio de Janeiro: FINEP, 2005.

SCHERER, F. O.; CARLOMAGNO, M. S. Gestão da Inovação na prática: como aplicar conceitos e ferramentas para alavancar a inovação. São Paulo: Atlas, 2009.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SÃO PAULO (SEBRAE-SP) E INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). MPEs de Base Tecnológica: conceituação, formas de financiamento e análise de casos brasileiros. São Paulo, p. 1-71. 2001.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. Gestão da Inovação. Tradução sob a direção de Patrícia Lessa Flores da Cunha. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 600 p.

VILHA, A. M. Gestão de inovação nas empresas. Diadema: Prefeitura de Diadema, Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho, 2010.

Capítulo 14

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETRO ROBUSTO MULTIVARIADO NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO ENDURECIDO ABNT 52100 COM FERRAMENTA DE GEOMETRIA ALISADORA

Paulo Henrique da Silva Campos
João Roberto Ferreira
Anderson Paulo Paiva
Rogério Peruchi
José Henrique de Freitas Gomes
Julian Ignacio López Arcos

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETRO ROBUSTO MULTIVARIADO NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO ENDURECIDO ABNT 52100 COM FERRAMENTA DE GEOMETRIA ALISADORA

Paulo Henrique da Silva Campos (UNIFEI)

João Roberto Ferreira (UNIFEI)

Anderson Paulo Paiva (UNIFEI)

Rogério Peruchi (UNIFEI)

José Henrique de Freitas Gomes (UNIFEI)

Julian Ignacio López Arcos (UNIFEI)

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo experimental do aço ABNT 52100 endurecido com ferramenta de cerâmica mista ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$) com geometria alisadora, usando o Projeto de Parâmetro Robusto Multivariado (PPRM). A principal característica desta nova abordagem de otimização consiste em considerar um conjunto de variáveis de controle que conduzam todas as variáveis de respostas próximas de seus valores alvos e com mínima variação. Dureza e desgaste da ferramenta são variáveis de ruído do processo de torneamento duro. Para descobrir os níveis de parâmetros que minimizem a distância de cada resposta (y_i) de suas respectivas metas (T_i) enquanto mantém cada variância provocada pelas variáveis de ruído a mais baixa possível. Usando uma matriz cruzada, uma metodologia de superfície de resposta formado pela velocidade de corte (V_c), avanço (f) e profundidade de corte (a_p) é submetido à influência de quatro cenários construídos com um projeto fatorial completo 2^2 de dois fatores de ruído - dureza da superfície da peça decrescente (Z_1) e do desgaste da ferramenta (Z_2). Este arranjo experimental permite a geração de média e variância do Erro Quadrático médio (EQM) de cinco métricas de rugosidade (R_a , R_z , R_y , R_t e R_q). Como essas respostas são altamente correlacionadas, para extrair e utilizar esta informação, a Análise de Componentes Principais (ACP) foi usada. Adotando o Erro Quadrático Médio Multivariado (EQMM) como critério de otimização, uma solução robusta foi encontrada.

Palavras-chave: Torneamento Duro, Cerâmica mista alisadora, Projeto de Parâmetro Robusto Multivariado, Análise de Componentes Principais.

1. Introdução

A tecnologia de usinagem por torneamento duro tornou-se um importante processo de fabricação e é amplamente utilizado em uma gama de aplicações industriais, tais como engrenagens, eixos, rolamentos, cames, peças forjadas, moldes e matrizes, (BOUACHA et. al, 2010). Trata-se da remoção de materiais cuja dureza é superior a 45 HRC. A operação de torneamento é realizada com materiais de ferramentas avançadas, por exemplo, cerâmica mista ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$), nitreto de boro cúbico (CBN), que induz um benefício significativo, tais como curto tempo de corte, flexibilidade do processo, baixa rugosidade da peça, alta taxa de remoção de material, precisão dimensional e usinagem sem fluido de corte. É também de referir que este processo aproveita a capacidade de movimento de máquinas-ferramentas modernas, que permitem produzir diferentes geometrias de contorno e gerar formas complexas na peça que está sendo usinada (GAITONDE et. al, 2009).

O uso de ferramentas com geometria alisadora permite uma taxa de avanço muito maior quando comparado com as ferramentas tradicionais (SINGH, 2007). Com esta modificação na geometria, é possível dobrar o avanço, aumentando a produtividade e mantendo a rugosidade da peça. Al Ahmari (2007) observou que ferramenta alisadora conhecida como geometria Wiper é empregada no torneamento duro, pois resulta em uma melhoria substancial do acabamento da peça mantendo-se a rugosidade R_a abaixo de $0,4 \mu\text{m}$.

Gaitonde et al. (2009), estudaram os efeitos dos parâmetros de corte em uma operação de torneamento duro (aço AISI D2). Neste estudo observou-se os efeitos da profundidade de corte sobre a rugosidade da peça e o desgaste da ferramenta usando modelos matemáticos de segunda ordem. Utilizando ferramentas de cerâmica mista (Sandvik classe CC650, com raio convencional), (classe CC650WG, Wiper) e (classe GC6050WH, Wiper) confirmou que a cerâmica mista alisadora apresentou melhores rugosidades da peça e maior vida, quando comparada com uma ferramenta convencional no torneamento duro do aço AISI D2.

No entanto, os potenciais benefícios promovidos pelo torneamento duro para a qualidade da superfície e o aumento da taxa de produtividade dependem intrinsecamente de uma configuração ideal para os parâmetros do processo como a velocidade de corte (V_c), a taxa de avanço (f) e profundidade de corte (a_p). Esses parâmetros são diretamente responsáveis por muitas das respostas de usinagem previsíveis como o desgaste da ferramenta, custo da ferramenta, acabamento da peça e a quantidade de material removido (SINGH, 2007).

Além disso, todas as obras acima referidas estão relacionadas apenas com o uso da metodologia de superfície de resposta para a modelagem dos valores médios das respostas de usinagem, negligenciando, neste caso, o efeito que os fatores de ruído podem provocar no desempenho deste processo. Este efeito pode ser matematicamente expresso como uma equação da variância.

Assim, considerando que o valor médio ($\hat{\mu}$) das respostas de usinagem deva atingir o seu objetivo (θ) enquanto a variância ($\hat{\sigma}^2$) é simultaneamente reduzida, uma superfície de resposta dual (SRD) é geralmente considerada para atingir os objetivos propostos em cada característica de qualidade. Esta tarefa é realizada através da construção de uma superfície de resposta para a média, variância ou, alternativamente, pela sua combinação, chamada de Erro Quadrático Médio (EQM). De acordo com Lin e Tu (1995) a minimização do EQM pode ser considerada uma estratégia de otimização eficiente para Projeto Robusto de Parâmetros. Em termos matemáticos, o EQM combina a superfície de resposta para $\hat{\mu}$ e $\hat{\sigma}^2$ como:

$$EQM = (\hat{\mu} - \theta)^2 + \hat{\sigma}^2 \quad (1)$$

Alternativamente, supondo que o EQM pode ser calculado com os resultados experimentais para cada corrida experimental na metodologia de superfície de resposta, pode-se estabelecer um modelo para o EQM diretamente. A Eq. (1) representa o Erro Quadrático Médio de uma única saída. Mas considere agora que os processos de usinagem de aço endurecido têm muitas características a serem melhoradas. Então, a otimização dupla descrita pela Equação 1 não é suficiente para promover soluções para todo o conjunto de características. Estendendo do critério EQM para otimizar múltiplas respostas, K ksoy e Yalcinoz (2008) propuseram a aglutinação do Erro Quadrado Médio de cada resposta usando uma soma ponderada ou a escolha do EQM da resposta mais importante como função objetivo, enquanto os restantes são mantidos como restrições.

