



**Revista e-Tec**  
**03-2019**

**Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina**

# e-TEC

*e-TEC Revista de Tecnologia e Ciência*

*Edição ano 2019 – Londrina Paraná*

## *Corpo Editorial*

*Editor Chefe – Edição V3-2019*

*Prof. Dr. Vicente de Lima Gongora*

## *Comitê Executivo*

*Prof.<sup>a</sup>. Adriana G. Carvalho*

*Prof. Dr. Edgard C. Menezes*

*Prof.<sup>a</sup>. Dra. Camila F. de Oliveira*

*Prof. Dr. Rodolfo A. Hildebrandt*

*Prof. Dr. Vicente de Lima Gongora*

*Editora: Faculdade de Tecnologia Senai Londrina*

*ISSN: 2358-5528*

## *Direitos reservados*

*Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina*

*Rua Belém, 844 – Londrina PR.*

*43 -3294-5100 – [faculdade.londrina@sistemafiep.org.br](mailto:faculdade.londrina@sistemafiep.org.br)*

*Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida sem a autorização prévia e escrita da Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina.*

*Este periódico publica nomes individuais, comerciais e marcas registradas e produtos pertencentes a diversas companhias. O Editor utiliza-se destes nomes somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários dos nomes e marcas, sem intenção de atingir seus direitos. Observa-se ainda que os dados contidos nos artigos são de responsabilidade dos próprios autores.*

## Editorial

A Revista “e-Tec” de Tecnologia e Ciência, da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina em sua terceira edição de 2019 apresenta, aos leitores interessados, curiosidades e conhecimentos que podem incrementar os seus estudos e projetos; considerando-se, as abordagens executadas pelos diversos autores desta publicação. Destaca-se que, mesmo abordando temáticas diferenciadas, cada artigo provoca questionamentos, a fim de ampliar, aprofundar, temas, trazendo à tona as diversas questões estabelecidas. Os artigos ora publicados contribuem para a disseminação das informações produzidas pelos acadêmicos e docentes das Faculdades da Indústria SENAI; sendo desta forma caracterizados,

como veículo técnico científico de informações das respectivas áreas; e, estão em sintonia com os cursos ofertados; além de, estarem em harmonia com as linhas de pesquisa das Faculdades. Esta edição também apresenta algumas ações realizadas, no período, onde alunos e egressos dos cursos da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, tem a oportunidade de protagonizar sua história.

Os Autores e o corpo executivo da Revista de Tecnologia SENAI Londrina agradecem o apoio e o envolvimento de toda a comunidade acadêmica, que contribuiu de sobremaneira para a realização desta edição.

Boa leitura!

## SUMÁRIO

<b>Visitas técnicas e ações de responsabilidade social que foram destaque!</b>	<b>5</b>
<b>Novo curso de Tecnologia em Automação Industrial inicia a sua nova turma na Faculdade de Tecnologia SENAI em Londrina!.....</b>	<b>9</b>
<b>A ampliação do diálogo entre a indústria e a academia: o estudo de caso do SENAI Londrina .....</b>	<b>13</b>
<b>Aplicação das Ações PD, PI, PID E <i>FUZZY</i> no Controle de Velocidade e Posicionamento em Uma Planta Didática. ....</b>	<b>28</b>
<b>COGERAÇÃO DE ENERGIA UMA VISÃO GERAL.....</b>	<b>64</b>
<b>ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE DISCO DE FREIO PARA VEÍCULOS DE</b>	<b>83</b>
<b>PASSEIO ATRAVÉS DO PROCESSO DE USINAGEM .....</b>	<b>83</b>
<b>AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DE APONTAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA LINHA DE EMPACOTAMENTO DE UMA INDÚSTRIA.....</b>	<b>106</b>

# Visitas técnicas e ações de responsabilidade social que foram destaque!

Prof. Dr. Vicente Gongora<sup>1</sup>

Em nov /2018, um grupo de alunos visitaram a empresa Ariam Fast Gondolas, na ocasião alunos e professores foram calorosamente recepcionados pela empresa,



onde houve a oportunidade de interação entre os funcionários da Cipa, Manutenção Industrial e processos de fabricação. O Guia na visitação Sr. Lucas Longhi, a pedido da diretoria, ofereceu um belo café aos visitantes. Agradecemos a calorosa receptividade aos membros diretores e em especial ao gerente de engenharia Sr. Robson Milanez, que prontamente abriu as portas da indústria, compartilhando com a academia os seus modernos processos de produção!

Destaque também para aula inaugural, em julho de 2019; onde, alunos e professores apresentaram-se aos novos alunos. Momento de interação entre calouros e veteranos, onde a troca de informações fortalece os laços e novas amizades se iniciam para que o sucesso da nova jornada possa se concretizar garantindo a realização do sonho planejado de cada aluno! Sejam muito bem-vindos! Em outra ação social ocorrida no Instituto União da Vitória;



<sup>1</sup> Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [vicente.gongora@sistematica.org.br](mailto:vicente.gongora@sistematica.org.br)



**ALUNOS E PROFESSORES  
JUNTOS EM AÇÃO, MÃO  
NA MASSA -  
AGOSTO/2019!**



**SUPERANDO  
DESAFIOS**

ACONTECEU NA FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI LONDRINA

alunos do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, aplicaram suas experiências e conhecimentos promovendo uma reforma e instalando novos pontos de energia no Instituto União da Vitória! As atividades foram coordenadas pelo docente Wesley Candido da Silva; participaram ainda como organizadores desta ação, como voluntários os docentes: Adriana Giseli Leite Carvalho, Anderson Paulo Avila Santos, Camila Fogaca De Oliveira, Edgard Jose Carbonell Menezes, Erwin Goncalves, Marco Aurelio Arbex, Marcos Bernardo De Lima, Rodolfo Alexandre Hildebrandt, Saulo Aguiar Saes e Vicente De Lima Gongora.

Muita energia boa no mês de agosto/2019, parabéns à comunidade acadêmica envolvida neste processo!



Também no mês de agosto de 2019 na visita ao Moinho Dias Branco na Cidade de Rolândia, a comunidade acadêmica, da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, observou os processos de produção, sensores e supervisórios, de controle e gestão de ativos industriais, além dos sistemas de automação da unidade industrial visitada. A intermediação com a empresa foi estabelecida pelo prof. Wesley Candido e os alunos do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Joao Paulo Pozzer e José Luis Fernandes Biani, que trabalham na unidade. Fato que foi fundamental para que a visita pudesse ser realizada com sucesso!



E-TEC

# Novo curso de Tecnologia em Automação Industrial inicia a sua nova turma na Faculdade de Tecnologia SENAI em Londrina!

Prof. Dr. Vicente Gongora<sup>1</sup>

Com este novo curso de Tecnologia em Automação Industrial, já são três os cursos de tecnologia ofertados para a comunidade local; que, se integram de forma harmônica na Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. Como mostrado o mesmo contém unidades

Unidades Curriculares de núcleo comum			Unidades Curriculares Específicas: Tecnologia em Manutenção Industrial		
I°	II°	III°	IV°	V°	VII°
Cálculo Aplicado	Cálculo Diferencial e integral	Processos industriais de manufatura	Elementos de máquinas	Gestão da Manutenção Industrial	Manutenção Eletroeletrônica
Gestão Inovadora de Projetos	Análise de Circuitos Elétricos	Desenho auxiliado por computador	Instrumentação e Sistemas Supervisórios	Gestão Integrada	Máquinas elétricas e Servo acionamento
Fundamentos em Ciência dos materiais e química geral	Instalações Elétricas.	Sistemas Pneumáticos e Hidráulicos	Manutenção Mecânica Industrial	Dinâmica dos Fluidos e máquinas de Fluxo	Planejamento Organização e Controle da Manutenção
Lógica e Algoritmos de programação	Técnicas de programação	Sistemas de Controle e Automação	Circuitos Eletrônicos Aplicados	Eletrônica Digital	Robótica Industrial
Princípios de Eletricidade e Magnetismo	Física Geral	Análise estrutural em Sistemas Mecânicos	Tratamentos térmicos e técnicas de análise micro estrutural	Disciplina Optativa	Máquinas Térmicas.
Unidades Curriculares de núcleo comum			Unidades Curriculares Específicas: Tecnologia em Automação Industrial		
I°	II°	III°	IV°	V°	VII°
Cálculo Aplicado	Cálculo Diferencial e integral	Processos industriais de manufatura	Gestão da Produção	Gestão da Manutenção Industrial	Redes Industriais e de Telecomunicações
Gestão Inovadora de Projetos	Análise de Circuitos Elétricos	Desenho auxiliado por computador	Instrumentação e Sistemas Supervisórios	Gestão Integrada	Máquinas elétricas e Servo acionamento
Fundamentos em Ciência dos materiais e química geral	Instalações Elétricas.	Sistemas Pneumáticos e Hidráulicos	Desenvolvimento de Sistemas Automáticos	Dinâmica dos Fluidos e máquinas de Fluxo	Planejamento Organização e Controle da Manutenção
Lógica e Algoritmos de programação	Técnicas de programação	Sistemas de Controle e Automação	Circuitos Eletrônicos Aplicados	Sistemas Microcontrolados e microprocessados	Robótica Industrial
Princípios de Eletricidade e Magnetismo	Física Geral	Análise estrutural em Sistemas Mecânicos	Eletrônica Digital	Disciplina Optativa	Oficina de Inovação

curriculares comuns ao curso de Tecnologia em Manutenção Industrial. Os mesmos

<sup>1</sup> Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: vicente.gongora@sistemafiep.org.br

incluem em suas ofertas as unidades de programação, eletrônica aplicada e eletrônica digital, proporcionando ao estudante habilidades contemporâneas do mundo do trabalho.

Além destes dois modernos cursos de tecnologia, a Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina oferta também outros três cursos de Bacharelado em Engenharias! Engenharia Elétrica, Engenharia de Software e Engenharia Mecânica; fortalecendo a expertise vocacional na área de exatas do SENAI em Londrina.

O curso de graduação Tecnologia em Automação Industrial é um curso de nível superior, onde o egresso poderá atuar no planejamento, na organização em instalação, em pesquisas e desenvolvimentos, no ensino da automação em supervisão de sistemas de medição e controle de variáveis nos processos de automação industrial; nos mais diferentes tipos de indústrias, com objetivo de torna-las mais competitivas no dia a dia!

O que define a profissão do tecnólogo em Automação Industrial?

O profissional formado em automação industrial atuará na implementação e modernização de técnicas de produção utilizadas no setor industrial. Entre as atividades exercidas, estão propostas de intervenção no processo de automação industrial, com o objetivo de otimização e racionalização de recursos, visando ao aumento da produtividade.

Também é de sua responsabilidade a utilização de recursos e técnicas para gestão de processos produtivos, criação de produtos, definição de processos de fabricação e controle de máquinas e equipamentos.

Além disso, este profissional estará apto a realizar o recebimento de máquinas e sistemas automatizados, montar, fazer testes, além de, acompanhar sua instalação.

Demais funções que podem ser exigidas deste profissional são: coordenar e gerenciar outros profissionais, que atuam na automatização de processos, assessorar equipes de engenharia na operacionalização e manutenção de linhas automáticas de produção, realizar ou orientar a implementação e manutenção em máquinas ou sistemas automatizados; prestar assistência técnica aos setores de compra e/ou vendas e realizar estudos sobre organização.

Prezar pela simplificação e otimização do trabalho, segundo técnicas de melhoria de qualidade e produtividade, respeitando a ética e o meio ambiente.

Campo de atuação do profissional em Automação Industrial!

O tecnólogo em Automação Industrial poderá atuar em áreas tais como:

- 1- Indústrias com linhas de produção automatizadas, químicas, petroquímicas, de exploração e produção de petróleo;
- 2- Indústrias aeroespaciais, automobilística, metalmecânica e plástico;
- 3- Empresas de manutenção e reparos;
- 4- Empresas integradoras de sistemas de automação industrial;
- 5- Fabricantes de máquinas, componentes e equipamentos robotizados;
- 6- Grupos de pesquisa que desenvolvam projetos na área de sistemas elétricos;
- 7- Laboratórios de controle de qualidade.

#### DIFERENCIAIS DESTE PROFISSIONAL

As Faculdades da Indústria contam com completa infraestrutura, o que inclui laboratórios equipados e bibliotecas atualizadas.

O corpo docente é composto por profissionais atuantes no mercado, referências em suas áreas de atuação.

Possui sólidas parcerias internacionais com instituições que são referência em inovação e gestão, como a Steinbeis University Berlin.

Faz parte do Sistema FIEP (Sistema Federação das Indústrias do Estado do Paraná), o que significa que está totalmente alinhada à realidade e às necessidades do setor, que reconhece sua expertise.

Possui descontos para quem trabalha na indústria, e; egressos de outros cursos do SENAI!

Segundo as Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN 9.394/96), em seu artigo 43 diz que; a educação superior tem por finalidade:

I – estimular a criação cultural e o desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo;

II – formar diplomados nas diferentes áreas de conhecimento, aptos para a inserção em setores profissionais e para a participação no desenvolvimento da sociedade brasileira, e colaborar na sua formação contínua;

III – incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia e da criação e difusão da cultura, e, desse modo, desenvolver o entendimento do homem e do meio em que vive;

IV – promover a divulgação de conhecimentos culturais, científicos e técnicos que constituem patrimônio da humanidade e comunicar o saber através do ensino, de publicações ou de outras formas de comunicação;

V – suscitar o desejo permanente de aperfeiçoamento cultural e profissional e possibilitar a correspondente concretização, integrando os conhecimentos que vão sendo adquiridos numa estrutura intelectual sistematizadora do conhecimento de cada geração;

VI – estimular o conhecimento dos problemas do mundo presente, em particular os nacionais e regionais, prestar serviços especializados à comunidade e estabelecer com esta uma relação de reciprocidade;

VII – promover a extensão, aberta à participação da população, visando à difusão das conquistas e benefícios resultantes da criação cultural e da pesquisa científica e tecnológica geradas na instituição. (BRASIL,1996)

# A ampliação do diálogo entre a indústria e a academia: o estudo de caso do SENAI Londrina

Prof. Dr. Edgard J.C. Menezes<sup>1</sup>

Prof. Dr. Vicente Gongora<sup>2</sup>

**Resumo:** O tema dessa pesquisa é o relacionamento entre a indústria e a academia. O objetivo da pesquisa foi o de investigar quais os mecanismos que podem ser adotados para que a academia possa contribuir mais efetivamente para o desenvolvimento industrial, particularmente no processo de inovação. A atuação na indústria é um desafio para empreendedores regionais devido a competitividade global, ao avanço da tecnologia e a volatilidade do conhecimento. A pressão do governo por impostos, da comunidade por empregos, dos clientes por descontos e dos fornecedores por pronto pagamento, torna difícil empreender como indústria. Nesse cenário, as faculdades de tecnologia representam uma oportunidade como agentes de desenvolvimento industrial. A pesquisa revelou que o SENAI, mais especificamente sua unidade de Londrina (PR) tem contribuído nessa direção, mas observou também que é possível ampliar o diálogo através da adoção de um processo para formação de arranjos produtivos locais (APL) de cadeias produtivas; elas teriam uma base nas unidades do SENAI para que - enquanto os empresários se unem para encontrar vantagens para os seus negócios -, o ambiente de fomento a tecnologia que se percebe e vive nas unidades do SENAI possibilite a divulgação, o conhecimento e a adoção da tecnologia e inovação necessários para a sua sobrevivência.

**Palavras-chave:** indústria, cadeia produtiva, arranjos produtivos locais

## 1 INTRODUÇÃO

A atuação na indústria é um desafio para empreendedores porque inclui em suas características e exigências a utilização de máquinas de operação complexa para transformação de matérias-primas em produtos os mais diversos: alimentos, máquinas, ferramentas, roupas, veículos, moveis, equipamentos, materiais de construção, medicamentos, armas, autopeças, entre outros dentro de uma enorme gama de produtos.

---

<sup>1</sup> Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: edgard.menezes@sistemafiep.org.br

<sup>2</sup> Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: vicente.gongora@sistemafiep.org.br

Além de gerir a planta industrial – a linha de produção - o empresário faz as mesmas atividades dos que atuam nos outros elos da cadeia produtiva: compra, administração geral, vendas e distribuição.

**O problema a ser tratado nesse artigo é: como a academia com os seus saberes pode apoiar os empresários da indústria para que seu trabalho se torne mais atraente, frutífero e perene?**

Com a evolução acelerada da tecnologia em todos os campos do saber humano, a atividade industrial vai se tornando cada dia mais difícil de manter, ainda mais para os que atuam em países ou regiões em desenvolvimento, com recursos escassos, concorrendo com multinacionais e empresas nacionais de grande porte.

É essa realidade que tem preocupado a todos os que dependem das indústrias: a comunidade, o governo, os fornecedores de matérias primas, a mão-de-obra disponível na região, os distribuidores e os prestadores de serviços – escolas técnicas, consultores, faculdades de tecnologia, associações, empresas de logística, institutos de certificação, bancos, agências de emprego, escritórios de contabilidade, serviços jurídicos, empresas de marketing e tantos outros.

Diante da complexidade do tema e da relevância das variáveis envolvidas, pesquisas sobre a contribuição que pode ser dada aos empresários pela academia (escolas técnicas, faculdades, centros de pesquisa) como centro de captação, análise e desenvolvimento de saberes em tecnologia são muito oportunas. Mais especificamente, esse artigo trata das contribuições que podem ser dadas pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI.

Considera-se este ponto também necessário, porque os empresários industriais são cobrados por diferentes órgãos: os de fiscalização de pagamento dos impostos, de atendimento à legislação trabalhista, de proteção ambiental, entre outros. São também os primeiros a serem lembrados por entidades não governamentais que recorrem a eles em busca de recursos financeiros para seus projetos, em busca de empregos ou de doações para as mais diversas finalidades.

**É nesse cenário que o problema a ser tratado nesse artigo se caracteriza: como auxiliar atividade tão essencial, como a da indústria, de modo a promover o seu desenvolvimento?**

A metodologia utilizada neste trabalho é a de uma variação de estudo de caso, com pesquisa de campo. Esse método consiste no uso intensivo de fontes secundárias, observações "in loco"; e entrevistas semiestruturadas com pessoas chaves (especialistas, dirigentes de indústrias, dirigentes de associações, pesquisadores e alunos dentre outros), todos de algum modo envolvidos na formulação e implementação das ações desenvolvidas no SENAI em seus eventos e atividades.

O presente estudo, realizado de forma ex post, foi desenvolvido entre os anos de 2014 e 2019, período que coincide com a atuação dos pesquisadores no SENAI.

As entrevistas realizadas foram conduzidas com perguntas definidas e semiestruturadas, possibilitando ao entrevistado a liberdade de expressar livremente suas opiniões; optou-se por formular perguntas que permitissem respostas abertas, também mais apropriadas para tratar de questões complexas.

## **2 A VOCAÇÃO DO SENAI E OS DESAFIOS DA INDUSTRIA**

### **2.1 A vocação do SENAI**

Na área educacional ações de responsabilidade social visam estimular toda a comunidade acadêmica para o desenvolvimento de ações de cunho social e econômico no que se refere à integração entre a Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina e a comunidade, em destaque os empresários da indústria.

Na pesquisa os objetivos incluem incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando o desenvolvimento da ciência e da tecnologia e à criação e difusão da cultura e, desse modo, promover o entendimento do homem em relação ao meio em que vive.

As atividades de extensão têm como objetivo promover a interação transformadora entre a instituição e a sociedade, integrando as artes e a ciência ao ensino e ao desenvolvimento social. As atividades de extensão acadêmica pressupõem uma ação junto à comunidade, tornando-se um processo que permite a transferência para a sociedade dos conhecimentos desenvolvidos com as atividades de ensino. A captação das demandas e necessidades da sociedade, por outro lado, permite orientar a produção e o

desenvolvimento de novos conhecimentos. Este processo estabelece uma relação dinâmica entre a Faculdade e o seu contexto social.