Apesar de eficiente, este método ignora a correlação que os vários meios e as variações podem exibir. A presença de correlação pode causar instabilidade do modelo, a falta de ajuste das equações de predição é uma imprecisão sobre os coeficientes de regressão. Isto significa que as equações de regressão não são adequadas para representar uma função objetivo global, sem considerar a estrutura de variância-covariância entre as várias respostas (CHIAO, 2001). Algumas abordagens de otimização preocupadas com a correlação entre as várias respostas

foram recentemente estabelecidas, mas eles não são capazes de tratar a superfície de resposta dual, (Liao, 2005).

Portanto, como a maior parte dos processos de usinagem apresenta um grande conjunto de respostas correlacionadas que são geralmente influenciados por variáveis de ruído, neste trabalho vamos propor um método de otimização multiobjetivo para funções correlacionadas baseado no conceito de média de várias variáveis (Paiva et al. 2009).

Usando uma matriz cruzada, uma metodologia de superfície de resposta formada pela velocidade de corte (V_c), taxa de avanço (f) e profundidade de corte (a_p) é submetida à influência de vários cenários construídos com um planejamento fatorial completo de dois fatores de ruído: dureza da peça ($Z1$) e do desgaste da ferramenta ($Z2$). Este arranjo experimental permite a geração de média, variância e do Erro Quadrático Médio (EQM) para cinco métricas de rugosidade da peça (R_a , R_z , R_y , R_t e R_q).

Como essas respostas são altamente correlacionadas, essas informações podem ser extraídas usando a Análise de Componentes Principais (ACP) e irá integrar a função EQMM. Esta abordagem será chamada Projeto de Parâmetro Robusto Multivariado (PPRM) que tem como objetivo propor um novo algoritmo de otimização de múltiplas respostas duais que considere a presença de variáveis aleatórias de ruído na determinação de um Projeto de Parâmetro Robusto Multivariado, gerando uma solução de compromisso entre as variáveis de resposta. Ou seja, encontrar um conjunto de variáveis de controle que levem todas as variáveis de resposta próximas de seus valores alvos e com mínima variação.

2. Otimização de múltiplas respostas baseadas na análise de componentes principais

Em se tratando de processos ou produtos que possuam múltiplos atributos de qualidade, é sempre difícil se encontrar um conjunto de parâmetros ótimos para todas as características de interesse a partir da otimização individual de cada função de transferência pré-estabelecida. Além deste tipo de otimização ser de eficácia improvável, as inter-relações entre as várias características podem levar a análise univariada a conclusões equivocadas e sem sentido (WU, 2005).

A existência de correlações entre as várias respostas de um conjunto exerce uma forte influência sobre as funções de transferência utilizadas para representar as características de qualidade. Como o modelo matemático é extremamente importante para a determinação do ponto de ótimo, a negligência da estrutura de correlação pode conduzir a pontos de ótimo

inapropriados, fruto de uma inadequação do método dos mínimos quadrados ordinários (BRATCHELL, 1989). A maioria dos estudos nesse sentido passa pela consideração adequada das estruturas de correlação entre as respostas antes que se construam os modelos dos processos.

A Análise de Componentes Principais, ou simplesmente ACP (Principal Component Analysis), é uma técnica estatística multivariada criada por Hotelling (1933) e que se dedica à explicação da estrutura de variância-covariância existente em um conjunto de dados, utilizando-se combinações lineares das variáveis originais. Segundo Johnson e Wichern (2002), seus objetivos principais são: a redução de dimensionalidade e a interpretação de dados.

Embora p componentes sejam necessários para se reproduzir a variabilidade total de um sistema de interesse, geralmente, a maior parte desta variabilidade pode ser representada por um pequeno número k de componentes principais. Isto quer dizer que existe quase tanta informação em k componentes principais que nas p variáveis originais. A idéia geral da ACP é, portanto, que k componentes principais podem substituir, sem perda considerável de informação, as p variáveis originais. O conjunto original de dados, consistindo de n medições das p variáveis, é reduzido para um conjunto posterior formado por n medições de k componentes principais.

Por vezes é útil escrever as combinações lineares na forma de escores dos componentes principais. Em muitas aplicações, a matriz de variáveis padronizadas está representada pelas p colunas das características estudadas, em cada uma das suas n observações. Assim, na prática é mais comumente empregada a matriz transposta de Z .

Os métodos mais utilizados para se estimarem o número de componentes principais significantes são aqueles baseados nos critérios de Kaiser (JOHNSON & WICHERN, 2002). De acordo com esses critérios, o autovalor do componente principal deve ser maior que um para representar o conjunto original. Além disso, a variância acumulada explicada deve ser superior a 80%. Estes critérios são adequados quando utilizados com uma matriz de correlação. Caso contrário, a matriz de covariância somente poderá ser utilizada para um conjunto original de repostas escritas em alguma escala.

3. Gradiente reduzido generalizado

Para resolver problemas de otimização Não-Lineares (Nonlinear Problem – NLP), diversos métodos são conhecidos. De acordo com Köskoy e Doganaksoy (2003), o algoritmo denominado Gradiente Reduzido Generalizado (Generalized Reduced Gradient – GRG) é o que apresenta maior robustez, visto que é apropriado para resolução de uma vasta variedade de problemas, e com maior eficiência entre os métodos de otimização de restrições não lineares disponíveis. Este será o método adotado no presente trabalho.

O método GRG é conhecido como um método primal e frequentemente chamado de método da direção viável, apresentando, segundo Luenberger (1989), três significantes vantagens: (i) se o processo termina antes da confirmação do ótimo, o último ponto encontrado é viável devido ao fato de que cada ponto gerado no processo de pesquisa é viável e provavelmente próximo do ótimo; (ii) se o método gera uma sequência convergente, o ponto limite garante, pelo menos, um mínimo local; (iii) a maioria dos métodos primais são geralmente absolutos, não dependendo de uma estrutura especial, tais como a convexidade.

A expressão “gradiente reduzido” vem da substituição das restrições na função objetivo, diminuindo, então, o número de variáveis e, conseqüentemente, reduzindo o número de gradientes presentes (NASH e SOFER, 1996).

4. Projeto de parâmetro robusto multivariado-PPRM

Um problema de otimização multiobjetivo, também considerando restrições de desigualdade, pode ser declarado como Equação 2.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_p(\mathbf{x}) \\ & \text{Sujeito a:} \quad g_j(\mathbf{x}) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (2)$$

Suponha que $f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_p(\mathbf{x})$ estão correlacionados com os valores escritos em termos de um vetor aleatório $Y^T = [Y_1, Y_2, \dots, Y_p]$. Supondo-se que Σ é a matriz de variância-covariância associados a este vetor, então Σ pode ser fatorado em pares de autovalores-autovetores $(\lambda_i, e_i), \dots, (\lambda_p, e_p)$ onde $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ tais como a i-th combinação linear não correlacionadas pode ser declarado como $PC_i = e_i^T Y = e_{1i}Y_1 + e_{2i}Y_2 + \dots + e_{pi}Y_p$ com

$i = 1, 2, \dots, p$ (JOHNSON e WICHERN, 2002).. Esta combinação não correlacionada linear é chamada de pontuação da componente principal e pode ser obtida usando ACP. Este algoritmo está disponível em muitos pacotes estatísticos. No Minitab, por exemplo, os escores dos componentes principais podem ser armazenados diretamente em uma coluna da planilha. Segundo Campos et. al (2012), relacionando esses conceitos com a abordagem PPRM acima discutidos, vamos supor que o conjunto de dados múltiplos calculados EQM_{ij} pode ser substituído por esta combinação não correlacionadas linear. Então, uma função multiobjetivo pode ser escrita agregando as várias respostas em um índice exclusivo, enquanto mantém sua estrutura de variância-covariância e os desvios individuais de cada alvo. Neste ponto, vamos utilizar o conceito EQMM.

O Erro Médio Quadrático Multivariado (EQMM) é um critério de superfície de resposta multivariada dupla desenvolvida pela substituição da média $\hat{y}$ estimada por uma regressão de pontuação do componente principal (CP_i) e a variância $\hat{\sigma}^2$ estimada pelos respectivos autovalores λ_i . Tomando como alvo ξ_{PC_i} para o componente i-ésima i-th principal, uma formulação de Erro Quadrático Médio Multivariado pode ser definido como:

$$EQMM_i = (CP_i - \xi_{PC_i})^2 + \lambda_i \quad (3)$$

Na Eq. (3), CP_i é o polinômio de segunda ordem equipado para pontuação da componente principal, ξ_{PC_i} é o valor-alvo de componentes principais, i-ésimo, que deve manter uma relação direta com as metas do conjunto de dados original. Essa relação pode ser estabelecida usando Equação 4, tais como:

$$\xi_{PC_i} = e_i^T \left[Z(Y_p | \xi_{Y_p}) \right] = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q e_{ij} \left[Z(Y_p | \xi_{Y_p}) \right] \quad i = 1, 2, \dots, p \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (4)$$

Na eq. (4), e_i são os autovetores associados ao componente i-ésima principal e ξ_{Y_p} representa a meta para cada uma das respostas p original. Com esta transformação, pode ser estabelecido um valor coerente para o alvo do componente i-ésima principal, que é compatível com as metas do problema original.

Supondo agora que $Y_p = EQM_p = (\mu_p - \theta)^2 + \sigma_p^2$. Então, se mais de um componente principal será necessário, usando as funções EQMM cujos autovalores são iguais ou maiores que a unidade, que pode ser um problema multiobjetivo devera ser escrito da seguinte forma:

$$\text{Minimize } EQMM_T = \left[\prod_{i=1}^k (EQMM_i | \lambda_i \geq 1) \right]^{\left(\frac{1}{k}\right)} = \left\{ \prod_{i=1}^k [(CP_i - \xi_{PC_i})^2 + \lambda_i | \lambda_i \geq 1] \right\}^{\left(\frac{1}{k}\right)} \quad (5)$$

$i = 1, 2, \dots, k; \quad k \leq p$

$$\text{Sujeito a: } \mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq \rho^2$$

Para um melhor entendimento do método e da maneira como as diversas rotinas devem ser construídas, propõe-se os seguintes procedimentos:

1. Calcular média e variância para cada métrica $(\hat{y}_i)$ da rugosidade da peça obtida com uma matriz cruzada.
2. Estabelecer as equações para $(\hat{y}_i)$ com a utilização dos dados experimentais calculados e um modelo completo quadrático.
3. Estabelecer as metas (θ_i) de sua rugosidade, utilizando a minimização restrita de cada equação de superfície individualmente.
4. Com as metas da etapa 3, calcular cada EQMi, como $EQM_{ij} = (\hat{y}_{ij} - \theta_i)^2 + \hat{\sigma}_{ij}^2$ e construir um modelo completo quadrático para cada um.
5. Estabelecer as metas para EQMi (θ_i^*) , usando a minimização restrita para cada equação de superfície de resposta ajustada individualmente.
6. Conduzir a Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando a matriz de correlação de, armazenando o escores-CP cuja variância explicada é de pelo menos 80% e os autovalores e autovetores respectivos.
7. Compilação completa de modelos quadráticos para os PC-escores de cada componente que deve ser mantido na análise

8. Estabelecer as metas para os PC-escores usando $\xi_{PC_i} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q e_{ij} [Z(EQM_p | \xi_{Y_p})]$.

9. Usando o algoritmo GRG, minimizar $\left\{ \prod_{i=1}^k \left[(PC_i - \xi_{PC_i})^2 + \lambda_i | \lambda_i \geq 1 \right] \right\}^{\left(\frac{1}{k}\right)}$ usando como restrições a região experimental e outras restrições que o experimentador julgar necessárias, tais como a taxa de remoção de material (MRR), por exemplo.

5. Planejamento do experimento

O levantamento dos dados é uma atividade muito importante na execução do trabalho. Um banco de dados mal elaborado pode conduzir a resultados insatisfatórios ou deficientes. Desta forma, é extremamente importante o planejamento detalhado do experimento, bem como sua adequada execução e registro.

As variáveis de controle adotadas para esse procedimento foram: velocidade de corte (Vc), taxa de avanço (f) e profundidade de corte (ap). Estas variáveis são reconhecidamente as mais importantes, uma vez que influenciam fortemente o processo de torneamento, principalmente o acabamento da peça e o desgaste de ferramenta. Os ruídos adotados para este trabalho foram: redução da dureza do material e o desgaste da ferramenta, tendo como variáveis de resposta as cinco métricas de rugosidade.

Um conjunto sequencial de corridas experimentais foi criado usando um arranjo composto central (CCD) construído de acordo com a Tabela 5.1. A influência de dois fatores de ruído (dureza da peça e desgaste da ferramenta), mostrados na Tabela 5.2, onde cada experimento com os fatores controláveis no arranjo composto central foram executados em um cenário diferente. Estes cenários que caracterizam a matriz externa foram projetados de acordo com o fatorial completo. A primeira condição experimental do arranjo externo foi conduzida com diâmetros reduzidos, oriundos dos diversos passes de torneamento realizado. Nesta condição, a dureza do material diminui significativamente, atingindo uma dureza de 40 HRC, aproximadamente. As peças foram, então, torneadas com uma nova ferramenta de corte (VBmax = 0,00mm). A segunda condição de ruído foi conduzida em corpos de prova de diâmetro total com ferramentas de corte novas, atingindo uma dureza de 50 HRC, cuja rugosidade da peça foi medida ao final de cada passe. As demais condições foram conduzidas utilizando-se ferramentas usadas (VBmax = 0,30mm) e peças com diâmetro total e diâmetro reduzido.

Inicialmente, foram definidos quais valores seriam adotados para cada nível das variáveis de controle e de ruído consideradas neste trabalho. Esta definição é importante para que não

sejam adotados valores que inviabilizem a execução do experimento ou que resultem em condições inseguras para sua execução. Para tanto, são consideradas algumas informações de catálogo da máquina, da ferramenta e do material que será usinado. Os valores arbitrados para cada nível das variáveis de controle consideradas neste trabalho estão descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Variáveis de controle.

Variáveis de Controle	Níveis				
	-1,682	-1	0	1	1,682
V_c (m/min)	186,4	200	220	240	253,6
f (mm/v)	0,132	0,20	0,30	0,40	0,468
a_p (mm)	0,099	0,150	0,225	0,300	0,351

A Tabela 5.2 indica as variáveis de ruído selecionadas para o trabalho, bem como os seus níveis adotados.

Tabela 5.2 – Variáveis de ruído selecionadas

Fatores de Ruído	Símbolo	-1	+1
Dureza (HRC)	Z_1	40	50
Desgaste (mm)	Z_2	Nova ($VB_{\max}=0,00$ mm)	Desgastada ($VB_{\max}=0,30$ mm)

5.1. Máquinas, Materiais, Ferramentas e Instrumento de Medição

Para cumprir com os objetivos deste trabalho, usinagem a seco do aço ABNT 52100, foram realizados em um torno CNC Nardini Logic 175, com velocidade de rotação máxima de 4.000 rpm e potência de corte de 5,5 kW.