Nas atividades complementares o objetivo é diversificar e enriquecer a formação oferecida na graduação, por meio da participação do corpo discente em tipos variados de eventos. É importante lembrar que a realização das atividades complementares dependerá da iniciativa e da dinamicidade de cada aluno, que deve buscar as atividades que mais lhe interessam para delas participar, observando o cumprimento da carga horária estipulada na matriz curricular.

Pode-se observar pelo exposto que a vocação para o diálogo é definida nos estatutos do SENAI para as atividades de educação, pesquisa, extensão e atividades complementares. O que será inovação será o SENAI como hospede dos arranjos produtivos locais das cadeias produtivas e sua participação ativa como seu integrante.

## **2.2 A vocação do SENAI e sua relação com as cadeias produtivas**

Entidade do Sistema Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP), o Senai Paraná foi instalado em 12 de março de 1943 com o importante papel de operacionalizar a ação integrada das atividades de formação profissional, de acordo com as diretrizes e normas definidas pelas classes empresariais.

Conhecido principalmente pelas suas atividades educacionais, o SENAI sempre ofereceu cursos profissionalizantes, realizou pesquisas, organizou eventos; em um contexto de inovação, alinhado com as diretrizes do SENAI-PR e observando as necessidades e demanda do mercado, o SENAI Londrina deu início, em 2008, ao estudo de setores potenciais da região para receber cursos superiores de Tecnologia, iniciando a sua primeira turma na Faculdade de Tecnologia no segundo semestre de 2012.

Sua missão revela o DNA do diálogo: “Promover a educação profissional tecnológica, contribuindo para a inovação, a transferência de conhecimentos e tecnologias, de forma plena, continuada e sustentável, visando elevar a competitividade da indústria local, regional e brasileira, consolidando-se como padrão de excelência em educação superior”.

O Sistema Fiep mantém um trabalho de coordenação das cadeias produtivas de excelente nível.

A própria definição de cadeia produtiva estabelece que nenhum agente atua de forma isolada, sendo que a chave para o

desenvolvimento de toda a cadeia consiste no aumento da sinergia entre seus elos. A Coordenação de Desenvolvimento (do Sistema Fiep) atua no sentido de promover a competitividade das cadeias produtivas por intermédio de projetos estruturantes que aumentem a capacidade de coordenação entre os agentes e melhorem o desempenho empresarial. Nesse sentido, o nosso público prioritário são os sindicatos empresariais vinculados ao Sistema FIEP. Temos, na Coordenação de Desenvolvimento, uma equipe de 16 profissionais, dos quais 12 analistas técnicos com mestrado em Desenvolvimento Econômico, que respondem pelo atendimento a 18 cadeias produtivas que, reunidas, conseguem representar todos os nossos Sindicatos (FIEP, 2010).

O diálogo, em Londrina, tem sido mantido com as lideranças do Sindicato das Indústrias Metalúrgicas – SINDIMETAL (norte do PR), Sindicato dos Reparadores Automotivos – SINDIREPA Norte, Sindicato da Indústria de Panificação -SINDIPANP (norte do PR), Sindicato da Construção Civil – SINDUSCON (Paraná Norte), com o SEBRAE, CODEL, APL de TI e diretamente com empresários.

Os empresários da região são alcançados pelos mais diversos meios: estabelecimento de programas e parcerias envolvendo alunos que trabalham nas empresas, visitas às indústrias, realização de simpósios, palestras e eventos, consultas sobre demanda por novos cursos, atendimento a dúvidas de base tecnológica e outras mais.

Analisa-se a seguir o que tem sido feito nos últimos anos para promover esse diálogo envolvendo as cadeias produtivas que mantem algum tipo de vínculo com o SENAI.

### **2.3 O perfil dos problemas da indústria na região**

Interessante para o objetivo da pesquisa de como ampliar o diálogo da indústria e a academia identificar o perfil de seus problemas e das alternativas de solução.

A referência adotada foi o estudo publicado pelo Fórum Desenvolve Londrina (2015) conduzido por lideranças da cidade e região que se reúnem periodicamente para estudar, debater e propor soluções para as mais diversas áreas da administração pública.

Nesse estudo, pode se constatar em comparação efetuada com 10 cidades com população semelhante - Caxias do Sul, Florianópolis, Joinville, Maringá, Cuiabá, Uberlândia, São José do Rio Preto, São José dos Campos, Sorocaba e Ribeirão Preto –

que Londrina não se destaca como polo industrial, sendo sua maior contribuição econômica a indústria relacionada à soja.

A indústria da cidade, por outro lado, é bem diversificada com cadeias produtivas relacionadas a agroindústria - alimentos, café solúvel, defensivos agrícolas, a de móveis, a de metais, a do vestuário, a do papel, a da química, entre outras.

Cadeia produtiva refere-se ao conjunto de etapas sucessivas pelas quais diversos insumos passam por algum processo de transformação até a composição de um produto final (vestuário, móveis, automóveis, roupas, entre outros). Essa sucessão de operações interligadas, que vão desde a extração da matéria-prima, a produção e a distribuição, compõe os elos da cadeia produtiva (FIEP, 2010).

Mais de 50 propostas de ações estratégicas para uma maior participação industrial no valor adicionado na economia de Londrina foram apresentadas no relatório do Fórum Desenvolve Londrina e subdivididas em dezenove categorias. No Quadro 1 apresentam-se essas ideias por categoria.

A análise dessas ideias impressiona pela dimensão do esforço que terá que ser realizado para que elas sejam efetivadas. Se fossem definir um responsável do governo municipal para gerenciar cada uma dessas ideias, seriam necessárias mais de 50 lideranças capacitadas, orientadas e apoiadas para transformar as ideias em realidade.

Por outro lado, cada ideia exige investimentos de recursos financeiros, materiais, humanos e de tempo, sendo que algumas delas exigem investimentos de elevado valor como a construção de parques industriais, infraestrutura logística, financiamentos, campanhas de marketing, alterações legislativas, entre tantas outras.

A análise das soluções apresentadas no Quadro 1 sugere a elaboração de planos para determinadas cadeias produtivas e não para a indústria em geral. A cadeia produtiva do trigo tem demandas bem diferentes da cadeia produtiva do aço.

Quadro 1 – Propostas de solução para a promoção da indústria na cidade de Londrina

Categorias	Soluções
Logística e infraestrutura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar condomínio industrial próximo ao aeroporto para empresas que utilizam transporte aéreo.</li> <li>• melhorar a infraestrutura de transporte (Ex. ferrovias e rodovias).</li> <li>• desenvolver plano de melhoria da infraestrutura que possibilitem a industrialização (Ex. gasoduto, parque industrial, porto seco ágil).</li> <li>• Investir em infraestrutura não focar apenas em benefícios (Ex. parque</li> </ul>

	industrial, logística, gás).
Parque Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• implantar parque industrial que priorize setores que gerem maior valor (Ex. tecnologia informação, biotecnologia, energias renováveis, biomedicina).</li> <li>• desenvolver projeto para a criação de parques tecnológicos desde o seu escopo, com o apoio de técnicos indicados pelo BNDES para que se enquadrem e possam usufruir dos benefícios de financiamento as indústrias do programa FINEP.</li> <li>• destinar área específica para criação de parque industrial e tecnológico regional com infraestrutura e licenciado.</li> </ul>
Marco Regulatório	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estruturar de forma integrada e simplificada os procedimentos burocráticos para facilitar os investimentos.</li> <li>• Revisar de forma conjunta e sistêmica leis e normas (Ex. código de posturas, plano diretor).</li> <li>• Promover empreendimentos em PPP com participação do governo municipal.</li> </ul>
Projetos estratégicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir o foco que a cidade terá nos próximos anos, com base nas vocações e potenciais; apostando em “setores portadores de futuro” que dependam de “logística” mais leve, como apontado pelo PDI que deve ser atualizado.</li> <li>• adotar o benchmarking de estratégias e práticas adotadas por municípios de tamanho similar a Londrina na promoção do desenvolvimento industrial (Ex. Joinville).</li> <li>• Executar o plano “arco norte” tornando possível o escoamento aéreo da produção industrial.</li> <li>• Município e sociedade devem definir distrito industrial com foco em áreas estratégicas e modelo de gestão em parceria com órgãos de fomento (Ex. BRDE).</li> <li>• Fomentar o desenvolvimento dos setores de TI e agroindústria, pelo potencial e ativos já existentes (Ex. universidades, laboratórios, M.D.).</li> </ul>
Políticas de incentivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• atualizar a lei de incentivos de Londrina, com concessão de benefícios fiscais (inclusive estadual – ICMS - e federal) proporcionais à geração de renda e postos de trabalho, priorizando empresas inovadoras que geram alto valor adicionado (Ex. base tecnológica).</li> <li>• Governo municipal deve estabelecer políticas públicas para atrair e incentivar a implantação de indústrias âncora no município (incentivos/ comunicação/ estudos/ parcerias).</li> <li>• Negociar parcerias para integrar as políticas públicas estaduais e federais com as do Município para a atratividade de industriais.</li> </ul>
Cultura industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• disseminar valores de uma cultura industrial com foco nas vantagens econômicas e sociais.</li> <li>• desenvolver ampla campanha de sensibilização sobre diferenciais positivos do município e a importância da atividade industrial, engajando a sociedade em geral no processo de desenvolvimento industrial.</li> <li>• fomentar o ensino de empreendedorismo nas escolas e universidades.</li> <li>• Desenvolver um plano de retenção de talentos e incentivo ao empreendedorismo.</li> </ul>
Fomento e crédito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• criar fundo para o desenvolvimento industrial com gerenciamento compartilhado entre os setores público/privado (Ex. foco na inovação).</li> <li>• buscar parceria com bancos para incentivar setores específicos com elevado nível de inovação.</li> <li>• elaborar estudos de arranjos financeiros para alavancar projetos estratégicos de desenvolvimento industrial.</li> </ul>
Inovação tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• desenvolver e implantar um centro regional de transferência de tecnologia.</li> <li>• Londrina reúne condições para se fortalecer como polo tecnológico e de atração de empresas inovadoras.</li> <li>• estimular inovação por meio da aproximação entre instituições de pesquisa e iniciativa privada.</li> </ul>
Plano diretor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aprovar o plano diretor de Londrina que está na CML - Câmara Municipal de</li> </ul>

	<p>Londrina.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• colocar em ação um plano diretor que promova segurança aos investimentos.</li> </ul>
Marketing da Cidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolver um Plano de divulgação da cidade para sensibilizar, promover Londrina e torná-la conhecida.</li> <li>• atrair grandes marcas industriais (âncoras) através de uma campanha de marketing e incentivos que promovam a imagem de Londrina.</li> <li>• montar material de divulgação consolidado e objetivo demonstrando a existência de potencial para empreendimentos (Ex. terreno, infraestrutura, educação, energia, comércio, saúde).</li> <li>• definir plano de ação para promover a cidade junto de consultorias que assessoram empresas candidatas a investir em Londrina.</li> </ul>
Burocracia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• revisar toda a legislação municipal referente à implantação de empreendimentos industriais</li> <li>• desburocratizar o processo para instalação de novas indústrias reduzindo prazos (Ex. alvarás e licenças).</li> <li>• organizar e integrar ação dos órgãos licenciadores, simplificando os tramites burocráticos para instalação de indústrias em Londrina.</li> <li>• Criar um processo único para entrada e trâmite de documentos para abertura de empresas.</li> </ul>
Ambiente de negócios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• contar com profissionais capazes de acompanhar o empresário em todos os órgãos competentes e de analisar e tramitar a documentação até a instalação da empresa.</li> <li>• criar um núcleo composto por profissionais do setor público e privado que promova um ambiente seguro, acolhedor ao investimento e a inovação.</li> <li>• criar um grupo envolvendo poder público e entidades, munido com informações, para recepcionar as necessidades de empresários.</li> </ul>
Gestão pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>• profissionalizar a gestão pública cobrando resultados.</li> <li>• O setor público, tem que trabalhar com metas de eficiência, premiar por mérito ao servidor que atingir resultados.</li> </ul>
Integração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar uma instância de “governança”, com poder público e sociedade, para elaborar e gerir o plano estratégico de desenvolvimento industrial.</li> <li>• Articular as ações municipais com as políticas estadual e federal.</li> </ul>
Mobilização da sociedade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A sociedade organizada deve acompanhar o desempenho do poder público e ser mais incisiva na cobrança de ações efetivas dos nossos representantes legislativos e executivos.</li> <li>• Londrina e região precisam mobilizar-se para difundir a ideia de que a industrialização é importante.</li> <li>• mobilizar uma frente envolvendo prefeitura e entidades de Londrina, propondo plano de industrialização da cidade e exigir recursos/incentivos do governo estadual.</li> <li>• Participação da sociedade civil organizada na formulação e implementação de políticas de atração de indústrias.</li> </ul>

Fonte: adaptado do Fórum Desenvolve Londrina (2015)

No cenário de dificuldades crescentes que o empresário industrial já atuante na região enfrenta, esse quadro de ideias revela que o que falta não é diagnóstico nem propostas de solução para os seus problemas: o que falta é capacidade de execução dessas ideias.

### **3 RELACIONAMENTO SENAI LONDRINA E AS CADEIAS PRODUTIVAS**

O objeto da pesquisa é como a academia pode ampliar sua contribuição à indústria e esse quadro de ideias estratégicas sugere maior participação na execução das ideias. Nesse tópico observa-se como o SENAI tem dialogado com a indústria.

#### **3.1 A cadeia produtiva do aço**

Essa cadeia produtiva (CP) tem sido vista como o carro-chefe que comanda as atividades principais no SENAI Londrina, pois detém a maior parte dos cursos oferecidos pela instituição.

As faculdades de tecnologia nasceram para atender essa cadeia produtiva inicialmente com a oferta dos cursos de manutenção industrial e fabricação mecânica. Inúmeras turmas se formaram desde o início, inúmeros eventos foram realizados como atividades de extensão. A maior parte dos alunos dessas faculdades são ex-alunos dos cursos técnicos mostrando o perfil orientado a indústria metalomecânica. Cursos complementares são ofertados a comunidade além dos serviços e consultoria.

As inovações desenvolvidas e adotadas pela indústria chegam *just-in-time* à academia devido ao fato que os alunos e professores das faculdades tem significativa experiência prática de indústria, a maioria atuando com tecnologia em tempo integral o que lhes permite acompanhar as inovações em produtos, máquinas, ferramentas e matérias-primas utilizadas na CP do aço.

É possível melhorar, entretanto, o diálogo entre a academia e os integrantes da cadeia produtiva do aço. Esse é o objetivo da pesquisa: como aperfeiçoar o diálogo?

Trabalhos do SENAI desenvolvidos em outras cadeias produtivas como a do trigo tem gerado resultados adicionais importantes e foram considerados nessa pesquisa no próximo tópico.

### **3.2 A cadeia produtiva do trigo**

O SENAI realiza todos os anos o “Panific Show” que congrega 100% da cadeia produtiva da panificação; comparecem representantes dos agricultores do trigo, os moinhos responsáveis pela produção da farinha de trigo, as padarias e os supermercados encarregados de produzir os pães e derivados e de comercializar os produtos.

Os mais diversos temas são tratados tais como apresentação de novos equipamentos, novos processos, novos cursos relacionados a panificação e confeitaria, entre muitos outros.

Nesse formato há uma integração maior entre os elos da cadeia produtiva.

Como exemplo, em 2017, foi realizada uma mesa redonda com representantes de todo o Estado para debater os problemas da CP, tendo sido elaborado um documento intitulado Carta de Londrina apresentando propostas para fortalecer toda a cadeia produtiva.

### **3.3 A cadeia produtiva das energias renováveis e do meio-ambiente**

Movimentada pela realização de eventos relacionados às datas comemorativas como o Dia Mundial da Água, o Dia Mundial do Meio Ambiente, o Dia das Árvores, entre outros, e pelas obrigações geradas por lei que determinam a inclusão do tema preservação do meio-ambiente na grade curricular, a cadeia produtiva relacionada ao meio-ambiente acabou sendo contemplada com inúmeros eventos.

Todos os eventos reúnem especialistas de acordo com o tema: qualidade da água, qualidade do ar, estratégias da indústria para redução da poluição, trabalhos acadêmicos relacionados ao meio-ambiente, o papel da indústria nas questões da sustentabilidade.

O que falta nessa cadeia produtiva é exatamente observá-la como um setor da economia. Se considerar a indústria das energias renováveis – painéis solares, energia eólica, energias alternativas – equipamentos antipoluição, equipamentos e soluções para redução do consumo de água e de energia, retrofit de construções para sua adequação à sustentabilidade, reaproveitamento de materiais (pilhas, eletroeletrônicos, aço, pneus, veículos, entre inúmeros outros) coletados pelos processos da logística reversa -, veremos a consistência e o potencial dessa cadeia produtiva.

### **3.4 Outras cadeias produtivas: vestuário, cimento e tecnologia da informação (TI)**

O vestuário foi uma cadeia produtiva que teve também muito movimento no SENAI. Até 2017, em parcerias com o Sindicato do Vestuário do PR – SIVEPAR e o SINDITEXTIL realizava-se eventos, cursos complementares e de extensão.

A CP do cimento opera normalmente em conjunto com a do aço e tem realizado alguns eventos, mas sua participação no conjunto de produtos e serviços do SENAI é reduzida e, por essa razão, não tem tido destaque na agenda, a par do fato de ser uma das mais pujantes na região e na própria cidade.

O exemplo da tecnologia da informação (TI) é o que vem ganhando notoriedade tanto pela sua importância e atualidade, como pelo sucesso obtido como arranjo produtivo local (APL). O caso do APL de TI em Londrina contou, desde o início, com a participação do SENAI. Em decorrência desse processo, o SENAI desenvolveu sua estrutura com a criação do Instituto Senai de Tecnologia (IST) e agora o HUB de Inteligência Artificial ofertando serviços e produtos em tecnologia como resultado do círculo virtuoso instaurado.

## **4 A PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO DO DIÁLOGO SENAI – INDÚSTRIA**

A ideia para ampliar o diálogo entre a academia e a indústria, visando maior contribuição aos empresários instalados na região reúne os elementos observados nos tópicos anteriores de comprovada eficácia observados no relacionamento entre o SENAI e os representantes das cadeias do aço, do trigo e da natureza e amplia a participação do SENAI junto a criação ou desenvolvimento de arranjos produtivos locais.

### **4.1 Arranjo produtivo local**

Arranjo Produtivo Local é um grupo de empresas com a mesma especialização produtiva e que se localiza em um mesmo espaço geográfico. Os APLs mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si, contando também com o apoio de instituições locais como governo, associações empresariais, Agências de Desenvolvimento Regional (ADRs), instituições de crédito, ensino e pesquisa.

O Sistema FIEP apoia a consolidação de Arranjos Produtivos Locais por meio do acesso a informações estratégicas, mobilização do setor industrial, facilitação do planejamento estratégico e prestação de serviços técnicos e tecnológicos (FIEP, 2019)

Os APLs atuam em torno de uma atividade produtiva principal, abrangendo um território definido, apresentam um grau intensivo de cooperação e interação entre as empresas, bem como se organizam por meio de um sistema de governança local representativo do APL.

#### **4.2 A ideia fundamental**

A ideia é a do SENAI continuar com suas funções básicas na área educacional, na pesquisa, na extensão e nas atividades complementares e somar a essas as funções de formador, mantenedor e promotor de inovação de arranjos produtivos locais aperfeiçoando o modelo adotado no mercado da tecnologia de informação.