O desgaste de flanco das ferramentas foi medido através de um microscópio óptico (ampliação 40 vezes). As condições de ruído foram utilizadas para simular fenômenos gerais que ocorrem quando se realiza quaisquer operações de torneamento, reproduzindo, de certa forma, a perda de dureza do material da peça simultaneamente com o desgaste da ferramenta.

Obviamente, nestas condições, o valor de rugosidade da peça sofrerá algum tipo de variação, independentemente da configuração de controle. Assim, o objetivo principal do Projeto de Parâmetro Robusto Multivariado é descobrir os parâmetros de configuração de controle capaz de alcançar uma rugosidade reduzida, com variação mínima.

As peças de trabalho usadas no processo de usinagem foram feitas com dimensões de Ø 49 milímetros $\times$ 50 mm. Todos eles foram previamente temperados e revenidos. Após este tratamento térmico, a dureza era entre 49 e 52 HRC, até uma profundidade de três milímetros abaixo da superfície. O porta-ferramenta utilizado nos experimentos apresentou uma geometria negativa com código ISO DCLNL 1616H12 e com ângulo $\chi_r = 95^\circ$.

Durante os ensaios utilizou-se ferramentas de cerâmica mista alisadora ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$), geometria ISO CNGA 120408 S01525WH revestida com uma camada de nitreto de titânio (TiN). Esta ferramenta é indicada para operações de acabamento em aços endurecidos e ferros fundidos endurecidos onde a combinação de resistência ao desgaste e boas propriedades térmicas são necessárias. Esta geometria está fundamentada na concordância de três círculos circunscritos na ponta da ferramenta que acrescenta à ferramenta o efeito alisador, a partir do qual uma mesma condição de corte pode melhorar em duas vezes o acabamento, quando comparado com ferramentas convencionais. A particularidade desta ferramenta é a geometria diferenciada no raio de ponta, que possibilita acabamentos melhores para um mesmo avanço e igual para avanços superiores.

Na Figura 5.1 é mostrado o processo de torneamento e na Fig. (5.2) a peça utilizada no experimento.

Figura 5.1 - Processo de torneamento duro

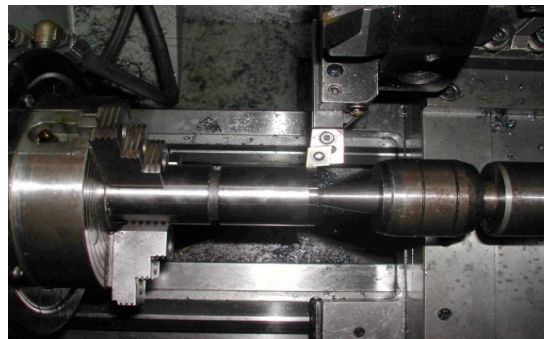
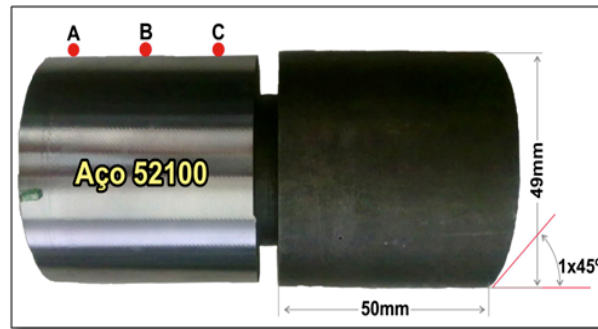


Figura 5.2 - Corpo de prova do aço ABNT 52100



O material das peças utilizadas foi o aço ABNT 52100, com a composição química descrita na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Composição do aço ABNT 52100

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
1,03%	0,23%	0,35%	1,40%	0,04%	0,11%	0,00%	0,01%

As medições de rugosidade foram realizadas sempre quatro vezes nos pontos (A, B, e C), conforme esquema ilustrado na Figura 5.2. Após as medições de rugosidade foram realizadas as medidas das médias e variâncias dos valores de rugosidade. Para monitoramento do desgaste da ferramenta foi medido o tempo e o número de passes em cada rodada dos 19 experimentos realizados.

Para a obtenção dos valores de rugosidade de cada corpo de prova, após o torneamento e resfriamento dos mesmos, foi utilizado um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo Surftest SJ-201P. Os valores medidos para as variáveis de resposta R_a , R_y , R_t , R_z e R_t foram obtidos simultaneamente, durante o percurso da unidade de avanço e posteriormente registrados em planilha eletrônica.

6. Resultados e Discussão

Através do planejamento experimental discutido anteriormente e dos valores medidos para as variáveis de resposta escolhidas, inicia-se a análise dos resultados em busca do projeto robusto para múltiplas variáveis.

A análise dos resultados foi dividida em três etapas consecutivas e independentes. A primeira etapa trata do processo de modelagem de todas as variáveis de resposta medidas ou calculadas neste trabalho. Foram utilizadas a metodologia de superfície de resposta (MSR) e o método de

Análise de Componentes Principais (ACP). A segunda etapa trata do processo de otimização das variáveis de resposta visando um projeto de parâmetro robusto do processo em questão e a terceira etapa os experimentos de confirmação.

6.1. Modelagem das Variáveis de Resposta

A execução dos experimentos conforme o planejamento anteriormente discutido gerou o banco de dados para o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente foi executado um pré-processamento dos valores medidos para as variáveis de rugosidade dos corpos de prova. Esta atividade de pré-processamento tinha como objetivo evitar que possíveis erros de medição e transcrição dos dados prejudicassem sua análise.

A Tabela 6.1 apresenta o arranjo experimental com dezenove rodadas em quatro condições de ruído, sendo uma superfície de resposta com cinco pontos centrais e seis pontos axiais, adotando ($p = 1,633$). As respostas das quatro medidas de rugosidades Ra1, Ra2, Ra3 e Ra4 foram conseguidas medindo quatro vezes em três pontos diferentes da peça. De cada peça obteve-se doze medidas. No total de dezenove experimentos para cada peça foram feitas novecentos e doze medidas. A partir daí obteve-se a média, variância e o Erro Quadrático Médio (EQM), que foi calculado através da Equação 1.

Tabela 6.1 – Resultados de Ra: arranjo cruzado, fatores controlados e ruído.

			-1	1	-1	1	Z ₁	Fatores de ruído	
			-1	-1	1	1	Z ₂		
Fatores Controláveis			Replicações				Propriedades		
V _c	f	a _p	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}	Média	Variância	EQM
-1,000	-1,000	-1,000	0,225	0,153	0,288	0,243	0,227	0,003194	0,003493
1,000	-1,000	-1,000	0,233	0,219	0,383	0,292	0,281	0,005530	0,010637
-1,000	1,000	-1,000	0,485	0,388	0,432	0,320	0,406	0,004879	0,043312
1,000	1,000	-1,000	0,463	0,382	0,465	0,236	0,386	0,011554	0,042618
-1,000	-1,000	1,000	0,252	0,177	0,339	0,252	0,255	0,004414	0,006420
1,000	-1,000	1,000	0,252	0,173	0,260	0,260	0,236	0,001775	0,002464
-1,000	1,000	1,000	0,526	0,357	0,408	0,327	0,404	0,007692	0,045393
1,000	1,000	1,000	0,445	0,412	0,383	0,303	0,386	0,003662	0,034506
-1,682	0,000	0,000	0,338	0,373	0,289	0,290	0,322	0,001631	0,014240
1,682	0,000	0,000	0,369	0,358	0,256	0,266	0,312	0,003567	0,014030