Dessa forma – assumindo mais efetivamente o APL, a academia abre espaço físico como hospede de eventos; abre seu banco de informações sobre tecnologia através de suas aulas, palestras e dos seus corpos docente e discente; abre sua capacidade de inovação através dos centros de pesquisa instalados em inúmeros locais pelo Brasil e das parcerias nacionais e internacionais com outros centros de inovação; e utiliza seu network para contribuir com os demais atores nos trabalhos de diagnóstico dos problemas, na proposta de soluções e na execução das alternativas escolhidas.

#### **4.3 O processo para estabelecimento de um diálogo mais efetivo**

O processo será composto pelas seguintes atividades:

- a) O novo processo a ser apresentado pelo SENAI se inicia com a eleição de uma determinada cadeia produtiva (CP) para se formar um arranjo produtivo local (APL). Essa escolha poderá ser definida através de diferentes critérios:
  - preferência pessoal da direção do SENAI,

- existência de lideranças de uma determinada CP que estejam procurando uma maior aproximação da instituição,
  - histórico de envolvimento já existente,
  - disponibilidade de pessoas do SENAI para participar em caráter prolongado,
  - momento econômico vivido pela CP,
  - eleição pelos poderes públicos como CP prioritária para o governo, entre outros fatores.
- b) Definição de uma coordenação da parte do SENAI para participar do processo como organizador do APL na fase de startup, anfitrião e representante nas fases subsequentes.
- c) Pesquisa realizada por essa coordenação sobre a CP escolhida para coleta de dados e informações potencialmente úteis para seus integrantes, para diagnóstico das ameaças e oportunidades do setor, identificação de tendências e outros aspectos que servirão para estimular o interesse dos potenciais participantes da CP.
- d) Identificação das indústrias da CP em funcionamento na região e contato com suas lideranças visando realização de uma reunião inicial para discutir a formação de um Arranjo Produtivo Local (APL).
- e) Criação de um canal de comunicação com a sede em Curitiba entre a equipe-base de Londrina e os agentes da sede com potencial de contribuição ao APL da CP escolhida.
- f) Ativar as reuniões semanais entre a equipe-base de Londrina e as lideranças da indústria.
- g) Estabelecer um plano para o primeiro ano com destaque a participação da academia pelo aproveitamento pelos (e dos) programas já em andamento nas faculdades, execução de trabalhos acadêmicos, promoção de eventos – simpósios, semana científica, entre outros.

## **5 CONCLUSÃO**

O principal resultado dessa pesquisa foi apresentar a **ideia para ampliar o diálogo entre a academia e a indústria, visando maior contribuição aos empresários instalados na região, a partir dos elementos de comprovada eficácia já observados**

**no relacionamento entre o SENAI e os representantes das cadeias do aço, do agronegócio e do meio ambiente:**

A pesquisa identificou que o SENAI Londrina tem tido uma trajetória acertada nesse sentido, e que podem ser ampliados se outras cadeias produtivas forem incorporadas e o processo de diálogo institucionalizado através da formação ou atração de arranjos produtivos locais (APL).

Um método ou processo, para isso, precisará ser adotado – reunião dos atores da cadeia produtiva de uma determinada indústria – colocando a organização, o espaço e a direção de um arranjo produtivo local (APL) nas mãos da indústria, visando os esforços por desenvolvimento da cadeia produtiva por inteiro.

Abrigar o APL no SENAI é uma escolha acertada por se tratar de uma instituição orientada para a tecnologia com vocação para prover os recursos humanos necessários, buscar tecnologia de ponta, organizar eventos de cunho tecnológico e de inovação, atuar junto aos diversos elos da cadeia produtiva, estabelecer conexões nacionais e internacionais e se responsabilizar pela perenidade da iniciativa.

Os exemplos da indústria de panificação, meio-ambiente e do aço, podem ser generalizados para outros segmentos como as cadeias produtivas do plástico, eletrônica, vestuário, agroindústria, entre outras.

A partir desse método ações efetivas de apoio à indústria regional, oriundas das atividades-fim das faculdades – educação, pesquisa, extensão e atividades complementares – permitirão aos envolvidos visualizar resultados efetivos para a indústria e a academia.

A prática continuada desse diálogo permitirá que os investimentos já realizados em pesquisa de soluções para os inúmeros problemas que a indústria regional enfrenta, tenham maior retorno, pois possibilitará que essas soluções sejam encaminhadas de modo mais efetivo pelos APL existentes ou a ser constituídos em Londrina e estabelecidos nas unidades do SENAI.

## REFERENCIAS

SENAI - **Inserção da temática da sustentabilidade** (meio ambiente) nos cursos da Faculdade de Tecnologia de Londrina. Londrina - 18 de outubro 2014.

FIEP – **Saiba o que são as cadeias produtivas industriais.** Boletim Nosso Sistema, publicado em 22 de novembro de 2010

FIEP – **Arranjos produtivos locais (APL).** Site

Disponível em <http://www.fiepr.org.br/fomentoeddesenvolvimento/apl/>

Acesso em 16 de novembro de 2019

FORUM DESENVOLVE LONDRINA - **Industrialização de Londrina: análises, perspectivas, caminhos.** Verão 2015

CARVALHO, Maria Alice G.S. – entrevista com a responsável pelo setor de eventos do SENAI Londrina. Londrina, em 13 de novembro 2019.

# Aplicação das Ações PD, PI, PID E *FUZZY* no Controle de Velocidade e Posicionamento em Uma Planta Didática.

Patrich Dal Magro<sup>1</sup>

Hélio Kiuji Kayamori<sup>1</sup>

**Resumo:** A utilização do controle de processos em plantas industriais tem crescido consideravelmente com o passar do tempo. Os equipamentos de precisão têm sido encontrados em indústrias na qual a produção chega a excelência. Para isso, o controle dos equipamentos é de máxima importância na produção e na execução dos serviços que serão realizados. O estudo das técnicas de controle envolvidas tem como principal objetivo garantir por meio de uma aplicação que o processo de produção obtenha o melhor desempenho. As técnicas de controle PI, PD, PID são definidas pela forma como atuam sobre os sistemas cada uma com uma característica intrínseca na forma como são programadas e todas tem uma aplicação definida dentro dos sistemas de controle. O estudo por meio de uma planta para análise torna possível que o processo de controle seja aplicado de forma correta nas plantas onde serão utilizadas. A melhoria nas técnicas clássicas vem por meio da implantação do modelo *Fuzzy*, que associadas às técnicas de controle conhecidas obtêm melhor ajuste dos equipamentos empregados. O objetivo deste trabalho é demonstrar de forma qualitativa, qual a melhor ação de controle que pode ser aplicada, utilizando a associação do modelo *fuzzy* aplicada em um encoder incremental acoplado a um motor de corrente contínua no uso de uma planta industrial para o controle de velocidade e posição.

**Palavras-chave:** Ações de controle. Encoder. PID-*Fuzzy*.

## INTRODUÇÃO

---

<sup>1</sup> Pós-graduação – Engenharia de Automação Industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina.  
e-mail: patrichdalmagro@gmail.com

Com a automação industrial, as melhorias nos processos de produção e a alta demanda de produtos, tornou-se necessário a implantação de ações de controle em plantas industriais. Este trabalho apresenta um estudo de caso da implantação de um encoder como sistema de controle acoplado em um motor de corrente contínua, com ações de controle proporcional, integral, derivativo e a associação com *fuzzy* utilizando um sistema embarcado como controlador e elemento de medida do processo.

O crescimento do mercado de equipamentos eletrônicos, a difusão com a internet e os equipamentos de multimídia criou-se a necessidade de interação dos equipamentos dedicados com maior quantidade de periféricos externos. Para isso, estes sistemas necessitam de um desempenho que suporte todo esse fluxo de informações, os sistemas embarcados se encontram em quase todos os equipamentos utilizados no dia a dia, popularizando sistemas que antes eram utilizados apenas em aplicações específicas e forçando linguagens de programação de maior nível de abstração para a execução dessas soluções (OLIVEIRA E ANDRADE, 2013).

A sintonia e o equilíbrio dos sistemas são um desafio para os setores da engenharia que trabalham no processo de construção de sistema de controle em malha aberta ou malha fechada. A eficiência dos métodos para encontrar o equilíbrio do sistema, que torne o processo regular com valores de entrada e saída sem oscilações é de fundamental importância, considerando que pequenos ganhos na planta de um processo resultam em grandes economias de matéria-prima e benefício direto ao sistema como a diminuição do desgaste dos dispositivos revertidos em maior vida útil, assim como a manutenção dos equipamentos, aumento de produção em função de menor número de falhas e diminuição do desgaste do controlador (VIANA, 2001).

O erro é parte integrante de um sistema, se os erros não existissem não seriam necessários ajustes, porém todo sistema é suscetível a oscilações. Os controles tem a função de corrigir estes erros no menor espaço de tempo, sem que a variação do sistema ocorra de forma descontrolada.

Os controladores de motores em corrente contínua tem a função de controlar sua velocidade e estabilizar para que o processo tenha um equilíbrio entre a saída e a entrada,

---

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: helio.kayamori@sistemafiep.org.br

mantendo o sistema estável, se uma oscilação for ocasionada por peso excessivo no eixo do motor, por exemplo, a função do controle é estabilizar a velocidade do eixo, evitando aumento no fluxo de material em uma linha de produção, diminuindo gradativamente a velocidade de um elevador até que estabilize em um andar desejado. O PWM (*Pulse-Width Modulation*) utiliza um sinal de onda quadrada em que o seu valor médio varia ao longo do tempo em que o sinal está ligado. Uma onda quadrada pode ser gerada por um microcontrolador, fazendo com que uma saída seja ativada a cada semiciclo (BOLTON, 2010).

As melhorias tecnológicas demandam cada vez mais dispositivos eletrônicos. Assim a cada dia são criados componentes eletrônicos mais versáteis e mais poderosos, encontram-se nessa categoria os microprocessadores aos quais os microcontroladores pertencem e tem alcançado grande desenvolvimento. Sua facilidade de uso em amplas faixas de aplicação permite projetos relativamente rápidos e fáceis (LIMA, 2012).

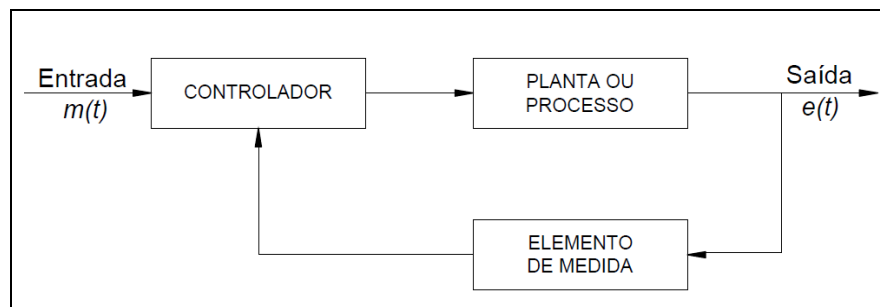
Os sistemas embarcados podem ser compostos por uma infinidade de unidades de processamento, como os componentes programáveis, que são componentes que necessitam que seu software seja alocado internamente. São componentes que possuem seu hardware fixo e que não podem ser modificados (OLIVEIRA E ANDRADE, 2013).

Um encoder é um dispositivo que fornece uma saída digital como resultado de um deslocamento linear ou angular. Os encoders de posição podem ser agrupados em duas categorias, sendo os encoders incrementais, que detectam variações na rotação a partir de uma posição dada e os encoders absolutos que fornecem a posição angular real. (BEGA, 1985). Conseguem isto graças aos sensores ópticos que leem as marcas feitas no disco que giram com o eixo, de forma que a combinação entre as cores preto e branco variam de sentido um em relação ao outro (VILARDELL, 2013).

## **AÇÕES DE CONTROLE**

Controles em malha fechada são utilizados para controlar continuamente a saída de um sistema, com o intuito de manter uma condição desejada na saída de um sistema. O controle converte o valor do erro em uma ação de controle que tem a finalidade de reduzir o erro.

Figura 1 - Sistema de controle em malha fechada.



Fonte: Adaptado de Ogata (1985, p. 4).

No diagrama de blocos da Figura 1, fica claro que os sistemas de controle atuam quando o controlador não estiver operando dentro das condições normais para o qual estiver programado, assim o elemento de medida opera o controlador quando os valores dos sinais desviarem do valor desejado e continuam atuando até a planta ou o processo se restabelecer.

A ação de um controlador automático é determinada pela diferença existente entre o valor da saída e o valor de ajuste, isso é denominado erro e assim pode ser encontrado o desvio do sistema. A ação de controle é realizada de acordo com o valor recebido pelo controlador, que envia um sinal para o elemento que ajusta constantemente o valor da saída.

### Controle Proporcional

Esta ação de controle é proporcional ao erro, assim quanto maior o erro maior será o sinal de correção, se o erro é corrigido a intensidade da correção também é reduzida (BOLTON, 2010).

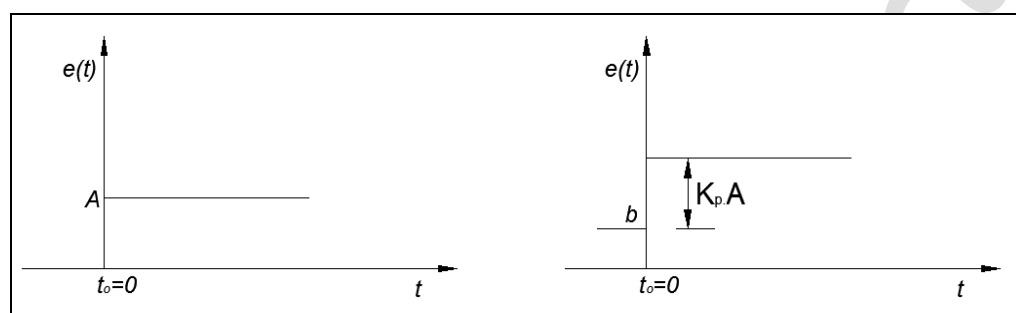
Segundo Ogata (1985), a resposta da ação de controle proporcional é conhecida como sendo um amplificador de ganho ajustável do sinal de desvio, proporcional ao erro.

A relação entre a saída do controlador e o sinal do erro atuante é dada por:

$$m(t) = K_p e(t) \quad (1)$$

Onde  $m(t)$  é o controlador,  $e(t)$  o sinal do erro e  $K_p$  é denominado como sendo a sensibilidade proporcional ou como ganho do sistema. O controlador proporcional tem como principal característica atuar com uma ação rápida para variações na saída, porém não consegue atuar sozinho em erros de regime permanente. O controle proporcional não apresenta nenhum controlador dinâmico, sua atuação depende única e exclusivamente do valor do erro, independente do tempo ou velocidade deste erro (BEGA, 2006).

Figura 2 - Saída de um controlador proporcional a um degrau de amplitude A.



Fonte: Adaptado de Bega (2006, p. 463).

Ao ser introduzido um erro de amplitude  $A$  em um sistema de malha aberta no instante  $t_0 = 0$ , a saída do controlador varia de  $b$  para  $b + K_p A$  no instante em que o erro  $e(t)$  muda de zero para  $A$ , a partir deste ponto a saída do controlador é constante se o erro se mantiver fixo no valor de  $A$ . A saída do controlador não varia quando o erro é fixo e sim quando o erro está variando como pode ser visto na Figura 2 (BEGA, 2006).

Conforme é aumentado o ganho proporcional, o erro diminui e o sistema responde de forma mais rápida, no entanto quanto maior for o valor do ganho, maior será o número de oscilações e maior o tempo para estabilização da variável. Isto limita a relação do valor do ganho proporcional, sendo que um valor excessivo pode desestabilizar o processo uma vez que a amplitude das oscilações tende a aumentar (BEGA, 2006).

## Controle Integral

O modo de ação integral é proporcional ao erro com o tempo, assim um sinal de erro constante produz um sinal de correção crescente, se o sinal do erro persiste o valor do sinal da correção continua crescente, tecnicamente a ação de controle integral é a soma da variação dos erros que ocorreram (BOLTON, 2010).

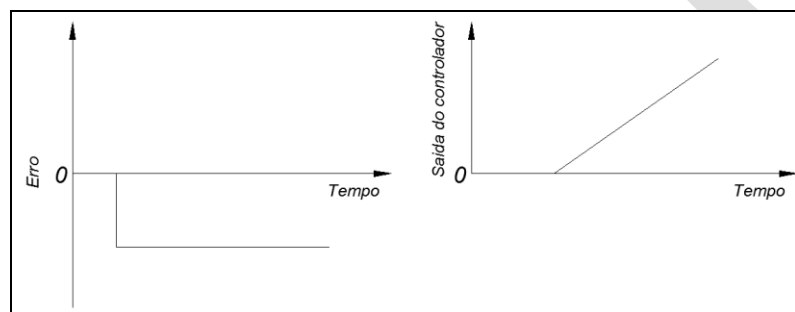
No controle integral o valor da saída do controlador varia em uma taxa proporcional ao sinal do erro atuante. Segundo Ogata (1985), a relação entre a saída do controlador e o erro atuante pode ser dada por:

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2)$$

Tendo  $m(t)$  como a variável que representa a saída do controlador,  $e(t)$  sendo o valor do erro encontrado no sistema e  $K_i$  uma constante que pode ser ajustada para sintonia do sistema.

A velocidade do valor da saída varia de acordo com o valor do erro, se o valor do erro dobrar, então o valor da saída varia duas vezes mais rápido.

Figura 3 - Ação de um controle integral.



Fonte: Adaptado de Bolton (2010, p. 356).

Até o momento em que o erro passa a existir, o valor da integral é zero, assim se a saída for zero, o erro também é zero. Quando o erro passa a existir é mantido a um valor constante, a área da curva aumenta com o tempo a uma taxa constante e a saída do controlador também aumenta a uma taxa constante (BOLTON, 2010).

## Controle Derivativo

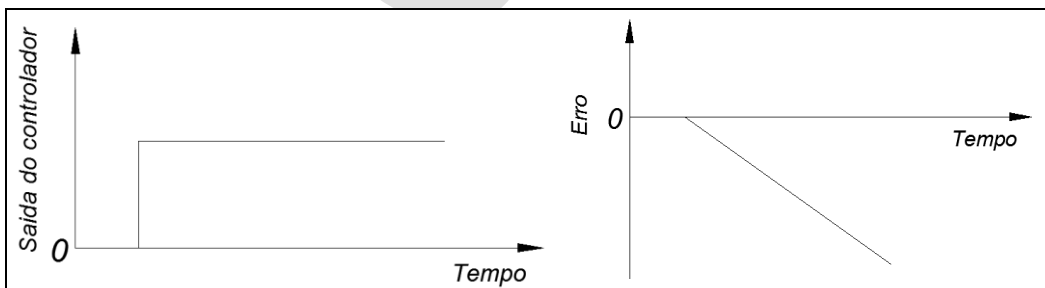
Esta ação de controle é proporcional à taxa na qual o erro varia, em uma variação rápida no sinal produzido pelo erro o controlador gera uma correção grande, em uma taxa gradual do sinal do erro o sinal produzido é pequeno, esta ação de controle tem a capacidade de antecipar o erro e aplicar a correção, porém tem a desvantagem de não poder ser utilizado sem o acompanhamento de outras ações de controle, esta ação de controle não responde aos sinais de erro em estado estacionário, sendo que neste caso a variação do erro com o tempo é zero (BOLTON, 2010).

O controlador de ação derivativa mantém a saída do controlador proporcional à taxa de variação com o tempo do sinal do erro. Segundo Ogata (1985) este método de ação de controle é representado pela equação:

$$m(t) = K_d \frac{de}{dt} \quad (3)$$

Sendo a saída do controlador  $m(t)$ ,  $K_d$  a constante de proporcionalidade e  $de/dt$  a derivada do erro atuante no tempo. Se ocorrer uma variação na entrada do sistema, a saída do controlador mantém uma taxa proporcional à variação do erro atuante e não ao valor dos sinais. As respostas iniciais, com uma taxa de variação constante no erro a derivada do sinal é determinada imediatamente.