0,000	-1,682	0,000	0,167	0,095	0,365	0,219	0,211	0,013068	0,013070
0,000	1,682	0,000	0,508	0,534	0,445	0,396	0,471	0,003903	0,071937
0,000	0,000	-1,682	0,378	0,349	0,283	0,311	0,330	0,001749	0,016249
0,000	0,000	1,682	0,413	0,416	0,259	0,318	0,351	0,005847	0,025799
0,000	0,000	0,000	0,348	0,298	0,355	0,285	0,321	0,001222	0,013645
0,000	0,000	0,000	0,378	0,294	0,296	0,273	0,310	0,002138	0,012138
0,000	0,000	0,000	0,321	0,308	0,293	0,267	0,297	0,000543	0,008163
0,000	0,000	0,000	0,339	0,290	0,273	0,263	0,291	0,001159	0,007726
0,000	0,000	0,000	0,343	0,322	0,306	0,229	0,300	0,002466	0,010566

A partir dos dados da Tabela 6.1 realizou-se a análise de variância (ANOVA) que consiste de um teste para comparar médias do fatorial completo, para os três fatores e dois níveis (2^3), com cinco pontos centrais, para a resposta rugosidade Ra.

De acordo com o procedimento 2, que estabelece as equações para $\hat{y}_i$ utilizando os dados experimentais calculados do modelo completo, obtém-se os respectivos coeficientes e R_2 ajustados para cada uma das equações tendo a taxa de avanço como fator mais importante na explicação do comportamento da rugosidade.

Considerando-se então de acordo com o procedimento 3, utilizando-se a minimização restrita de cada equação, tendo os modelos quadrático total, um sistema de otimização não-linear deve ser aplicado pelo fato da dificuldade em otimizar a variância. A Equação 6 pode ser implementada onde serão encontrados os alvos, usando como algoritmo de solução o GRG, disponível no pacote Microsoft Excel Solver.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \hat{y}_i \\ & \text{Sujeito a: } \mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq \rho^2 \quad \hat{\sigma}_{ij}^2 \geq 0.001 \end{aligned} \quad (6)$$

Alvos: $R_a=0,210$ (μm) $R_z=1,311$ (μm) $R_t=1,504$ (μm) $R_y=1,453$ (μm)
 $R_q=0,283$ (μm)

Com os alvos já estabelecidos, o procedimento 4 será calcular cada EQM_i para que seja comparados os valores encontrados com os valores alvo (θ_i). Após a obtenção dos valores $\hat{y}_{ij}$, θ_i e $\hat{\sigma}_{ij}^2$, calcula-se o EQM, tal como:

$$EQM_{ij} = (\hat{y}_{ij} - \theta_i)^2 + \hat{\sigma}_{ij}^2. \quad (7)$$

A partir dos valores encontrados de cada EQM, foi construído um modelo quadrático completo através da Metodologia de Superfície de Resposta para cada EQM. Foram encontrados os valores e os alvos dos Componentes Principais utilizando o software Minitab. De acordo com o procedimento 5, foi estabelecido as metas para EQMi usando a minimização restrita para cada equação de superfície de resposta. O valor-alvo encontrado para cada EQMi foi obtido com a minimização restrita descrita pelas Equação 8.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } EQM_i \\ & \text{Sujeito a: } \mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq \rho^2 \quad EQM_j \geq 0.001 \quad i \neq j \end{aligned} \quad (8)$$

De acordo com o procedimento 6, que foi a condução de ACP utilizando a matriz de correlação e de acordo com o procedimento 7 que foi a compilação completa de modelos quadráticos para os escores dos componentes principais.

Os dois primeiros componentes principais representam 99,0% da variância do EQMi com respectivos autovalores $\lambda_1 = 4,672$ e $\lambda_2 = 0,276$. Em termos práticos, os escores dos componentes principais (CP1(EQM); CP2 (EQM)) são calculados.

Usando a relação $\xi_{PC_i} = \sum_{t=1}^p \sum_{j=1}^q e_{ij} [Z(Y_p | \xi_{Y_p})]$ e os valores mínimos de otimização individual de EQMi podemos concluir o procedimento 8, que é estabelecer as metas dos componentes principais para os escores dos componentes principais, que foram calculados e encontrados estes valores: $\xi_{PC_1} = -2,1652$ e $\xi_{PC_2} = 0,1502$.

A minimização da distância entre cada componente principal e seus respectivos alvos pode levar a uma solução de compromisso que atende as metas de todas as cinco respostas correlacionadas.

6.2. Otimização

Após a definição dos modelos matemáticos que representam as variáveis de resposta do processo, inicia-se a etapa de otimização. Esta etapa tem como objetivo determinar quais são os valores que as variáveis de controle devem assumir de modo que os valores alvos das

variáveis de resposta sejam atingidos, com mínima variação, independente da condição de ruído a que o processo é submetido.

Adotando estes aspectos e de acordo com o procedimento 9, que consiste em minimizar o EQMM usando um algoritmo GRG, um sistema de otimização não-linear pode ser escrita em termos do Erro Quadrado Médio Multivariado utilizando, além disso, uma restrição esférica para os níveis do fator. Esta restrição, $\rho^2 = 2,667$ forçará a solução a permanecer dentro da região experimental. Recolhendo as informações anteriores em um sistema de otimização abrangente, é possível escrever as seguintes expressões:

$$\text{Minimize} \quad EQMM_T = \sqrt{\left[(CP_1 - \zeta_{PC_1})^2 + \lambda_1 \right] \times \left[(CP_2 - \zeta_{PC_2})^2 + \lambda_2 \right]} \quad (9)$$

$$\text{Sujeito a :} \quad \mathbf{x}^T \mathbf{x} \leq \rho^2 = Vc^2 + f^2 + ap^2 \leq 2.667 \quad (10)$$

$$\text{Com} \quad \zeta_{PC_i} = e_{1i} \left[Z(EQM_1 | \zeta_{EQM_1}) \right] + e_{2i} \left[Z(EQM_2 | \zeta_{EQM_2}) \right] + e_{3i} \left[Z(EQM_3 | \zeta_{EQM_3}) \right] + e_{4i} \left[Z(EQM_4 | \zeta_{EQM_4}) \right] + e_{5i} \left[Z(EQM_5 | \zeta_{EQM_5}) \right] \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, p. \quad PC_i = b_{0i} + \left[\nabla f(\mathbf{x})^T \right]_i + \left\{ \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \left[\nabla^2 f(\mathbf{x}) \right] \mathbf{x} \right\}_i \quad (12)$$

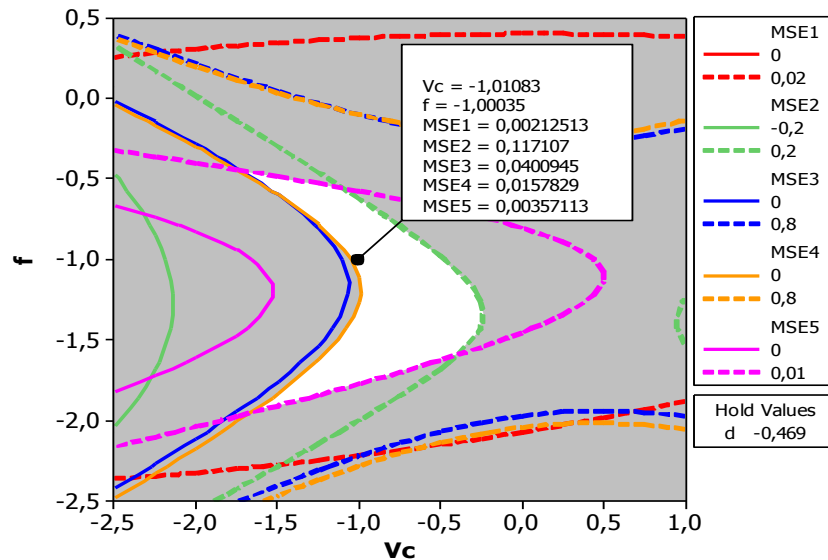
Onde $\mathbf{x} = [Vc, f, ap]$ são valores numéricos das metas padronizadas $Z(EQM_i | \zeta_{EQM_i})$, e os autovetores e_{ij} são os valores numéricos.

A Figura (6.1) mostra a melhor solução encontrada com PPRM em unidades codificadas. É possível verificar que esta solução (-1,005; -1,087; -0,469) atende a todas as restrições impostas aos valores para o valor individual de EQM. Em unidades não codificadas, esta solução é $Vc = 199,9$ m/min, $f = 0,191$ mm/v e $ap = 0,190$ mm. Pode-se notar que empregando a abordagem PPRM, a variabilidade é extremamente reduzida, indicando que o algoritmo conseguiu um ponto de ótimo, o que representa uma solução de compromisso para médias e variâncias, mantendo as respostas o mais próximo possível dos seus objetivos. Também pode ser notado que este é diferente do obtido com a otimização individual.

O sentido físico dos resultados mencionados deve ser discutido para verificar a sua consistência e para melhor compreensão e aplicação da metodologia para os pesquisadores em usinagem ou outros sistemas de manufatura. A rugosidade da peça é a grandeza que quantifica o grau de acabamento. Está diretamente relacionado com a geometria da ferramenta e com parâmetros de usinagem.

Portanto, considerando as consequências físicas da configuração otimizada obtida com a abordagem PPRM, acreditamos que $V_c = 199,9$ m/min, $f = 0,191$ mm/v e $a_p = 0,190$ mm é uma configuração adequada para a operação de acabamento da superfície do aço ABNT 52100.

Figura 6.1 - Gráfico de Contorno Sobreposto para cada EQM.



Para comparar o desempenho das ferramentas de cerâmica mista alisadora e a de geometria convencional obtidos neste estudo, vamos utilizar os dados presentes em Paiva et al. 2009.

Usando o método EQMM e uma ferramenta de cerâmica mista (Al_2O_3+TiC), código ISO CNGA 120408 S01525 (Sandvik classe CC6050) obtivemos um $R_a = 0,40$ μm , com uma taxa respectiva de remoção de material (Q) de $6,43$ cm^3/min no torneamento de aço endurecido ABNT 52100 (53-55 HRC). Estes valores foram obtidos com uma $V_c = 217,7$ m/min, $f = 0,086$ mm/v e $a_p = 0,342$ mm.

Com ferramentas alisadoras na usinagem do mesmo material, pode-se usar uma $V_c = 199,9$ m/min, $f = 0,191$ mm/v e $a_p = 0,190$ mm, isto é, uma taxa de avanço (f) duas vezes maior, com uma menor rugosidade ($R_a = 0,228$ μm). Além disso, a produtividade obtida com a ferramenta alisadora é 12% mais alta que os valores obtidos com a ferramenta convencional ($Q = 7,43$ cm^3/min).

Mesmo aumentando os valores de Q , a rugosidade R_a ainda apresenta valores consideravelmente baixos se comparado com o valor de rugosidade R_a obtido em (PAIVA et al, 2009).

Além disso, os melhores resultados de rugosidade R_a e remoção de material dizem respeito à influência da diminuição da variância dos fatores de ruído sobre o desempenho das características de interesse.

6.3. Experimentos de Confirmação

Para analisar a eficácia da configuração ideal encontrada com a abordagem PPRM e confirmar as conclusões do estudo de simulação, um conjunto de experimento de confirmação foi realizado, transformando quatro peças de trabalho para cada uma das quatro condições de ruído. As cinco métricas de rugosidade da superfície foram medidas doze vezes em três pontos diferentes da peça, resultando em um conjunto de dados de 192 observações de cada estado de acabamento da superfície. O principal objetivo desta confirmação é verificar se a variação da rugosidade da peça é mínima, com seus valores médios tão perto quanto possível das metas estabelecidas.

7. Conclusões

- A otimização do processo com base na abordagem Projeto de Parâmetro Robusto multivariado (PPRM) em situações em que as múltiplas respostas apresentam um moderado a elevado grau de correlação, mostrou uma adequação consistente aplicado ao torneamento duro do aço ABNT 52100 com ferramenta de cerâmica alisadora.
- Os resultados de confirmação permitem afirmar que a abordagem PPRM supera as rotinas de otimização individual, com variação mínima para cada métrica de rugosidade. A diferença em relação a média de cada resposta também é extremamente reduzida, com a abordagem PPRM, indicando que o algoritmo conseguiu um ponto de ótimo que representa uma solução de compromisso para médias e variâncias, mantendo as respostas o mais próximo possível dos seus objetivos.
- Na estrutura de correlação das rugosidades, a primeira componente principal foi responsável pela maioria dos valores de variância-covariância nos dados originais associados com as cinco métricas de rugosidade da peça.
- A Otimização simultânea das cinco métricas de rugosidades (R_a , R_z , R_t , R_y e R_q), foi obtida com uma velocidade de corte de $V_c = 199$ m/min, taxa de avanço de $f = 0,191$ mm/v e profundidade de corte de $a_p = 0,190$ mm.

- Para todas as respostas estudadas, os valores médios de rugosidade são baixos e a sua variância foi extremamente reduzida.

- No processo de transformação do aço ABNT 52100 com pastilhas de cerâmica mista alisadora, a primeira componente principal foi responsável pela maioria dos presentes de variância-covariância nos dados originais associados com as cinco métricas de rugosidade da superfície. O segundo componente foi utilizado como uma alternativa para melhorar a explicação do comportamento rugosidade da superfície das peças usinadas.

Agradecimentos

À CAPES, CNPq e FAPEMIG pelos recursos dispensados para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Al-Ahmari AMA., 2007, “Predictive machinability models for a selected hard material in turning operations”, J Mater Process Technol, 190:311-305.

Bouacha,K.,Yallese, MA.,Mabrouki.,Rigal, JF., 2010, “Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of ABNT 52100 bearing steel with CBN tool”, Int J Refract Metals Hard Mater, 28:361-349.

Bratchell, N.,1989, “Multivariate Response Surface Modeling by Principal Components Analysis”, Journal of Chemometrics, v 3, pp. 579-588.

Campos,P.H.S., Paiva, A. P., Ferreira, J.R., Lopes, L.D.G., Paiva, E.J ., Balestrassi, P. P., 2012 , “ A multivariate robust parameter design approach for optimization of AISI 52100 hardened steel turning with wiper mixed ceramic tool”. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, v. 30, p. 152-163.

Chiao H., Hamada, M., 2001, “Analyzing experiments with correlated multiple responses”, J Qual Technol, 33:465-451.

Gaitonde, VN., Karnik, SR., Figueira, L., Davim, JP., 2009, “Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and Wiper ceramic inserts”, *Int J Refract Metals Hard Mater*, 27: 763-754.

Hotelling, H., 1933, “Analysis of a complex of statistical into principal components”, *Journal of Educational Psychology*, v. 24, pp. 417-441.

Johnson, R.A., Wichern, D.W., 2002, “Applied multivariate statistical analysis”, New Jersey: Prentice-Hall Inc, 5 ed., p. 797.