Figura 4 – Variação constante do sinal do erro.



Fonte: Adaptado de Bolton (2010, p. 354).

Outro problema associado a esse tipo de controle é que na presença de ruídos ocorre uma variação rápida na saída em forma de variações muito rápidas no sinal do erro, podendo significar aumentos significativos na saída do controlador (BOLTON, 2010).

## Controle Fuzzy

A lógica *Fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa ou difusa é baseada na teoria dos conjuntos. Diferente das lógicas tradicionais, ela pressupõe que dentro de um conjunto de possibilidades finitas de lógicas binárias, como alto (1) e baixo (0), pode existir um subconjunto de possibilidades infinitas, como meio alto ou meio baixo.

Segundo Cavalcanti (2012), a lógica fuzzy pode ser definida como a lógica que suporta modos de raciocínio similar ao dos humanos, ao contrário dos modos exatos como os habitualmente utilizados em problemas de lógica. Possui a característica intrínseca de trabalhar com os meios incompletos ou até mesmo chamados de incertos.

A equação matemática que melhor descreve os sistemas difusos e que podem ser aplicados de uma maneira geral para aplicar no início do desenvolvimento de um problema pode ser escrito da seguinte maneira:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (4)$$

Sendo  $X_A$  uma dada função cujo domínio é  $U$  e a sua imagem esta contida no conjunto  $\{0,1\}$ . Isso mostra que  $X_A(x)=1$  indica que o elemento  $x$  está em  $A$ , enquanto  $X_A(x)=0$  indica que  $x$  não é elemento de  $A$ .

Segundo Campos (2004) não existe um método correto para determinar uma quantidade exata de regras que podem ser aplicadas a um controlador *fuzzy*, algumas determinantes são necessárias, tais como o desempenho desejado na saída do processo, a quantidade de subconjuntos adotados e outros aspectos qualitativos dos processos que serão resolvidos.

Um controlador com a capacidade de retirar os ruídos encontrados na entrada do sistema e não enviá-los para a saída é considerado um controlador de ótima qualidade,

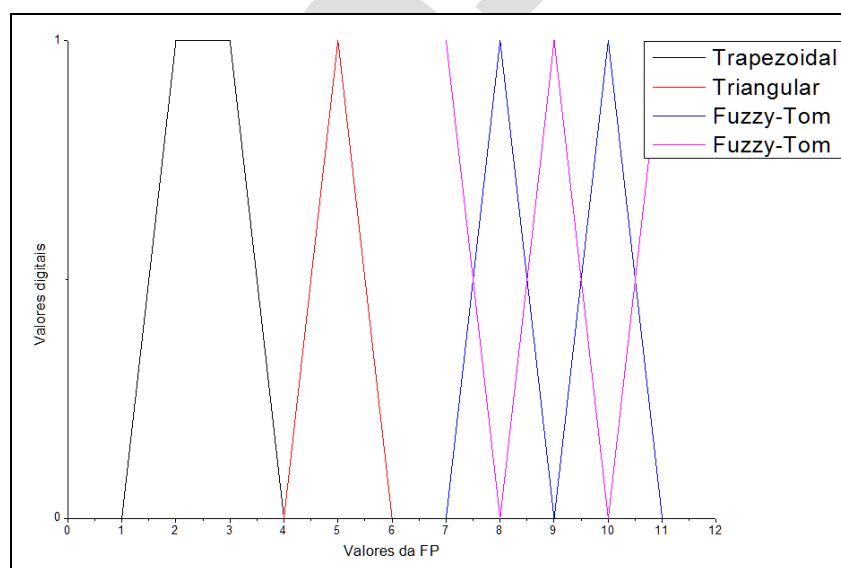
isso o torna insensível às variações dos parâmetros do processo. Já um controlador baseado na lógica *fuzzy* é considerado de boa qualidade se for insensível às variações do processo em função do processo da programação.

É possível aumentar a capacidade de supressão de ruídos de um sistema calculando a razão entre o valor médio da entrada do sistema pela sua variância ( $m_e / \sigma_e$ ) e para a saída de forma análoga o valor médio da ação de controle pela sua variância ( $m_s / \sigma_s$ ). Se o valor da saída for mantido praticamente como uma constante, então o controlador pode ser considerado robusto (CAMPOS, 2004).

### Funções de pertinência

As funções de pertinência contem as características fundamentais das decisões tomadas pelo processo *fuzzy*. Definem o espaço de tempo das aplicações em que podem alternar seus valores linguísticos. Para Simões (2007) as funções de pertinência representam os aspectos fundamentais de todas as ações teóricas e práticas de sistemas *fuzzy*. Define como uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência para valores de uma variável.

Figura 5: Demonstração dos tipos de funções de pertinência em um gráfico.



Fonte: Adaptado de Simões (2007, págs. 47, 48).

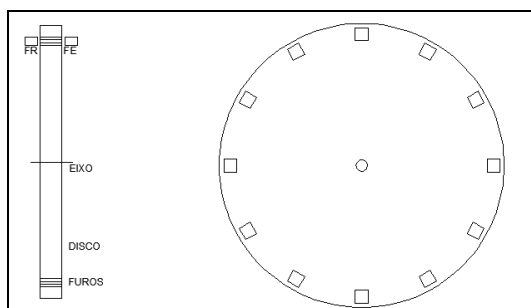
Os gráficos da Figura 5 demonstram como as funções de pertinência podem ser apresentadas. No espaço de 1 a 4 na forma trapezoidal, de 4 a 6 na forma triangular e no espaço de 6 a 11 a forma é conhecido como *fuzzy-tom*.

Não existe uma regra padrão para ser definida uma quantidade de conjuntos linguísticos, podem ser determinados de acordo com a necessidade de precisão da saída e geralmente são precedidas de uma análise funcional do processo. Por outro lado quanto maior o número de variáveis linguísticas dentro de uma logica *fuzzy* maior a precisão da saída.

## Encoders

Os encoders são dispositivos que oferecem uma saída digital como resultado de um deslocamento linear ou angular. A forma mais básica de um encoder incremental angular utilizado para medir deslocamento angular pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Princípio básico de um encoder incremental.



Fonte: Adaptado de Bolton (2010, p.48).

Um feixe de luz chamado de foto emissor (FE) passa através das fendas do disco rotativo, este feixe é detectado por um sensor de luz chamado de fotorreceptor (FR), uma saída pulsada é gerada pelo sensor, assim o número de pulsos gerados é proporcional ao ângulo de giro do disco, como o disco é preso ao eixo a rotação é determinada pelo número de pulsos produzidos a partir da posição de referência (BOLTON, 2010).

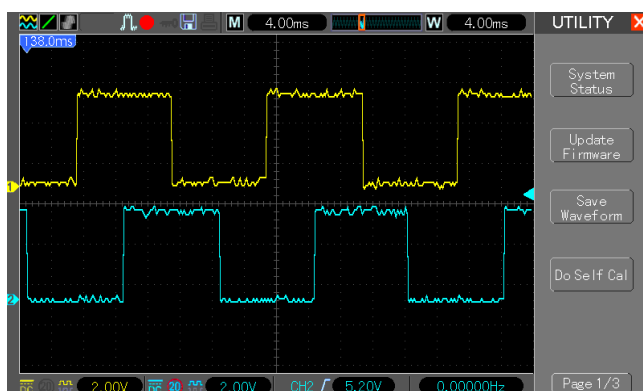
O encoder incremental detecta variações na rotação a partir de uma posição dada e podem ser usados para determinar a velocidade angular ou posicionar uma peça rotativa,

assim pode registrar posições ou velocidades contando o número de pulsos gerados pelo movimento do disco (BOLTON, 2010).

$$\frac{\text{N}^{\circ}\text{total de graus}}{\text{Qtd de furos no disco}} = \text{Resolução} \quad (5)$$

A resolução de um encoder é determinada pelo número de furos existentes no disco. Um disco com sessenta furos em uma revolução tem uma precisão de seis graus ( $6^{\circ}$ ), já que o total de graus do disco é de trezentos e sessenta graus ( $360^{\circ}$ ).

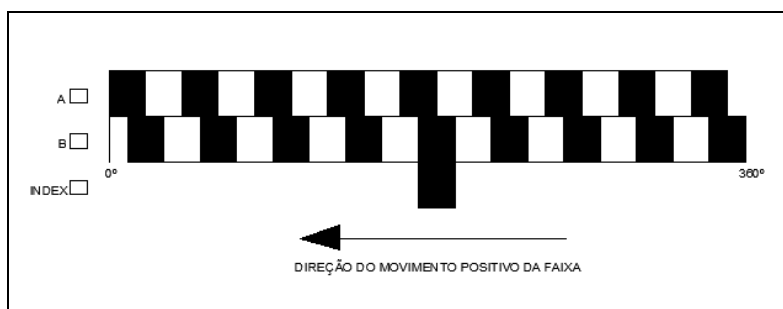
Figura 7: Canais A e B digitais com saída na forma de onda quadrada.



Fonte: *Do autor.*

É possível detectar o sentido de rotação de um encoder através de um deslocamento nos furos do disco. Com uma faixa adicional o encoder é capaz de identificar qual o pulso que é recebido primeiro no fotorreceptor, a relação de avanço ou atraso de fase entre os sinais determina o sentido de rotação do eixo (BRAGA, 2014).

Figura 8 - Padrão de faixa do disco de um encoder incremental.



Fonte: Adaptado de Alciatore (2014, p. 390).

Se a faixa A recebe o sinal primeiro, então o disco gira em um sentido, se B recebe o primeiro sinal, então o disco gira em outro sentido, está defasado em 25% um do outro, isso é denominado sinal em quadratura. Geralmente o disco possui uma terceira faixa, chamada de *INDEX*, produz um pulso por revolução, útil para contagem de voltas completas e também marcar a posição de referência, conforme ilustrado na Figura 8 (BRAGA, 2014).

## Sistemas embarcados

Os microprocessadores e microcontroladores são frequentemente embarcados nos sistemas de forma que possa ser exercido o controle. O operador não tem a função de programar o microcontrolador ou microprocessador, apenas escolher qual função o microcontrolador irá executar sendo que o programa ou rotina que este irá executar já vem do fabricante e não pode ser alterada pelo usuário.

O termo sistema embarcado é usado para um sistema microprocessado que é projetado para controlar uma ou mais funções e não é projetado para ser programado pelo usuário do sistema. A programação é feita pelo fabricante e é gravada no sistema de memória, não podendo ser alterada pelo usuário do sistema (BOLTON, 2010).

Os sistemas embarcados são compostos por uma unidade de processamento, sendo o circuito integrado (CI), fixado a um circuito impresso (PCB – *Printed Circuit Board*) (OLIVEIRA; ANDRADE, 2013).

### 2.7.1 Arquitetura geral de um sistema embarcado

Para que um sistema embarcado realize sua função de maneira satisfatória e para que a saída do sistema se mantenha dentro dos valores desejados, os itens de maior evidência no sistema são as memórias, é os locais onde o *software*, os dados temporários e as instruções básicas do processador ficam armazenados. As principais características das memórias eletrônicas são:

Tempo de acesso – tempo necessário para acessar a memória e realizar uma operação de leitura ou de gravação.

Capacidade – quantidade efetiva de dados que podem ser armazenados no interior da memória.

Não volatilidade – capacidade que a memória tem de manter seus dados mesmo quando não houver alimentação de energia elétrica.

Tempo de latência – intervalo mínimo entre cada operação de leitura ou escrita na memória. Ele deve ser essencialmente respeitado, pois pode acarretar a utilização de espaços indevidos da memória, podendo causar a perda ou manipulação incorreta de dados.

Segundo Oliveira e Andrade (2013), ainda existem várias tecnologias de fabricação de memórias. As memórias dos microcontroladores são circuitos capazes de armazenar uma grande quantidade de *bits* e podem ser organizados em palavras ou posições que ocupam dentro da memória. Se comparadas aos registradores são mais lentas. As memórias dos microcontroladores podem ser divididas em categorias (SOUZA, 2003).

### **Função de transferência**

O estudo do controle de processos necessita de algumas ferramentas matemáticas que permitem desenvolver as funções de transferência. A partir das funções de transferência podem-se analisar as respostas dos sistemas de controle devido às perturbações e variações mais comuns no processo.

Como para muitos sistemas as relações entre a entrada e a saída ocorrem na forma de equações diferenciais dadas em função do tempo, onde não é possível declarar que esta função seja apenas um número. A equação diferencial de entrada e da saída de um sistema, não pode ser tratada como uma simples equação algébrica. Para transformar a equação diferencial em uma equação algébrica utiliza-se de um recurso da matemática denominado, transformada de Laplace (L) (OGATA, 1985).

Segundo Ogata (1985) as funções de transferência caracterizam as relações de entrada e saída de sistemas lineares invariáveis no tempo, sendo abrangente a alguns sistemas não

lineares. São definidas como sendo a relação da transformada de Laplace da saída  $Y(s)$  pela transformada de Laplace da entrada  $X(s)$ .

As equações diferenciais descrevem como os sistemas se comportam no tempo e quando transformadas pelo método de Laplace transformam-se em equações algébricas simples, nas quais o tempo não se envolve, então é possível realizar manipulações algébricas normais. Assim o comportamento da equação diferencial que antes era no domínio do tempo ( $t$ ), depois de transformada trata-se de um comportamento no domínio de ( $s$ ). De acordo com Ogata (1985), a representação de uma função no domínio do tempo  $f(t)$  é substituída pela representação de Laplace no domínio de  $s$   $F(s)$ , como na equação 6:

$$L[f(t)] = F(s) \int_0^{+\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (6)$$

Definir uma relação entre entrada e saída de um sistema em termos de uma função de transferência mantém a relação entre a transformada de Laplace da entrada e da saída (OGATA, 1985). A equação diferencial de um sistema linear invariável no tempo pode ser expressa da seguinte maneira:

$$a_0^{(n)} y + a_1^{(n-1)} \dot{y} + \dots + a_{n-1} \ddot{y} + a_n y = b_0^{(m)} x + b_1^{(m-1)} \dot{x} + \dots + b_{m-1} \ddot{x} + b_m x \quad (7)$$

Onde  $y$  é considerado a saída do sistema e  $x$  é a entrada, sendo que as condições iniciais sejam nulas, ou seja, se a entrada for igual à zero, a saída do sistema será também igual à zero, a função de transferência deste sistema pode ser obtida, aplicando a transformada de Laplace em ambos os termos da equação.

Se a entrada de um sistema linear com uma transformada de Laplace  $Y(s)$  e a saída do sistema com a transformada de Laplace  $X(s)$ , a função de transferência  $G(s)$  (OGATA, 1985), pode ser escrita na forma:

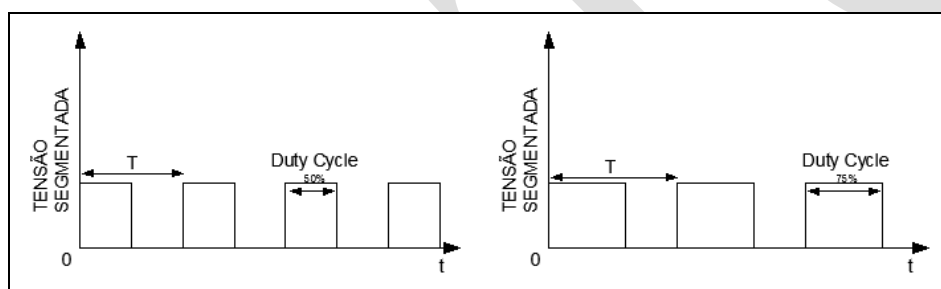
$$\text{Função de transferência} = G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + b_{n-1} s + b_n} \quad (8)$$

Desse modo é possível representar a dinâmica de um sistema por meio de uma equação algébrica em  $s$ . Se a maior potência de  $s$  no denominador da função de transferência for igual a  $n$ , o sistema será denominado sistema de ordem  $n$  (OGATA, 1985).

### Modulação por largura de pulso (PWM)

O PWM (*Pulse Width Modulation*) ou Modulação por Largura de Pulso é utilizado para segmentar uma alimentação de Corrente Contínua (CC) constante, variando seu valor médio e utilizando uma onda quadrada, que varia através do tempo em que o sinal está ligado. Seu uso é empregado em controle de lâmpadas para variação do fluxo luminoso ou no controle da velocidade de motores CC, através de um circuito básico, com o uso de um transistor controlado por um microcontrolador, que pode ser programado com um valor médio constante ou variado (BOLTON, 2010).

Figura 9 – Variação da tensão (*Duty Cycle*).



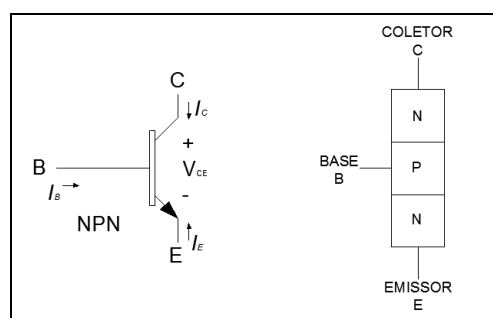
Fonte: Adaptado de Bolton (2010, p. 234).

A utilização do transistor como uma chave que atua ligando e desligando o sistema várias vezes por segundo através de um sinal aplicado em sua base, denominado como ciclo de trabalho (*Duty Cycle*), usado para a fração de cada ciclo para o qual a tensão é de nível alto, como na Figura 9 (JUSTEN, 2015).

### Transistores

Os transistores bipolares são encontrados em dois tipos, eles podem ser do tipo NPN ou PNP, possuem três camadas e duas junções, como na Figura 10, e são usados em dois tipos básicos de aplicação, podem ser empregados em chaveamento e amplificação. É conhecido como transistor bipolar de junção (BJT, bipolar junction transistor), possui três terminais denominados como base (B), coletor (C) e emissor (E), como pode ser visto na Figura 10 (AHMED, 2000).

Figura 10: Símbolo e estrutura interna do transistor NPN.



Fonte: Adaptado de Ahmed (2000, p. 57).

Para o emissor e o coletor devem ser respeitadas as posições de entrada e saída, já que suas características e seus valores nominais mudam de forma significativa com a inversão. Para ser usado como chave um transistor deve ter seus terminais, coletor e emissor são ligados em série com o circuito da fonte, enquanto os terminais base e emissor são ligados ao circuito acionador, que controla a ação de chaveamento. A corrente que passa pela junção base-emissor que induz o fluxo da corrente entre coletor-emissor (AHMED, 2000).

## METODOLOGIA

O estudo se inicia com uma revisão literária das obras que tratam de controles de processo utilizando as ações de controle. Baseado nos métodos conhecidos é possível desenvolver um sistema e aplicar estas ações de controle para a sintonia do sistema, visando à economia dos equipamentos e energia utilizados nas plantas de processo. Um estudo na forma qualitativa comparando as respostas encontradas propicia maior familiaridade com o problema. Com a análise dos gráficos obtidos, por meio de softwares específicos para a programação e para inserção de valores que sejam convenientes para o projeto, é possível

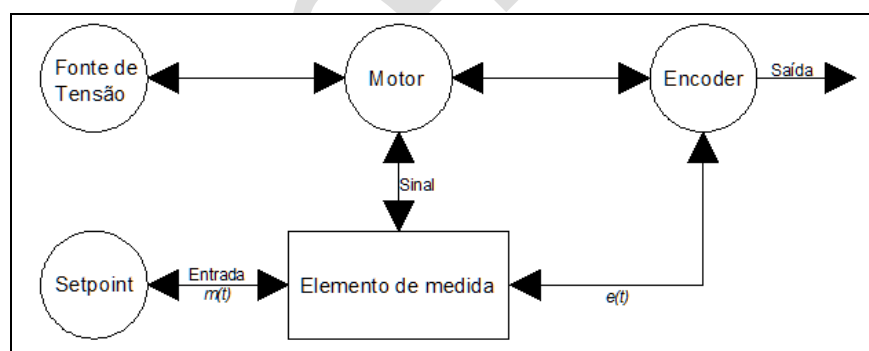
realizar um estudo de qual será o método empregado mais eficiente em ações de controle de velocidade e posição, juntos e separadamente. Verificar se os métodos proporcional (P), integral (I), derivativo (D) e *fuzzy* podem ser aplicados em todas as estruturas onde é necessário fazer uso das ações de controle em velocidade e posição.