Koksoy, O., Yalcinoz, T., 2008, “ Robust design using Pareto type optimization: A genetic algorithm with arithmetic crossover”, *Computers & Industrial Engineering*, n. 55, pp. 208-218.

Liao, HC.,2005, “Multi-response optimization using weighted principal components”. *Int J Adv Manuf Technol*, 27: 725–720.

Lin, DKJ., Tu, W., 1995, “Dual response surface optimization”, *J Qual Technol*, 27: 39-34.

Luenberger, D. G., 1989, “ Linear and nonlinear programming”, Second ed, Addison Wesley, Rading, MA.

Nash, S. G., Sofer, A., 1996, “Linear and nonlinear programming. First ed. McGraw-Hill Companies Inc., p. 692.

Paiva, A. P., Paiva, E. J., ferreira, j. r., Balestrassi, P. P., Costa, S. C., 2009, “A multivariate mean square error optimization of AISI 52100 hardened steel turning”, *International Journal Adv. Manuf. Technol*, DOI 10.1007/s00170-008-1745-5.

Singh d, Rao, PV., 2007, “ A surface roughness model for hard turning process”, *Int J Adv Manuf Technol*, 32:1124-1115.

Wu, F. C., 2005, “Optimization of correlated multiple quality characteristics using desirability function”, *Quality Engineering*, v. 17, n. 1, pp. 119-126.

Organizador

Vinicius de Carvalho Paes

Atualmente é doutorando em Engenharia de Produção pela UNIFEI e pesquisador do Núcleo de Otimização da Manufatura e de Tecnologia da Inovação. Bacharel em Ciência da Computação (2008) e Mestre em Ciência e Tecnologia da Computação (2012) pela Universidade Federal de Itajubá. Possui experiência prática e profissional em gerência de projetos, gerenciamento de servidores, segurança da informação, banco de dados, *web analytics*, otimização para sistemas de busca, *web crawler*, indexação, retorno do investimento, *data mining* e inteligência artificial.

Autores

Adriana Ferreira de Faria

Possui graduação em Engenharia Química (1995), mestrado (1998) e doutorado (2002) em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia. Em 2015/2016 realizou pós-doutorado na North Carolina State University (NC State), Raleigh (USA), na área de Gestão da Inovação. Desde 2007, é professora da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica (DEP), onde atualmente é Chefe de Departamento.

Alexandre Fonseca Torres

Graduação e mestrado em engenharia de produção pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), aluno de doutorado em engenharia de produção na UNIFEI (campus Itajubá). Aluno de intercâmbio pelo Ciência sem Fronteiras na Universidade de Iowa (EUA), tendo cursado dois semestres de engenharia industrial.

Aline de Cássia Baisso

Graduada em Administração de Empresas pela Faculdade Asmec Pouso Alegre (2018). Técnico em Eletromecânica Escola Politécnica de Paraisópolis (2002).

Anderson Paulo de Paiva

Professor Associado II da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI/IEPG). Possui graduação em Engenharia Mecânica, mestrado em Engenharia de Produção e doutorado em Engenharia Mecânica (UNIFEI). Atua na área de Projeto e Análise de Experimentos, Estatística Multivariada e Métodos de Otimização.

Anna Laura Teixeira de Almeida

Bacharel em Ciências Contábeis pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Anna Paula Galvao Scheidegger

Doutoranda em Engenharia Industrial pela Texas A & M University, EUA. É graduada em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e obteve seu mestrado em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Antes disso, trabalhou para as empresas Johnson&Johnson e MAN Latin America nos departamentos de Planejamento Operacional e Gerenciamento de Projetos. Suas linhas de pesquisa incluem interação entre humanos e automação, engenharia cognitiva, gerenciamento de desastres, gerenciamento da cadeia de suprimentos, simulação de eventos discretos e pesquisa operacional.

Bruno Matos

Porto Profissional com quatro anos de experiência na área administrativa, departamento pessoal e fiscal. Graduado em Administração na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Aquidauana. Áreas de interesse de pesquisa: Previsão de Séries Temporais, Previsão de Redes Neurais.

Camila Pereira Pinto

Graduada em Administração pela FACESM - Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Sul de Minas e obteve o seu mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) na linha de pesquisa de qualidade e produto. Possui experiência em ensino aprendizagem em engenharia e trabalha com projetos focados na rastreabilidade de produtos.

Carlos Alberto de Albuquerque

Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, docente no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS. Bacharel em Matemática Aplicada à Informática e Mestre em Materiais para Engenharia pela UNIFEI. Já lecionou matemática no Ensino Básico nas redes Estadual e Municipal de Pouso Alegre. Atualmente leciona Cálculo Diferencial e Integral nos cursos de Engenharias Civil e Química no IFSULDEMINAS.

Carlos Henrique Pereira Mello

Doutor em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá, com graduação em Eng. Mecânica - ênfase em Gerência da Produção, pela Universidade Federal de Itajubá. Professor associado da Universidade Federal de Itajubá. Experiência em Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos/Serviços, Gestão da Inovação e Engenharia de Usabilidade/Fatores Humanos.

Cristiane Aparecida Gonçalves das Chagas

Graduada em Administração de Empresas pela Faculdade Asmec Pouso Alegre(2018).

Daniel Soares de Alcântara

Daniel Soares de Alcântara é engenheiro eletricitista (ênfase em eletrotécnica e eletrônica) pela Universidade de Taubaté, doutorando em engenharia de produção pela Universidade Federal de Itajubá, mestrado em Engenharia, pela Universidade Federal de Lavras e especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade do Estado de Minas Gerais. Atualmente é professor efetivo do ensino básico técnico e tecnológico do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG.

Daniela Althoff Philippi

Doutora em Administração pela Universidade Nove de Julho com estágio doutoral na North Carolina State University, mestre e bacharel em Administração pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora Adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de Administração da Produção e Operações. Dedica-se especialmente às áreas de inovação e de gestão da produção. Membro da Triple Helix Association. Coordenadora do Grupo de Pesquisa em Cooperação Tecnológica (GPCT/CNPq).

Dênis Mateus de Paiva

Graduação em Ciências Econômicas (2009); Especialização em Gestão Financeira e Controladoria (2011); Mestrado em Economia (2014). Atua academicamente como professor e pesquisador nas Faculdades Integradas ASMEC de Ouro Fino e na Escola de Negócios ASMEC Pouso Alegre, sendo também assessor de direção nesta última. Atua paralelamente como consultor e auditor. Tem experiência nas áreas de economia e gestão, atuando academicamente principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento Econômico; Economia Política Internacional; Finanças; Políticas Públicas; Relações Bilaterais.

Diego Jean de Melo

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São João del-Rei (2015). Especialista em análise Methods-Time Measurement - Universal Analyzing System (MTM-UAS). Especialista em análise Ergonomic Assessment Work-Sheet (EAWS). Atualmente é mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá, membro do Núcleo de Otimização da Manufatura e de Tecnologia da Inovação.

Estevão Luiz

Romão Mestrando no programa de pós-graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Viçosa e estudante intercambista na Université Claude Bernard Lyon 1 em Roanne - França no curso Systèmes Industriels et Robotique - pelo programa BRAFITEC financiado integralmente pela CAPES. Possui formação Green Belt - Six Sigma.

Jaqueline Akemi Suzuki

Graduação em Engenharia de Produção (2004), mestre em Administração (2012), pós-graduada em Engenharia e Segurança do Trabalho (2012) pela Universidade Federal de Viçosa. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica da Universidade Federal de Viçosa (UFV), desde 2013.