A aplicação de motores em corrente contínua mostra certa vantagem em relação aos motores de corrente alternada devido ao fato de serem mais fáceis de aplicar o sinal modulado por largura de pulso (PWM), possibilitando o controle de velocidade sem aplicação de equipamentos com custo mais elevado.

Um resumo descritivo a respeito de sistemas embarcados responsável pelo controle, programação e coleta de dados propicia confiabilidade na sua aplicação e nos resultados. Com a montagem da planta é possível fazer a coleta de dados, inserir os valores dos resultados e realizar o comparativo entre os gráficos teórico e experimental, relacionando quais métodos serão empregados em cada etapa do processo de análise e comparando qual método apresenta o melhor resultado.

A montagem de um sistema em malha fechada para análise do comportamento de um encoder, aplicados no uso do controle de velocidade e posição, acoplado a um motor de corrente contínua, sendo controlado por um sistema embarcado para a coleta de dados e observação dos resultados.

Figura 11 – Estrutura em blocos da planta montada para coleta dos dados.



Fonte: O autor (2018).

Como pode ser observado na estrutura de blocos da Figura 11, o valor desejado é delimitado no *setpoint*, o elemento de medida recebe este valor e envia um parâmetro para o motor. O eixo do motor é acoplado ao encoder por meio de uma correia dentada. O

encoder envia o sinal que é recebido pelo elemento de medida, com a leitura da velocidade e da posição do motor é possível ao elemento de medida controlar a velocidade e a posição do motor baseado no valor do erro. O valor do erro é entendido pelo programa como sendo a diferença entre o *setpoint* e a velocidade ou posição do motor, ou seja, enquanto a diferença não for igual à zero, o elemento de medida continuará atuando. Quando a diferença for igual à zero, o elemento de medida continuará atuando como controlador do sistema se houver uma oscilação ou um distúrbio no processo e o erro aumentar ou diminuir o elemento de medida voltará a atuar até que o sistema entre novamente em equilíbrio, mantendo o erro igual a zero.

Para que a velocidade ou posição do motor seja controlada pelo elemento de medida é necessário que a quantidade de pulsos gerada pelo encoder seja conhecida, assim cada volta completa do encoder significa uma volta completa do eixo do motor, desta forma pode-se determinar que, cada volta do eixo fornece uma quantidade exata de pulsos gerados no encoder. A leitura em função do tempo foi feita tendo como base o *clock* do sistema.

Criando uma variável auxiliar que faça a leitura da quantidade de pulsos gerados pelo encoder, com o total de pulsos gerados em uma volta divididos pela quantidade de 1000 milissegundos fornecidos pelo sistema embarcado e outra variável auxiliar que guarde o valor 60 segundos dividido pela variação do tempo dentro de uma volta fornecerá a quantidade exata de revoluções por minuto (RPM).

Para o sistema de controle de posição a aplicação de uma ação de controle com maior precisão é necessária. A programação desenvolvida para o controle de posição apresentou resultados em centímetros (cm) em função do tempo e a programação desenvolvida para o controle de posição terá resultados em espaço para o tempo até o valor de ajuste (*setpoint*). No controle da posição houve a inserção de uma condição para erro igual a zero quando a diferença entre o erro e o valor de ajuste for igual à zero, o sistema entra em estado de espera. Para essa medição, além da quantidade de pulsos gerada pelo encoder também é necessário saber o comprimento da correia utilizada, sendo a relação das polias 1:1 o cálculo pode ser desprezado. Diferente de uma ação de controle liga-desliga (*On-Off*), a atuação do sistema controle tende a trazer a leitura de volta ao ponto de ajuste se este for diferente de zero.

## DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

Neste capítulo são apresentados os equipamentos empregados para que a coleta de dados se torne possível de forma a visualizar os resultados na forma de gráficos, onde serão utilizados *softwares* computacionais para montagem dos mesmos, facilitando a interpretação da revisão bibliográfica descrita nos capítulos anteriores.

As ações de controle foram empregadas em uma planta para o estudo, a programação realizada em um *software* específico do sistema embarcado possibilitando que os resultados sejam obtidos em tempo real e os resultados sendo convertidos em gráficos facilitando a análise de cada ação em situações diversas, demonstrando as curvas características de cada ação de controle pode-se verificar qual ação de controle pode ser melhor empregada nesse processo, uma breve descrição da programação empregada para a coleta de dados, explicando as técnicas utilizadas para definição de valores em função do tempo.

### Controle proporcional (P)

O controle proporcional é definido como sendo a sensibilidade do ganho em um sistema de malha fechada. Tem a capacidade de regular a intensidade com que o controlador corrige os erros existentes entre a entrada e a saída, determina a estabilidade do sistema, mas é totalmente dependente do valor do desvio.

Não há nenhum tipo de controle dinâmico. A constante  $K_p$  é ajustada de maneira a buscar o equilíbrio do sistema, provocando menor número de oscilações e distúrbios em função do tempo de funcionamento.

Aplicando valores diferentes de  $K_p$ , constante encontrada na Equação 1, a velocidade e a posição do motor não encontram o valor do ponto de ajuste ficando sempre abaixo da velocidade e posição selecionados, com uma grande instabilidade do processo.

### Controle derivativo (D)

O controle derivativo é proporcional à taxa de variação com o tempo do sinal do erro. Segundo Bolton W. (2010), o controle derivativo não é utilizado separadamente, está sempre associado a outras ações de controle. Sendo que os controladores derivativos não respondem aos sinais do erro em estado estacionário assim a variação do erro com o tempo sempre é zero.

### **Controle integral (I)**

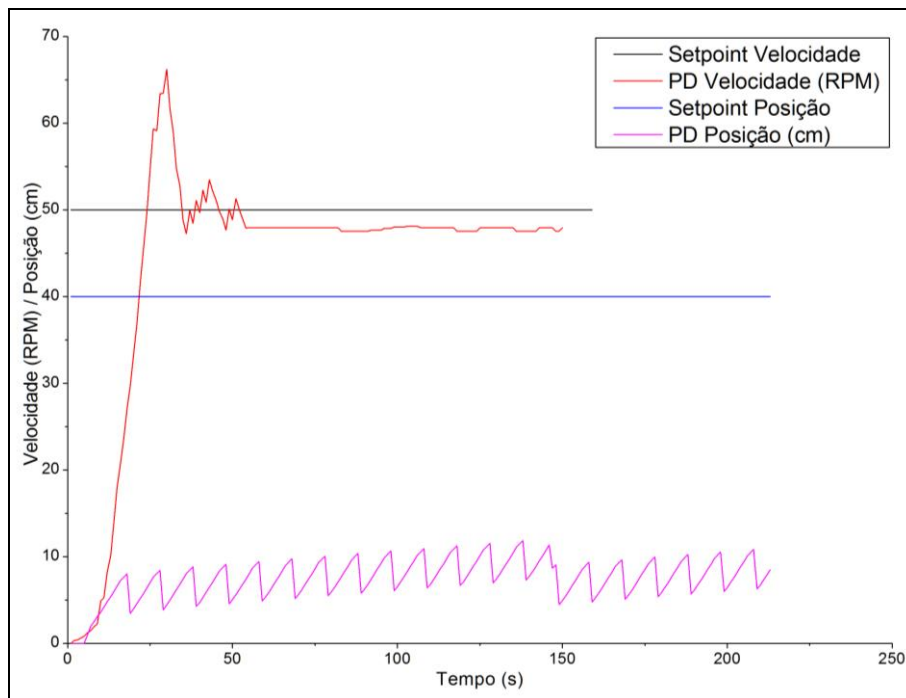
A constante  $K_i$  é ajustada no sistema, onde a variação ocorre em função do erro, se o desvio for constante, então o erro for constante a saída também se torna constante não havendo ajuste.

A ação de controle integral segundo Ogata K. (1985), permanece com valor da entrada estacionário enquanto o erro for nulo, pode ser usada como controle de reestabelecimento do sistema ou como *reset*. Se a saída do controlador variar com valores constantes o erro também terá um valor constante.

### **Controle Proporcional Derivativo (PD)**

Na ação de controle Proporcional Derivativo (PD), as duas constantes  $K_p$  e  $T_d$  são constantes ajustáveis, multiplicadas pelo erro e depois somadas definem o valor da entrada, a presença do tempo derivativo  $T_d$  define o intervalo de tempo que a ação influencia no efeito da ação de controle. A sintonia para a ação de controle proporcional derivativo depende do ajuste dos dois valores  $K_p$  e  $T_d$ , porém o aumento excessivo de um ou de outro faz com que o sistema entre em desequilíbrio.

Figura 12: Velocidade e posição em função do tempo ajustes de  $K_p - 0,08$  e  $T_d - 0,018$  para velocidade e  $K_p - 0,05$  e  $T_d - 0,08$  para posição.



Fonte: O autor (2018).

Segundo Ogata K. (1985), a ação de controle derivativa não pode ser usada sozinha sendo efetiva somente em intervalos transitórios, sendo que a ação derivativa não elimina o erro e a ação proporcional se mantém afastada do valor de ajuste.

Com valores maiores nas constantes é possível diminuir o *overshoot*, porém a resposta do sistema se distancia do valor do *setpoint*, mesmo se mantidos em uma razão proporcional dos valores aplicados, com os valores das constantes menores é possível obter um ajuste mais fino com *overshoot* menor, porém com o tempo do alcance do *setpoint* maior, se a razão das constantes for menor o valor do *setpoint* não é alcançado. Para o controle de posição os valores das constantes não alcançaram o *setpoint*, sendo que o erro é sempre proporcional ao desvio, que é dado pela diferença existente entre o valor da saída e o valor do *setpoint*.

De uma maneira geral, se a ação de controle proporcional mais derivativa for aplicada em sistemas que tenham a necessidade de ser controladas a velocidade ou posição de um sistema não teria efeito sobre a planta, como pode ser visto na Figura 12.

Para a aplicação desta ação de controle são unidas a ação proporcional (P) e a ação derivativa (D), a equação para a ação de controle PD aplicada no código base conta com a união das duas ações de controle.

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + b \quad (9)$$

Onde  $m(t)$  é considerado como sendo a saída do controlador no tempo,  $e(t)$  é o erro causado pela diferença da variação do valor desejado pelo *setpoint*,  $K_p$  como sendo a constante do ganho proporcional do sistema,  $T_d$  o tempo derivativo que é dado em segundos e nesse caso o  $b$  como sendo a constante que determina a saída do controlador quando o erro é zero, ou a saída manual do controlador.

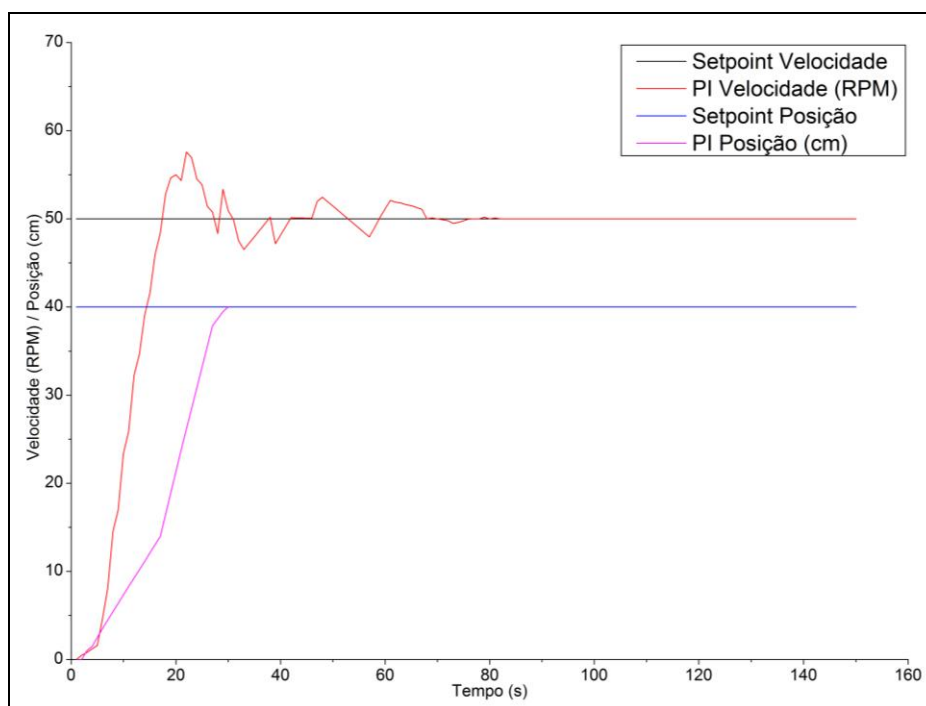
### Controle Proporcional Integral (PI)

Na ação de controle proporcional integral (PI) há duas constantes ajustáveis,  $K_p$  que representa a sensibilidade proporcional do sistema e  $T_i$  que representa o tempo da integral. Segundo Ogata K. (1985), o tempo integral ajusta a ação de controle da integral e o ganho influencia na parte proporcional e na parte integral. O termo  $T_i$  é denominado de taxa de reestabelecimento e representa o número de vezes em que a parte proporcional é duplicada.

Segundo Bega E. (2006), a taxa de reestabelecimento é eliminada quando o processo atingir a estabilidade devido à característica de variar sempre que houver um distúrbio na saída.

Para analisar o tempo integral, a sensibilidade proporcional é mantida constante, assim apenas o termo  $T_i$  é alterado. Na Figura 13, ao termo proporcional é atribuído um valor constante de  $K_p = 0,05$  e o valor da integral é de  $T_i = 0,008$ . Da mesma forma na análise da posição e função do tempo o termo  $K_p$  é mantido constante enquanto a constante  $T_i$  é alterada para o valor de 0,012.

Figura 13: Velocidade e posição em função do tempo com  $K_p = 0,05$  e  $T_i = 0,08$  para velocidade e  $K_p = 0,05$  e  $T_i = 0,012$  para posição.



Fonte: O autor (2018).

O controle proporcional mais integral aplicado ao sistema de velocidade alcançou a estabilidade em torno do *setpoint*, se os valores das constantes forem aumentados o tempo para alcançar o valor do *setpoint* aumenta de forma significativa, porém diminui o *overshoot*. Se a diferença entre os valores das constantes for aumentada ocorrem distúrbios na aproximação do *setpoint* e o *overshoot* aumentado de forma significativa, além do aumento no tempo de subida.

Para o controle da posição o valor da constante proporcional foi mantido o mesmo utilizado no controle da velocidade, já que este valor fornece uma saída proporcional ao erro atuante. Se aumentado o valor da constante integral, o tempo de resposta também é aumentado, ocasionando oscilações na rampa de subida e em torno do *setpoint* que demoram a estabilizar.

A ação de controle proporcional (P) mais a ação de controle integral (I) combinadas proporcionam um ajuste fino no sistema, a equação aplicada no sistema utiliza os valores do erro na saída e duas constantes, o  $K_p$  da parte proporcional e o  $T_i$  da parte integrativa, no código base foi escrita na forma:

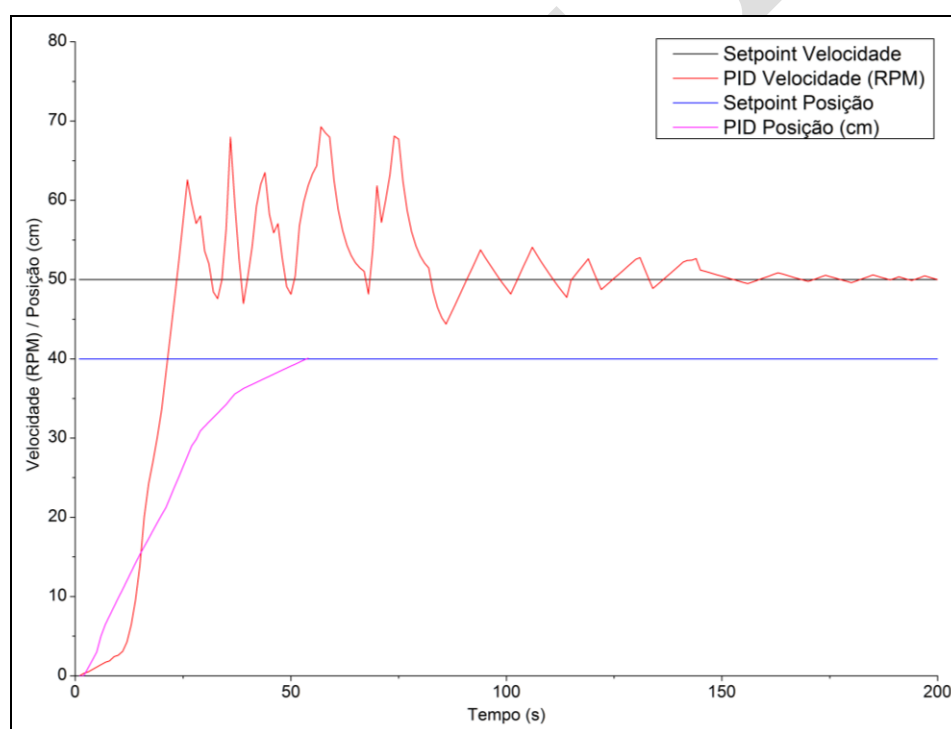
$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + b \quad (10)$$

Onde  $m(t)$  simboliza a saída do controlador,  $e(t)$  é o erro atuante do sistema sendo a diferença entre o *setpoint* e a variável de saída,  $K_p$  é o ganho proporcional sendo o valor de uma constante,  $T_i$  o valor do tempo integral dado em segundos e  $b$  que representa a saída do controlador quando o erro atuante for igual a zero.

### Controle Proporcional Integral Derivativo (PID)

A ação de controle proporcional mais integral mais derivativa tem a capacidade de unir todos os benefícios que as ações de controle proporcionam. Segundo Bega (2006), esta ação de controle combina as características de estabilidade do controle proporcional mais derivativo com as características de eliminação do erro da ação de controle proporcional mais integral.

Figura 14: Velocidade e posição em função do tempo com  $K_p - 0,05$ ,  $T_i - 0,08$  e  $T_d - 0,018$  para velocidade e  $K_p - 0,05$ ,  $T_i - 0,012$  e  $T_d - 0,018$  para posição.



Fonte: O autor (2018).

Tecnicamente a soma das três vantagens resultaria em uma curva melhor, com um tempo de subida médio e menor número de oscilações, porém a aplicação do controle PID nesse sistema não ofereceu vantagens, apenas distúrbios. Aplicaram-se os valores que apresentaram os melhores resultados nas ações de controle proporcional integral e proporcional derivativo. O aumento no valor das constantes gerou maior instabilidade no gráfico. A redução dos valores ocasionou, além do aumento da instabilidade, aumento excessivo do tempo na subida.

A rampa de subida foi rápida em relação a outras ações de controle, porém ao atingir o ponto de ajuste, não houve estabilidade, a aceleração do motor se manteve acima do valor do *setpoint*, na tentativa de estabilizar a velocidade em torno do ponto de ajuste mais oscilações surgiram, aumentando a distância da curva em relação ao ponto de ajuste, tornando a ação não aplicável neste tipo de processo.