Suas áreas prioritárias de atuação são: engenharia econômica, gestão por processos e gestão da inovação. É membro do grupo de pesquisa e extensão tecnológica Núcleo de Tecnologias de Gestão (NTG).

Joao Batista Turrioni

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Mestre e Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente, é professor associado na Universidade Federal de Itajubá. Possui experiência na área de Engenharia de Produção com ênfase em Garantia de Controle da Qualidade, atuando principalmente nas seguintes áreas: qualidade, gestão de qualidade, QFD, ISO 9000 e Six Sigma.

João Roberto Ferreira

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá (1986), Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica pela UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas (1992 e 1999). Professor Titular do Instituto de Engenharia de Produção e Gestão da UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá (2015-). Membro do Conselho Universitário da UNIFEI (2016-). Tem experiência na área de Processos de Fabricação por Usinagem, bem como em projeto/análise de experimentos e otimização destes processos.

José Arnaldo Barra Montevechi

Professor titular da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Possui graduação em Engenharia Mecânica pela UNIFEI (1985), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1989), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1995) e pós-doutorado na Universidade do Texas (2008). Tem sua participação em atividades científicas e de inovação, incrementadas consideravelmente nos últimos anos. Atualmente é o chefe de Gabinete da UNIFEI.

José Henrique de Freitas Gomes

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá, mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá, com graduação em Engenharia de Produção Mecânica também pela UNIFEI. Professor Adjunto I do Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (IEPG) da Universidade Federal de Itajubá. Experiência em métodos de otimização, sistemas de produção, gestão de operações, métodos estatísticos e administração e planejamento de materiais e estoques.

Julian Ignacio López Arcos

Graduação em engenharia mecatrônica pela Universidad Autónoma de Occidente (UAO - Colômbia). Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI - Brasil). Doutorando pela UNIFEI. Minha trajetória profissional é principalmente no setor de processos, dirigindo grupos de pessoas na produção, alcançando metas produtivas, cumprindo implementando os requisitos de qualidade.

Juliana Helena Daroz Gaudêncio

Doutoranda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). É graduada em Engenharia de Controle e Automação e mestre em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Atualmente, ministra aulas das disciplinas de estatística, pesquisa operacional e engenharia da qualidade na FAI - Centro de Ensino Superior em Gestão, Tecnologia e Educação. Possui experiência nas linhas de pesquisa de otimização, projeto robusto de parâmetros, qualidade e novas técnicas de educação em engenharia.

Kaique Osorio Alves Neto Silva

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São João del-Rei. Atualmente é mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá. Tem experiência na área de gerenciamento e supply chain.

Laila Alves da Silva

Engenheira de Produção pela Universidade Federal de São João del-Rei (2016) e atualmente mestranda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá. Tem interesse em modelagem e otimização de processos baseada em planejamento de experimentos (DOE) e métodos estatísticos (Análise de

Componentes Principais, Análise Fatorial, Metodologia de Superfície de Resposta, Metodologia Seis Sigma e Gráficos de Controle da Qualidade).

Luiz Gustavo Dias Lopes

Doutor em Ciências em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (2015), Mestre em Ciências em Engenharia de Produção - UNIFEI (2011), pós-graduação em Administração Empresarial - Universidade Federal Fluminense - UFF e graduação em Ciências Contábeis pela Faculdade de Ciências Contábeis e Administrativa Moraes Jr. (Mackenzie Rio). Professor da FEPI (Centro Universitário de Itajubá) até a presente data.

Marília Grasiela Machado

Acadêmica do curso de Administração de Empresas pelas Faculdades Intregadas Asmec de Ouro Fino-MG (2018). Gerente Geral.

Paulo Henrique da Silva Campos

Professor Adjunto do Instituto de Engenharia de Produção e Gestão da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (2017). Graduação em Fabricação Mecânica pelo Centro Universitário de Itajubá (2006). Curso de Especialização MBA em Administração e Finanças pela FACESM (2008). Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção pela UNIFEI (2010-2015). Pós-Doutorado na UNIFEI (2015-2016). Experiência em Processos de Fabricação por Usinagem, Instalações Industriais, Ergonomia e Organização Industrial.

Paulo Roberto Maia

Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá. Engenheiro Hídrico (2005) e Mestre em Engenharia de Energia (2013) pela UNIFEI. Tem experiência na área de Mecânica dos Fluidos e Engenharia da Qualidade.

Pedro José Papandrea

Pós-Doutorando PDJ CNPq, Ph.D. em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá e Universidade do Tennessee (The University of Tennessee, Knoxville), EUA na modalidade PDSE CAPES (2018). Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (2013). Pós-graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá em Qualidade e Produtividade (2011). Graduado em Administração de Empresas pela Faculdade de Administração e Informática de Santa Rita do Sapucaí (2005). Professor e consultor de Engenharia de Produção e Administração de Empresas. Black Belt Lean Six Sigma. Graduando em Ciências Contábeis pela Universidade Cruzeiro do Sul (SP).

Rita Gabriela da Silva

Graduada em Administração de Empresas pela Faculdade Asmec Pouso Alegre(2018).

Rodrigo Júlio Cerqueira

Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá. Engenheiro Hídrico (2005) e Mestre em Engenharia de Energia (2013) pela UNIFEI. Tem experiência na área de Mecânica dos Fluidos e Engenharia da Qualidade.

Rodrigo Reis Leite

Engenheiro de Produção pela Universidade Federal de São João del-Rei (2016). Atualmente é mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá. Membro do Grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Qualidade e Produto e do Núcleo de Otimização da Manufatura e de Tecnologia da Inovação. Tem interesse em controle, modelagem e otimização de processos com auxílio de controle estatístico da qualidade, planejamento e análise de experimentos, estatística multivariada e otimização multi-objetivo.

Rogério Peruchi

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia - Universidade Federal da Paraíba. Pós-Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (2015). Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (2014) com período sanduíche na University of Tennessee at Knoxville (2013). Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica (2009) e mestrado em Engenharia de Produção (2011) pela Universidade Federal de Itajubá.

Sarah de Oliveira Teixeira Cardoso

Graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Sebastião Carlos da Costa

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (1983), graduação em Ciências Econômicas pela Faculdade de Ciências Econômicas do Sul de Minas (1983), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1987) e doutorado em Engenharia Mecânica - Cranfield University (1992). Professor titular da Universidade Federal de Itajubá. Foco de pesquisa e atuação em soldagem; otimização de processos de fabricação, projeto e análise de experimentos, inspeções ultrassônicas.

Vanessa Aline Wagner Leite

Mestranda em Geografia pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Aquidauana. Possui graduação em Geografia pela UFMS (2016). Tem experiência na área de Geografia, atuando principalmente nos seguintes temas: erosão laminar, erodibilidade dos solos, matrizes estratégicas para construção de cenários, pantanal e desenvolvimento local, além de trabalhar com Geoprocessamento e Mapeamento Urbano e Ambiental.

Vanessa Maria da Silva

Acadêmica do curso de Administração de Empresas pelas Faculdades Intregadas Asmec de Ouro Fino-MG (2018). Pós Graduada em Ensino de Química pela Faculdade do Noroeste de Minas FINOM (2011). Graduada em Química pelas Faculdades Intregadas Asmec de Ouro Fino-MG (2010). Analista Financeiro.

Vinicius de Carvalho Paes

Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá e pesquisador do Núcleo de Otimização da Manufatura e de Tecnologia da Inovação. Bacharel em Ciência da Computação (2008) e Mestre em Ciência e Tecnologia da Computação (2012) pela UNIFEI. Experiência em gerência de projetos, gerenciamento de servidores, banco de dados, web crawler, data mining e inteligência artificial.