No controle de posição, a rampa de subida do sistema foi lenta sem distúrbios, a princípio a ação de controle se demonstra estável, no momento em que a curva atingiu o ponto de ajuste o sistema se manteve dentro dos parâmetros desejados.

O gráfico da Figura 14 mostra que para um sistema onde a necessidade de um controle de posição, os valores do tempo integral e derivativo e da sensibilidade do processo não seriam aplicáveis devido ao tempo extremamente longo para atingir o *setpoint*.

A ação de controle proporcional (P), integral (I) e derivativa (D) utiliza o valor do erro e três constantes associadas sendo  $K_p$  a constante da parte proporcional,  $T_i$  a constante da parte integrativa e  $T_d$  a constante da parte derivativa, a equação utilizada pode ser escrita na forma:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + b \quad (11)$$

De maneira análoga as variáveis são definidas como sendo  $m(t)$  a saída do controlador,  $e(t)$  é o erro atuante do sistema sendo a diferença entre o *setpoint* e a variável de saída,  $K_p$  é o ganho proporcional sendo o valor da constante na parte proporcional,  $T_i$  o valor do

tempo integral dado em segundos,  $T_i$  a constante da parte integrativa e  $b$  que representa a saída do controlador quando o erro atuante for igual a zero.

### Controle Fuzzy integrado ao controle Proporcional Integral Derivativo

Em um sistema controlado por PID-*fuzzy* a definição do universo de referência das variáveis do controlador deve ser conhecida o intervalo de normalização e a definição das funções de pertinência deve ser conhecida. Ao se definir a normalização definem-se também fatores de escala para as variáveis associadas ao processo, assim de certa forma, os fatores de escala passam a ser conhecidos como sendo os parâmetros de sintonia do controlador *fuzzy*.

Os valores linguísticos necessários para o controle definem as funções de pertinência, são os valores definidos entre os níveis lógicos alto e baixo, ligado e desligado, um e zero, etc. As variáveis de entrada associadas com as variáveis de saída são definidas como sendo as regras de controle, são elaboradas a partir da análise do processo, conhecimento do equipamento ao qual será aplicado o controle e conhecimento dos operadores.

A equação que define um controlador PID-*Fuzzy* é análoga à equação do PID, pode ser escrita na forma:

$$\Delta U(n) = K_p * \Delta E(n) + (1/T_i) * E(n) * TA + T_d * \Delta^2 E(n) / T_A \quad (12)$$

Sendo  $\Delta U$  a variação da saída,  $K_p$  o ajuste proporcional do controlador,  $T_i$  o ajuste integral do controlador,  $T_D$  o ajuste derivativo do controlador,  $\Delta E$  a variação do erro entre dois intervalos de amostragem e  $TA$  o tempo de amostragem do controlador, nesse caso dado em segundos.

A normalização das variáveis será definida entre os valores adotados para o controle de velocidade e posição, isto também define o número de regras adotadas para o controle, ou seja, para o caso de duas variáveis de entrada ( $E$  e  $\Delta E$ ) e cada variável linguística tenha 10 (dez) valores definidos entre 0 e 1, pode-se chegar a um total de  $10^2 = 100$  regras para esta aplicação.

Um controlador define suas variáveis de entrada com base nos valores de saída ou nos valores do erro atuante, conhecido também como o desvio entre a variável do processo e o seu *setpoint*.

Quadro 1: Quadro dos valores adotados para normatização das variáveis.

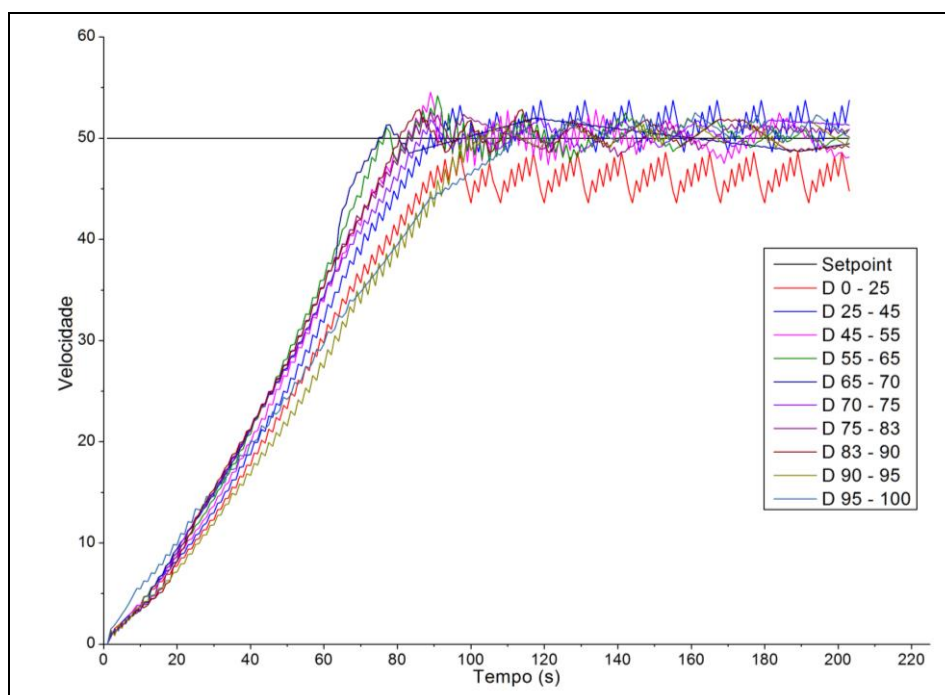
$E$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\Delta E$	0	25	45	55	65	70	75	83	90	95	100
$\Delta U$ (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$FP$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$TA$	0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240

Fonte: O autor (2018).

O Quadro 1 define os valores que foram aplicados na codificação para a associação das ações de controle com *fuzzy*. Os valores das variáveis de entrada ( $E$  e  $\Delta E$ ) são definidos a partir do valor inicial (0) até o valor do *setpoint* (50), com um range de medida  $E$  de 1/50 e o  $\Delta E$  com um range de medida de 1/100. O  $\Delta U$  define a percentagem da variação na saída que pode ser de 0 até 100%. Os valores linguísticos definem as funções de pertinência ( $FP$ ) para este estudo foram definidos com valores constantes e definem o número total de 10 regras que serão aplicados ao controle com valores entre 0 e 1.

A aplicação da ação de controle PID-*Fuzzy* não apresentou resultados satisfatórios na planta de controle de velocidade, a resposta demorada em atingir o valor desejado e as oscilações em torno do *setpoint* mostra que para a aplicação no controle de velocidade a ação de controle PID associada com *fuzzy* não pode ser utilizada. A oscilação de longa duração na maioria dos valores inseridos no código não permite que seja aplicado em processos industriais.

Figura 15: Gráfico da velocidade, gerado a partir dos valores da variação do erro ( $\Delta E$ ) do Quadro 1.



Fonte: O autor (2018).

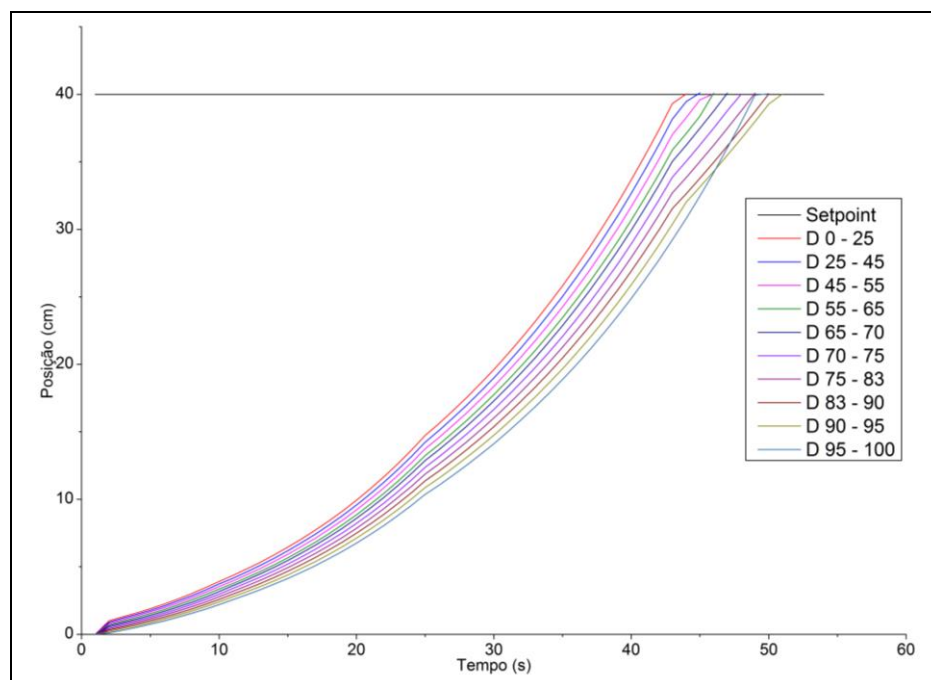
Segundo Campos (2004) um controlador *fuzzy* é considerado como sendo uma função não linear do produto cartesiano das variáveis de entrada no espaço da saída. Isso torna o processo difícil de ser sintonizado e também aplicável em processo cuja resposta de saída não sofra distúrbios inerentes ao processo, como carga no eixo ao longo do tempo.

A forma de coleta de dados foi feita com base nos valores do erro da saída ( $E$ ,  $\Delta E$  e  $\Delta^2 E$ ). A inserção dos valores foi colocada em uma matriz onde dentro da codificação foram calculados e os valores de resposta memorizados dentro de um vetor, assim os valores do vetor foram considerados como sendo as respostas do sistema para cada espaço de tempo.

Os valores das constantes  $K_p$ ,  $T_I$  e  $T_D$  foram mantidos dentro dos valores encontrados na aplicação da ação de controle PID, a variação destes valores para maiores ou menores ocasionaram maiores distorções no gráfico encontrado da Figura 14.

Para o controle de posição a aplicação da ação de controle PID-*Fuzzy* teve uma resposta mais rápida que no controle de velocidade, porém ainda não se encontra dentro dos parâmetros desejados. Apesar de a curva apresentada estar dentro do valor ajustado houve um aumento excessivo do tempo até que a posição alcançasse o valor do *setpoint*, tornando a ação de controle obsoleta para esta aplicação.

Figura 16: Gráfico da velocidade, gerado a partir dos valores da variação do erro ( $\Delta E$ ) do Quadro 1.



Fonte: O autor (2018).

De maneira análoga ao controle de velocidade foram utilizados os mesmos valores das constantes  $K_p$ ,  $T_i$  e  $T_d$  para o controle de posição, a resposta do sistema com um tempo grande para alcançar a estabilidade torna a ação de controle PID-Fuzzy obsoleta e não utilizável em um sistema de controle de posição, apesar de não existir oscilações no tempo de subida.

A não linearidade do controlador fuzzy tem inúmeras vantagens em relação aos controladores clássicos lineares como o PID, a associação destes causa variações na rampa de subida para ambos os controles (CAMPOS 2004).

### Controle Fuzzy integrado ao controle Proporcional Integral

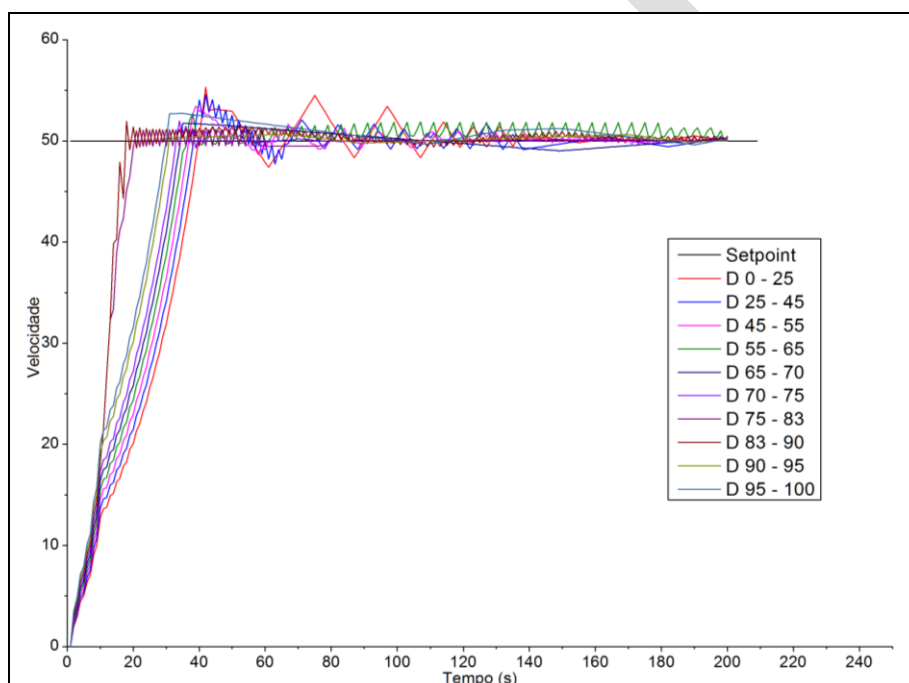
Para a ação de controle proporcional mais integral associada à ação de controle fuzzy apresentou uma resposta rápida em relação ao *setpoint* e se comparada à ação de controle PID, em ambos os casos, velocidade e posição.

O número de oscilações ao longo do tempo foi muito reduzido para os valores do erro ( $\Delta E$ ) quando intermediários, para os valores das constantes altos ou baixos o número das oscilações teve um aumento significativo em torno do *setpoint*. O tempo de subida na rampa de aceleração demonstrou que para os valores do erro ( $\Delta E$ ) maiores ou menores obtiveram uma resposta mais rápida na subida, porém ocorreram grandes oscilações em torno do *setpoint*, isso torna o sistema indesejável se comparados aos resultados esperados.

Os valores das constantes  $K_p$  e  $T_i$  foram mantidos dentro dos valores encontrados na aplicação da ação de controle PI, a variação destes valores para maiores ou menores ocasionaram maiores distorções no gráfico encontrado da Figura 13.

Da mesma forma os valores foram calculados dentro de uma matriz para as variações do  $\Delta E$  e os resultados da equação memorizados dentro de um vetor, sendo estes considerados a resposta do sistema.

Figura 17: Gráfico da velocidade, gerado a partir dos valores da variação do erro ( $\Delta E$ ) do Quadro 1.



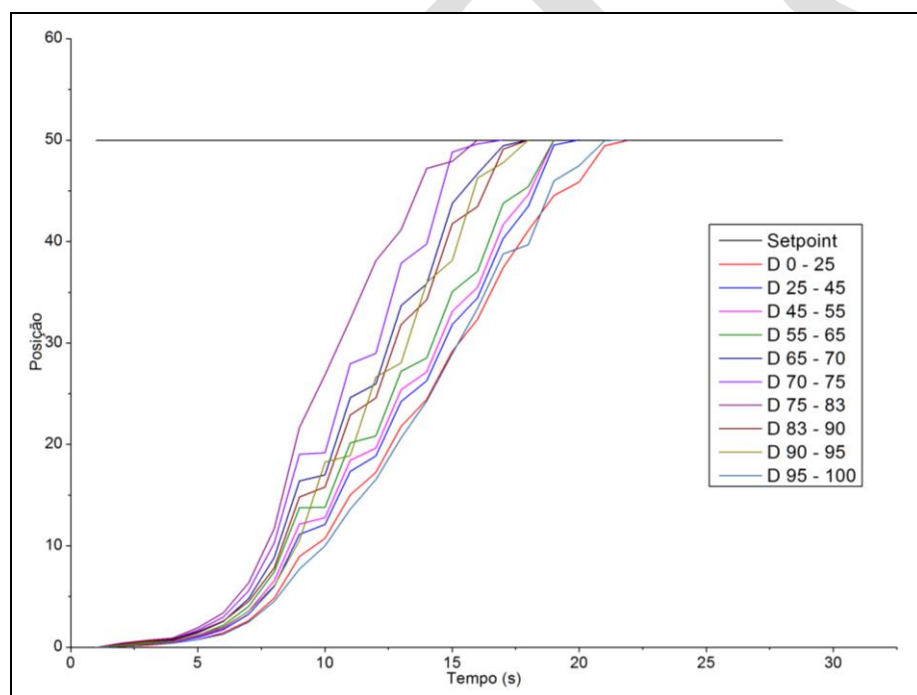
Fonte: O autor (2018).

A equação 14 foi utilizada para analisar a ação de controle, foram retirados os termos  $K_d$  que representa a parte derivativa e a variação do erro ao quadrado ( $\Delta^2 E$ ), encontrados na equação do PID-*fuzzy* ambos os termos responsáveis pela parte derivativa.

$$\Delta U(n) = K_p * \Delta E(n) + (1/T_I) * E(n) * TA \quad (13)$$

Para o controle de posição foram aplicados os mesmos valores das constantes  $K_p$  e  $T_I$  utilizados no gráfico da Figura 13, de maneira análoga ao controle de velocidade os valores calculados dentro da matriz do Quadro 1 e memorizados dentro de um vetor sendo estes considerados os resultados da equação 14 e geradores do gráfico na Figura 17.

Figura 17: Gráfico da posição, gerado a partir dos valores da variação do erro ( $\Delta E$ ) do Quadro 1.



Fonte: O autor (2018).

A rampa de subida mostrou que para os valores do erro  $\Delta E$  intermediários houve uma melhora considerável em relação aos valores maiores ou menores, tanto em aproximação

quanto para o tempo de resposta e alcance do *setpoint*. As oscilações também diminuíram consideravelmente para os valores intermediários.

Segundo Campos (2004), a vantagem do controlador *fuzzy* em relação a outros controladores não lineares é que este pode se valorizar e absorver de informações relacionadas ao processo.

## CONCLUSÃO

A aplicação da ação de controle PI e PI-*fuzzy* mostraram vantagens em relação às outras ações de controle aplicadas, dentre elas o tempo de resposta em relação ao *setpoint*, com uma aproximação rápida e com menor número de oscilações. Os valores intermediários do  $\Delta E$  mostraram que para aplicações em processos industriais reais apresentariam resultados com melhor aproximação do valor do *setpoint*, mais rápida e com menor número de oscilações em torno do valor desejado. Os testes realizados com os valores das constantes  $K_p$  e  $T_i$  maiores tiveram maiores oscilações, tanto na rampa de subida quanto em torno do valor ajustado para os testes, devido a esse motivo não foram incluídos no escopo do trabalho.

As ações de controle PID e PID-*fuzzy*, não demonstraram resultados satisfatórios para aplicação em um processo de controle de velocidade e de posição, apresentaram oscilações em torno do valor ajustado para a saída do processo. A ação de controle PID para a velocidade não demonstrou estabilidade ao longo do tempo, nessa ação onde a parte derivativa está incluída gera a instabilidade no processo, de maneira análoga nas ações de controle onde foi associado o controle *fuzzy* foi melhorado o tempo de aproximação ao valor desejado, porém as oscilações geradas tornaram o processo inaceitável, não demonstrou estabilidade ao longo do tempo apesar de ter ficado bem próximo do valor do *setpoint*. A demora em se aproximar do *setpoint* quando ajustado para a posição não apresentou resultados satisfatórios, apesar da rampa de subida não ter oscilações. A aplicação do *fuzzy* associada ao PID tornou o processo mais rápido, porém ainda não apresentou o resultado esperado com os testes, a resposta lenta em alcançar o valor ajustado, tanto para a velocidade quanto para a posição, tornou a aplicação do PID-*fuzzy* dispensável para o uso em uma planta industrial.

Os resultados obtidos com o uso da ação de controle PD para o controle de velocidade não foram aceitáveis, a curva de resposta apresentou um *overshoot* com valores muito grandes, bem distantes do desejado mesmo com os valores das constantes sendo alterados. Com os valores da constante na parte proporcional aumentados, o tempo de resposta diminuiu, porém se manteve mais afastado do valor do *setpoint* e proporcionou um aumento excessivo do *overshoot*, o aumento da parte derivativa aumentou o tempo de resposta em relação ao *setpoint*, diminuiu o *overshoot*, porém aumentou o valor do erro em relação ao valor do *setpoint*. Para o controle de posição não houve ajuste aceitável, a mudança nos valores das constantes não apresentaram melhoras na situação da rampa, ficando sempre abaixo do valor ajustado. A ação de controle PD-*fuzzy* não foi aplicada devido à instabilidade gerada nos testes realizados sem esta ação de controle. Os testes com a associação do controle *fuzzy* oferecem a oportunidade de aumentar significativamente o número de regras aplicadas ao controle, podendo adicionar qualidade ao controle. A quantidade de valores linguísticos associado ao aumento do número de regras pode tornar o ajuste mais fino quando associado ao modelo de controle PI, isso poderia melhorar consideravelmente o controle da velocidade e da posição.

## **APPLICATION OF THE PD, PI, PID AND FUZZY ACTIONS ON SPEED CONTROL AND POSITIONING IN A STUDY PLANT.**

### **Abstract**

The use of process control in industrial plants has grown considerably with the passage of time. The precision equipment has been found in industries in which production reaches excellence. For this, the control of equipment is of utmost importance in producing and implementing the services that will be performed. The study of control techniques involved has as main objective to ensure by means of an application that the production process to obtain the best performance. The techniques of control PI, PD, PID are defined by how they act on the systems each with an intrinsic characteristic in the way they are planned and all

have an application defined within the control systems. The study through a plant for analysis makes it possible for the process of control to be applied correctly in plants where they will be used. The classic techniques improvement comes through the implementation of *Fuzzy* model, which associated with the known control techniques achieve best fit of the equipment employed. The aim of this work is to demonstrate qualitatively, what better control action that can be applied, using the Association of *fuzzy* model applied in an incremental encoder coupled to a DC motor in the use of a plant industrial speed and position control.

**Key-words:** Control actions. Encoder. PID-Fuzzy.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Prentice-Hall do Brasil, 2000.
- ALCIATORE, David G.; HISTAND, Michael B. **Introdução à mecatrônica e aos sistemas de medições**. 4. Ed. Porto Alegre, 2014.
- BEGA, Egídio A. **Instrumentação industrial**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- BOLTON, Wiliam. **Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar**. 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- BRAGA, Newton C. **Manual de mecatrônica**. 1. Ed. São Paulo: Newton C. Braga, 2014.
- CAMPOS, Mário M. de; SAITO, Kaku. **Sistemas inteligentes em controle e automação de processos**. Rio de Janeiro. Ciência Moderna LTDA, 2004.
- CAVALCANTI, José H. F.; MELO, Hiran de; SOUTO, Cícero. R.; CAVALCANTI, Mônica T. **Lógica fuzzy aplicada às engenharias**. Ed. Única. João Pessoa. PB. CBL, 2012.
- JUSTEN, Álvaro. **Curso de arduino: apostila do aluno**. Rio de Janeiro. Disponível para *download* em <[www.cursodearduino.com.br/apostila](http://www.cursodearduino.com.br/apostila)>. Acesso dia 03/01/2018.
- OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1985.
- OLIVEIRA, André; ANDRADE, Fernando. **Sistemas embarcados: hardware e software na prática**. 2. Ed. São Paulo: Érica, 2013.

LIMA, Charles B. de. **AVR e Arduino: técnicas de projeto**. 2. Ed. Florianópolis: Ed. Dos autores, 2012.

PEREIRA, Fábio. **Microcontrolador PIC 18 detalhado: hardware e software**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2010.

SIMÕES, Marcelo G.; SHAW, Ian, S. **Controle e modelagem Fuzzy**. 2. Ed. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007.

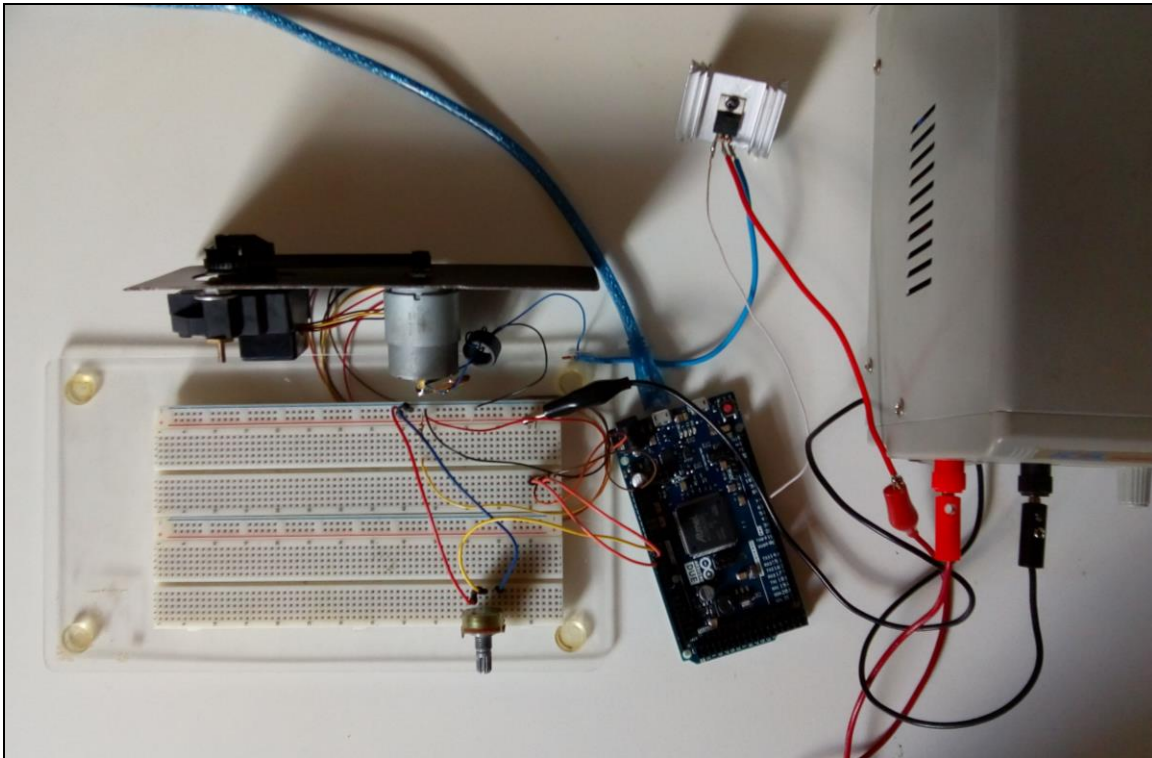
SOUZA, David J. de. **Desbravando o PIC, ampliado e atualizado para PIC 16F628A**. 6. Ed. São Paulo: Érica, 2003.

VIANA, Herbert R. G. **PCM, planejamento e controle de manutenção**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

VILARDELL, Eugenio Nieto. **Mantenimiento industrial práctico**. Ed única. Espanha: Fidestec, 2013.

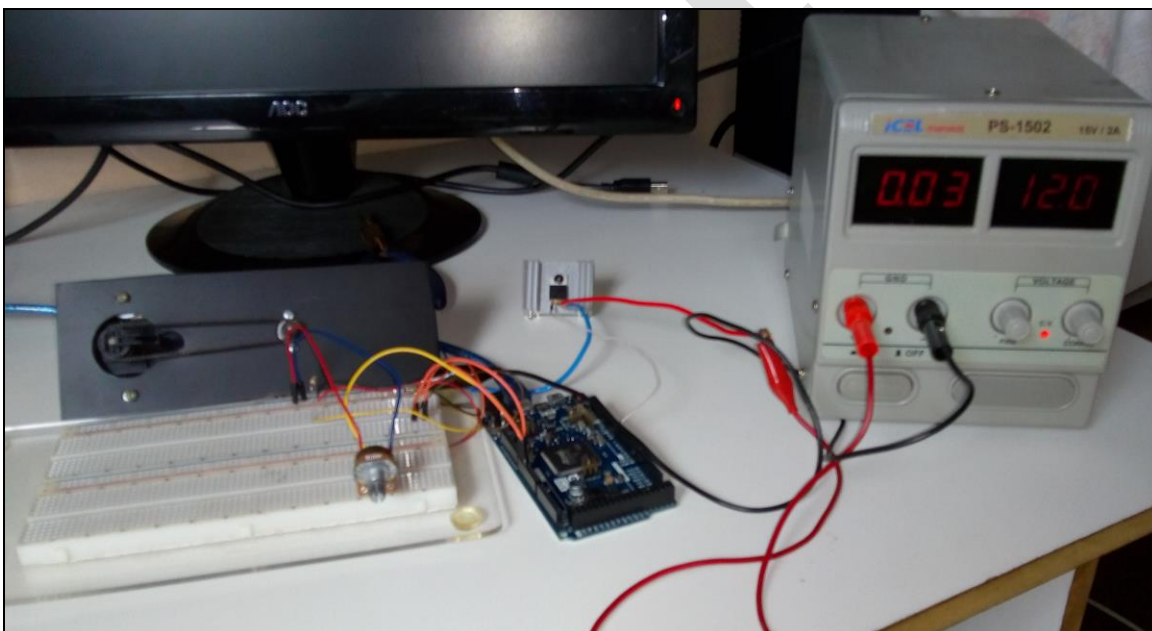
## APÊNDICE

Vista superior da planta montada para a análise das ações de controle demonstrando o sistema embarcado Arduino DUE, 84 MHz de *clock*, transistor PNP TIP 32, potenciômetro, fonte externa ICEL PS - 1502.



Fonte: O autor (2018).

Vista frontal da planta, sistema embarcado Arduino DUE, 84 MHz de *clock*, transistor PNP TIP 32, potenciômetro, fonte externa ICEL PS - 1502.



Fonte: O autor (2018).

## COGERAÇÃO DE ENERGIA UMA VISÃO GERAL

Douglas Henrique Sattin<sup>1</sup>

Vicente de Lima Gongora<sup>1</sup>

**Resumo:** A cogeração de energia consiste em um método de reaproveitar os desperdícios de energia derivada de processos como, por exemplo: turbina a gás, turbina a vapor, microturbinas, ciclos combinados ou através da conversão de energia como nas pilhas de combustível. Compreende-se através desse estudo o significado de cada método, abordando suas principais vantagens e desvantagens com o objetivo de mostrar e informar os benefícios dessas tecnologias. Pois a correto entendimento desses métodos vem proporcionar uma visão diferente para o consumo e reaproveitamento de energia, tendo como resultado uma maior sustentabilidade para todo o processo.

**Palavras-chave:** Reaproveitamento de energia. Tipos de sistemas de cogeração. Vantagens/desvantagens da cogeração.

## COGENERATION ENERGY AN OVERVIEW

**Abstract:** The cogeneration power consists in a method of reusing waste energy derived from processes such as: gas turbine, steam turbine, microturbine, combined cycles or by converting the energy as fuel cells. It is understood through this study the meaning of each method, analyzing their main advantages and disadvantages in order to inform and show the benefits of these technologies. For a proper understanding of these methods is to provide a different view for consumption and reuse of energy, resulting in greater sustainability for the whole process.

**Key-words:** Reuse energy. Types of cogeneration systems. Advantages / disadvantages of cogeneration.

---

<sup>1</sup> PÓS GRADUADO em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI/SC, Florianópolis, dsattin@gmail.com

## **1 INTRODUÇÃO**

A tecnologia de cogeração de energia tem se tornado um mecanismo útil para prover o reaproveitamento do desperdício de energia gerado em processos industriais. No qual, apresenta características de operação que diferem daquelas de geradores dedicados em que o objetivo é gerar energia elétrica somente.

A cogeração em si é uma forma de reaproveitamento do desperdício de energia de processos térmicos, como as turbinas a vapor e as turbinas a gás, e também através de outras formas que possibilitam o aumento do rendimento energético de seus processos.

Assim, essa pesquisa tem como objetivo geral levantar dados relativos a alguns sistemas de cogeração, buscando a partir de uma revisão bibliográfica mostrar suas principais características.

Tendo como justificativa para sua elaboração a geração de informação e um melhor esclarecimento a respeito do tema, entretanto, busca-se também difundir os benefícios e vantagens da sua utilização nos dias de hoje.

## **2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A pesquisa foi elaborada através de um levantamento bibliográfico usando como fontes livros, artigos científicos, dissertações e sites especializados.

Onde se buscou analisar e entender melhor os procedimentos da cogeração de energia em seus diversos meios, comparando e anotando sistematicamente os dados, com a finalidade de proporcionar novos conhecimentos para estudos futuros.

## **3 COGERAÇÃO DE ENERGIA**

A cogeração se apresenta como um sistema de energia que através da combinação de energia térmica, elétrica ou mecânica extraídos da mesma fonte, e tem por objetivo uma solução para economia de energia elétrica.

De acordo com Castro (2008, p.6),

---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, vicente.gongora@sistemafiep.org.br

Os sistemas de cogeração classificam-se de acordo com o tipo de máquina térmica que os equipam. Como máquinas térmicas são usadas, tradicionalmente, motores alternativos (de explosão – ciclo Otto ou de compressão interna – ciclo Diesel) ou turbinas (a gás ou a vapor) e, mais recentemente, micro-turbinas e pilhas de combustível.

Em virtude da enorme variedade de tipos de combustíveis que podem ser aproveitados de alguma maneira para processo de cogeração, desde combustíveis fósseis a biomassa, citam-se abaixo alguns exemplos de acordo com Brasil (2005, p. 8), os combustíveis fósseis e de biomassa mais comuns são:

Fósseis:

- Sólidos: carvão, turfa;
- Líquidos: derivados de petróleo tais como gasolina, óleo combustível, óleo diesel, querosene;
- Gasosos: gás natural, gás de refinaria, gás de coqueria etc.

Biomassa:

- Sólidos: lenha, bagaço de cana, casca de arroz, cavaco de madeira etc.
- Líquidos: biodiesel, álcool, licor negro (resíduo da produção de celulose);
- gasosos: resultante da decomposição de lixo orgânico ou esgoto sanitário, ou da gaseificação do bagaço de cana.

Cada tipo de cogeração de energia pode ser empregado em diversos tipos de processos na indústria e também para provimento de autoprodução, cabendo ao executor definir e avaliar as possibilidades de quais equipamentos a seu dispor melhor se adequam para esse fim.

#### **4 TIPOS DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO**

Conceitualmente a utilização dos sistemas de cogeração é separada de acordo com a sequência na forma de utilização da energia.

Os sistemas são basicamente separados em dois grupos, "*topping cycle*" e "*bottoming cycle*".

No modelo *topping cycle* o combustível é utilizado primeiramente para produzir energia elétrica ou mecânica, em seguida, a energia térmica, que é o subproduto do ciclo pode ser utilizada para satisfazer outros processos de calor ou que tenham exigências térmicas tornando-se um dos principais métodos de cogeração.

“As instalações do tipo *topping* são mais usuais e consistem na produção de energia elétrica antes da demanda térmica ser utilizada em um determinado processo” (JUNIOR, 2008, p.9).

Conforme a figura 1, “a cogeração ao produzir trabalho e calor úteis, reduz as perdas de energia e permite abastecer a demanda térmica e elétrica com quase o mesmo combustível, sendo assim, o sistema *topping* é o mais utilizado na maioria dos casos” (MARTINS, 2006, p.25).

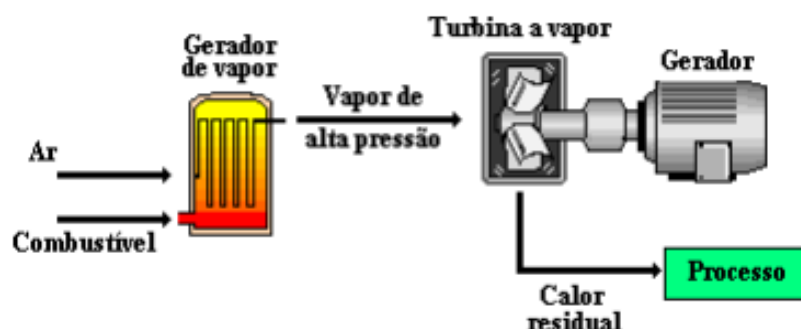
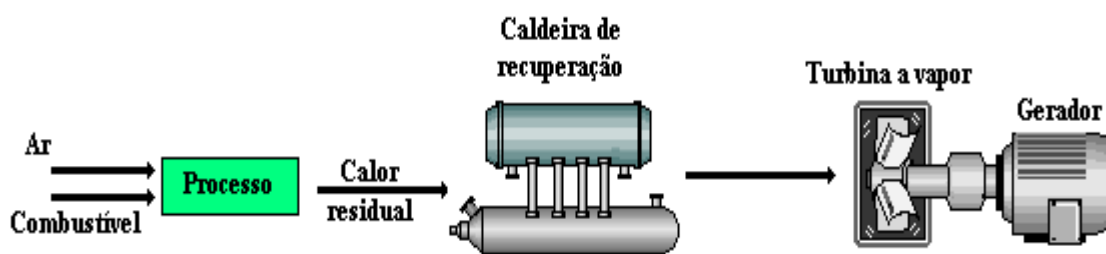


Figura 1- Ciclo Topping  
Fonte: Martins (2006, p.25)

No modelo *bottoming cycle* o combustível é primeiramente utilizado para produzir energia térmica de alta temperatura, podendo ser utilizada em um forno ou outro processo industrial. Já o calor rejeitado após ser recuperado é utilizado para geração de outro tipo de energia.

No entanto “as instalações *bottoming* são de emprego mais restrito, pois o calor rejeitado em processos industriais está em níveis de temperatura relativamente baixos



para produção de potência, uma vez que a geração elétrica está situada após o processo”. (JUNIOR, 2008, p.9). Conforme a Figura 2.

Figura 2 - Ciclo *Bottoming*

Fonte: Martins (2006, p.26)

Também “geralmente esse tipo de sistema é utilizado apenas quando se gera uma quantidade elevada de calor residual sob elevadas temperaturas, como nos casos de fornos cerâmicos e plantas metalúrgicas”. (MARTINS, 2006, p.26)

Essas são as configurações usuais a serem empregadas de acordo com as necessidades elétricas e térmicas de cada aplicação.

#### **4.1 TURBINAS A VAPOR**

A turbina a vapor é uma máquina térmica que utiliza o vapor produzido para movimentar as palhetas de um rotor, gerando energia mecânica que pode ser utilizada para movimentar uma máquina, um compressor ou um gerador elétrico.

É utilizado como uma opção de cogeração de energia que de acordo com Junior (2008 p.10),

O emprego de turbinas a vapor é a opção de tecnologia mais difundida em indústrias e em sistemas de rede de calor. O vapor produzido em caldeiras é utilizado no acionamento de turbinas a vapor para geração de potência e o vapor do escape é empregado como calor de processo.

O funcionamento do processo turbina “ocorre pela expansão do vapor de alta pressão, proveniente de uma caldeira convencional. Porém, o vapor proveniente das turbinas é de baixa ou média pressão, sendo utilizado em processos que necessitam de um baixo nível de temperatura”. (MARTINS, 2006, p.33).

A aplicabilidade e o ganho na utilização da turbina a vapor para os processos industriais através do reaproveitamento do excedente de vapor para geração de energia

contribuem para diminuição dos gastos com energia elétrica que proporciona maior sustentabilidade para o investidor dessa tecnologia.

Tem se entre as principais indústrias que utilizam essa tecnologia a de pasta de papel, refinação de petróleo e química pesada, etc.

Contudo, há vantagens e desvantagens na utilização das turbinas a vapor, conforme demonstra Castro (2008, p. 7):

Vantagens:

- Rendimento global elevado;
- Operação com diversos tipos de combustíveis;
- Grandes quantidades de calor disponíveis;
- Vida útil e confiabilidade elevada;
- Vapor a alta pressão.

Desvantagens:

- Arranque lento;
- Rendimento elétrico baixo.

Assim, mesmo com algumas desvantagens em relação à utilização da turbina a vapor para cogeração de energia é viável que seja utilizável nos processos industriais, pois devido a suas vantagens se torna uma opção compensável para as empresas.

## **4.2 TURBINAS A GÁS**

As turbinas a gás também como as turbinas a vapor são máquinas térmicas, que no caso da turbina a gás realizam a conversão da energia de um combustível em potência de propulsão, potência de eixo ou potência elétrica. Fazendo parte desse conceito à turbina a gás, pressuriza o gás fazendo girar a turbina.

Em todas as turbinas a gás o motor através da queima do combustível que pode ser propano, gás natural, querosene de aviação entre outros, o calor gerado expande o ar, e o deslocamento em alta velocidade desse ar quente aciona a turbina. “É formada

basicamente por três elementos: compressor, câmara de combustão e a turbina propriamente dita.” (MARTINS, 2006, p.30).

Devido à facilidade em sua elaboração e fácil análise, esse método na avaliação de Junior (2008, p.11),

A cogeração com turbina a gás é uma tecnologia que tem despertado grande interesse, uma vez que possui uma boa capacidade de expansão modular, simplicidade na implantação, menor tempo de comissionamento, investimento reduzido e alto fator de disponibilidade.

Após o processo de combustão, o reaproveitamento dos gases liberados pelo escapamento que estão em alta temperatura, pode ser utilizado em processos térmicos, para produção de vapor ou água quente, utilizando-se uma caldeira de recuperação, ou como comburente em queimadores de caldeiras, garantido assim um maior rendimento do sistema.

O que proporciona a possível aplicação em sistemas de secagem de estufas, fornos de metalúrgicas entre outros que necessitem de calor.

Contudo, há vantagens e desvantagens na utilização das turbinas a gás, conforme demonstra Castro (2008, p. 7):

Vantagens:

- Confiabilidade elevada;
- Baixa emissão de poluentes;
- Calor a temperaturas elevadas (500-600°C);
- Não necessita de refrigeração.

Desvantagens:

- Operação com gás a alta pressão;
- Rendimento reduzido com carga parcial;
- Potência de saída diminui com o aumento da temperatura ambiente;
- Ineficiente em processos com pouca necessidade térmica.

Assim por suas características de operação torna-se mais uma opção de tecnologia de cogeração a estar disponível no mercado visando sempre à economia de energia elétrica.

### **4.3 MICROTURBINAS**

As microturbinas derivam do mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gases, onde após a queima do combustível, essa energia se transformada em energia mecânica podendo ser aproveitadas para produção de energia elétrica, etc.

A maioria dos modelos de microturbinas deriva de motores desenvolvidos diretamente das indústrias aeronáuticas e de automóveis.

Conforme descreve Gomes (2001, p. 1),

Microturbinas são geradores de energia que têm o mesmo princípio fundamental que as turbinas a gás industriais de circuito aberto, porém com várias características típicas, as quais são: operação com rotação variável (acima de 110.000 rpm), gerador de corrente contínua (operando com um conversor DC/AC), a turbina e o gerador estão no mesmo eixo (não possuem caixa de transmissão) e sistema de recuperação de gases de exaustão (típico das microturbinas de maior eficiência).

O princípio de funcionamento da microturbina baseia-se no fato de que parte da energia gerada pela turbina é utilizada para mover o compressor, já que ambos estão conectados ao mesmo eixo girante conforme demonstra a figura 3.

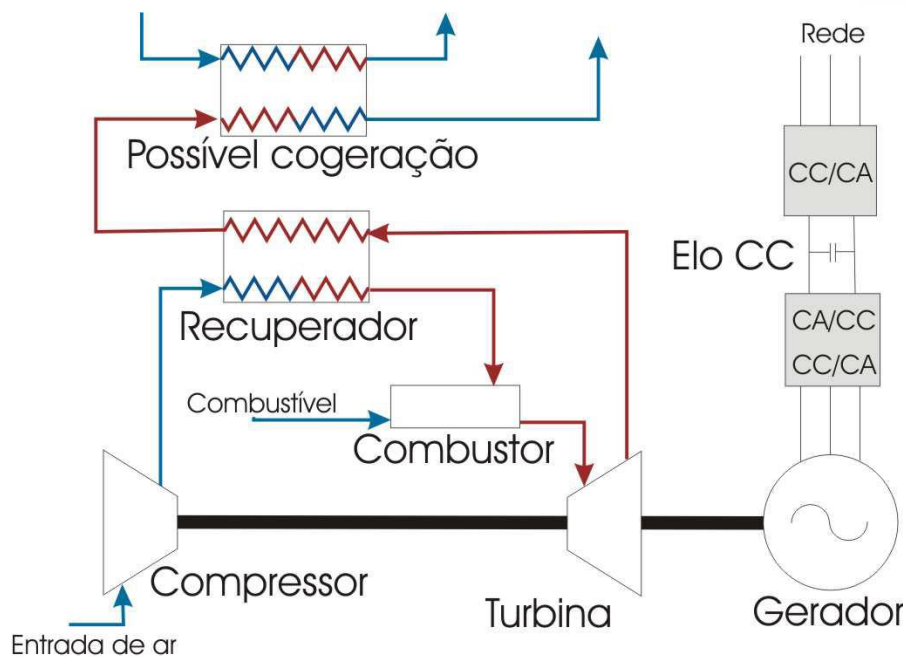


Figura 3 – Esquema de Funcionamento de uma Microturbina.

Fonte: Bona (2005, p.4)

A aplicação desse método de cogeração vem se desenvolvendo ao longo dos anos, e conforme abordagem de Castro (2008, p. 7), podem-se demonstrar algumas de suas vantagens e desvantagens.

Vantagens:

- Dimensões compactas;
- Peso reduzido;
- Baixa emissão de poluentes;
- Não necessita de refrigeração.

Desvantagens:

- Custo elevado;
- Baixa produção de calor;
- Tecnologia em maturação.

As microturbinas devido as suas características por serem um sistema compacto alcançam rendimentos satisfatórios, e devido ao nível de calor obtido se configura como mais uma excelente opção de sistema de cogeração de energia.

#### 4.4 PILHAS DE COMBUSTÍVEL

Dentre os diversos tipos de sistemas de cogeração de energia podemos destacar as pilhas de combustível, são dispositivos que convertem a energia química diretamente em energia elétrica e térmica, possuindo uma operação contínua devido à alimentação constante de um combustível.

De acordo com Castro (2008, p.23),

As pilhas de combustível são, de certo modo, semelhantes às conhecidas baterias, no sentido em que ambas geram energia em corrente contínua através de um processo eletroquímico, sem combustão, nem transformação intermédia em energia mecânica.

De uma maneira simples a pilha de combustível funciona quando o hidrogênio reage com o oxigênio na presença de um eletrólito e produz água, enquanto, ao mesmo tempo, um potencial eletroquímico é desenvolvido, o que faz gerar um fluxo de uma corrente elétrica no circuito.

As estruturas das células de combustíveis são similares, segundo Amado (2007, p.3),

Uma pilha consiste de dois eletrodos, separados por um eletrólito e conectados eletricamente a um circuito externo. Os eletrodos são expostos a um combustível ou a um oxidante, por ex., os gases hidrogênio e oxigênio, respectivamente. Os eletrodos devem ter permeabilidade ao gás ou líquido a ser utilizado, ou seja, ter uma estrutura porosa, uma vez que a corrente elétrica gerada pela pilha é proporcional à área útil dos eletrodos. A difusão do gás na estrutura porosa dos eletrodos é complexa e requer considerável otimização para aplicação prática.

Conforme a figura 4 abaixo, demonstra-se o funcionamento de uma pilha de combustível.

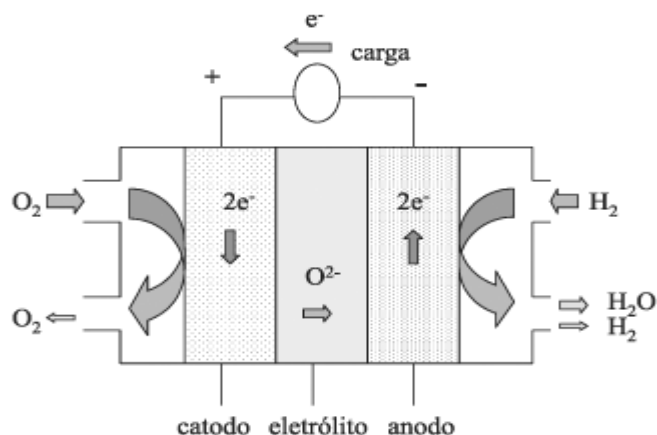


Figura 4- Desenho esquemático de uma pilha a combustível de hidrogênio/oxigênio do tipo óxido sólido.

Fonte: Amado (2007, p.3)

Várias classificações de pilhas de combustível têm aparecido na literatura durante os anos, sendo as principais especificadas segundo Cobas (2006, p.35):

- AFC: pilha combustível alcalina;
- PEMFC: pilha de combustível membrana polimérica;
- PAFC: pilha de combustível ácido fosfórico;
- MCFC: pilha de combustível carbonato fundido;
- SOFC: pilha de combustível Óxido sólido.

Conforme a tabela 1, o tipo de pilha é definido de acordo com o eletrólito.

Nome	Eletrólito	Íon Transportado	Temperatura de operação (°C)
AFC	Alcalino: Solução de KOH (líquido)	OH <sup>-</sup>	70-250
PEMFC	Polímero Ácido fluorosulfonato tipo Nafion (sólido)	H <sup>+</sup>	80-120
PAFC	Ácido fosfórico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (líquido)	H <sup>+</sup>	200

MCFC	Carbonato fundido de K ou Na (líquido)	$\text{CO}_3^-$	600-700
SOFC	Óxido metálico sólido, tipicamente Zircônio estabilizado YSZ (sólido)	$\text{O}^-$	650-1000

Tabela 1: das principais características das pilhas de combustíveis.

Fonte: Cobas (2006, p.35)

Contudo, há vantagens e desvantagens na utilização das pilhas de combustível, conforme demonstra Castro (2008, p. 7):

Vantagens:

- Baixas emissões de poluentes;
- Ruídos baixos;
- Não tem peças rotativas;
- Sistemas Modulares.

Desvantagens:

- Custos elevados;
- Confiabilidade incerta;
- Tecnologia em Maturação;
- Em alguns casos necessidade de pré-processamento dos combustíveis.

Essa tecnologia representa uma alternativa para conversão de energia no futuro, pois está em fase de expansão, ao contrário dos outros métodos de cogeração como turbinas a gás e turbinas a vapor que já se encontram em um estágio avançado de desenvolvimento.

#### 4.5 CICLOS COMBINADO

O intuito da utilização do ciclo combinado é justamente unir o lado positivo de dois processos termodinâmicos permitindo assim aumentar o rendimento e a eficácia global da cogeração.

Uma das combinações atuais que se utiliza desse método é a junção do sistema de cogeração com turbina a gás com o sistema de cogeração com turbina a vapor que são projetados de modo a se complementarem no qual se exemplifica os ciclos *Rankine* que utiliza o calor resultante da queima de combustível para gerar vapor através de uma caldeira ou gerador de vapor, que individualmente não tem um rendimento tão elevado e o ciclo *Brayton* que utiliza a turbina a gás associada a uma caldeira de recuperação calor para gerar trabalho tendo um rendimento médio.

No entanto a união dos ciclos *Rankine* e *Brayton* tem o objetivo de obter um rendimento superior aos ciclos separadamente conforme a figura 5.

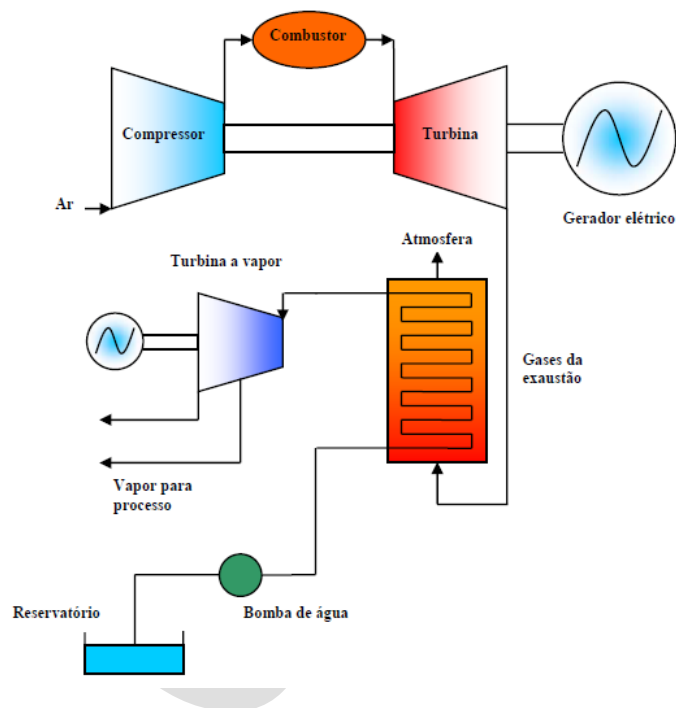


Figura 5- Ciclo Combinado com cogeração.

Fonte: Kalatalo (2004, p.23)

“O ciclo combinado tem uma eficiência térmica maior que a dos ciclos *Rankine* e *Brayton* separadamente. Este tipo de cogeração é a melhor opção para as aplicações na quais a demanda de eletricidade é superior a demanda de vapor”. (KATALATO, 2004, p.13).

Uma característica construtiva importante do ciclo combinado é sua construção modular, ou seja, as turbinas a gás são instaladas primeiras e começam a produzir energia elétrica e gerando retorno financeiro. Posteriormente é instalada a turbina a vapor com respectivas caldeiras de recuperação.

Contudo, há vantagens e desvantagens na utilização do ciclo combinado, conforme demonstra Castro (2008, p. 7):

Vantagens:

- Alta eficiência térmica;
- Capacidade de ser construído em módulos;
- Possibilidade de operação somente da turbina a gás e a turbina a vapor ociosa;
- Queima de combustível menos nobre;
- Unidades de menor porte;

Desvantagens:

- Maior custo de investimento;
- Operação mais complicada.

Os sistemas de ciclo combinado apresentam varias opções de arranjo visando à produção de calor e eletricidade. Em comparação com as outras tecnologias essa permite, de uma maneira geral, uma maior extração de potência por unidade de calor.

#### **4.6 SETORES COM VOCAÇÃO PARA APLICAÇÃO DE COGERAÇÃO**

Em principio, a cogeração é aplicável nas suas mais variadas formas e processos, tendo seus principais setores para utilização as indústrias, setores de comercio e serviços e também para a área residencial.

Segundo Cogen (2013) algumas das principais aplicações são:

- a) Setor Industrial – Calor de Processo – Produção de Vapor : indústria química, petroquímica e farmacêutica; indústria de alimentos e bebidas; indústria de papel e celulose; indústria têxtil.
- b) Setor Industrial – Aquecimento Direto – Forno Alta Temperatura : indústria de vidro; indústria de cimento; siderúrgica.
- c) Setor de Comercio e Serviços – ar-condicionado central, aquecimento de água:  
shopping center; centros comerciais; supermercado; hotel; hospital;  
lavanderia e tinturaria; clubes desportivos.
- d) Setor Sucroenergético – Bioeletricidade: usinas de açúcar e etanol que cogeram energia elétrica a partir do bagaço da cana de açúcar e também da sua palha e pontas.

A diversidade dos setores aptos para aplicação de cogeração de energia se configura como grande oportunidade de investimentos futuros, visando à economia de energia e a sustentabilidade da cadeia produtiva.

## **5 CONCLUSÃO**

Esse estudo teve por objetivo avaliar e demonstrar diferentes tecnologias de cogeração de energia elétrica, visando especificar suas principais características além de suas vantagens e desvantagens que visa incentivar o aumento do uso dessa tecnologia em nosso país, contribuindo para uma melhor eficiência energética sempre voltada para a preservação ambiental.

Sendo assim, a implantação de um sistema de cogeração significa necessariamente uma mudança substancial do consumidor, ele pode deixar de ser um comprador de energia elétrica para ser um vendedor desta e passar a consumir algum tipo de combustível como gás natural entre outros, lembrando que os preços dos insumos e a demanda impactam diretamente nos cálculos de viabilidade econômica do investimento.

Os sistemas de cogeração de pequeno porte poderiam ser aplicados a vários setores do país, inclusive no residencial, se não fosse à existência de algumas barreiras como a resistência das concessionárias de energia quanto aos valores pagos pela exportação do excedente de eletricidade, o que em alguns casos gera custos superiores ao retorno econômico da geração.

Lembrando também que existem diversos decretos, leis, portarias e resoluções que estão ligados diretamente a cogeração e ao setor elétrico brasileiro.

Contudo este trabalho é uma contribuição inicial nesse vasto campo da cogeração de energia que vai além do que foi aqui exposto, deixando como sugestão para trabalhos futuros estudar separadamente cada tipo de cogeração para uma avaliação mais detalhada de cada uma com o objetivo de entender melhor suas aplicações.

## REFERÊNCIAS

AMADO, R.S. et.al. **Pilhas a combustível de óxido sólido: materiais, componentes e configurações**. Departamento de Química Inorgânica UFRJ, Rio de Janeiro, v. 30, n.1, jan./fev. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422007000100031](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000100031)> Acesso em: 22 junho 2013.

BRASIL, N. P. **Apostila de Cogeração**. 2005. 35f. Universidade Federal Fluminense - UFF, 2005. Disponível em: <[http://www.professores.uff.br/dulcemar/Doc\\_PDF/Apostila\\_Cogeracao\\_Otima.pdf](http://www.professores.uff.br/dulcemar/Doc_PDF/Apostila_Cogeracao_Otima.pdf)> Acesso em: 22 junho 2013.

BONA, F. S. D. **As microturbinas e a geração distribuída**. 2005. 10f. Tese (Mestrando em Engenharia Elétrica) - Universidade de Campinas - UNICAMP, 2005. Disponível em: <<http://www.demic.fee.unicamp.br/~siqueira/IE327/Trabalho%2053.pdf>> Acesso em: 15 junho 2013.

CASTRO, R. M. G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada** - Edição 1.2 – Universidade Técnica de Lisboa, 2008. Disponível em: <[http://horabsurda.org/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Introducao\\_a\\_Cogeracao.pdf](http://horabsurda.org/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Introducao_a_Cogeracao.pdf)>. Acesso em: 23 abril 2013.

COBAS, V. R. M. **Análise de sistemas híbridos com células a combustível de óxido sólido e microturbinas a gás**. 2006. 138f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, 2006. Disponível em: <<http://juno.unifei.edu.br/bim/0030171.pdf>> Acesso em: 21 março 2013.

COGEN – **Associação da Indústria de Cogeração de Energia**. São Paulo. Disponível em: <[http://www.cogensp.org.br/cog\\_aplica.asp](http://www.cogensp.org.br/cog_aplica.asp)> Acesso em: 22 junho 2013.

DANTAS, F.et. al. **Avaliação de modelos de sistemas de cogeração de energia utilizando gás natural para médias e pequenas empresas**. In: 2º Congresso Brasileiro

de P&D em Petróleo e Gás, 2003, Rio de Janeiro. Disponível em:  
<<http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/2/8057.pdf>> Acesso em: 21 março 2013.

GOMES, E. E.B.et.al. **Aspectos econômicos e ambientais da aplicação de microturbinas a gás natural na geração distribuída** In: 1º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás UFRN – SBQ Regional RN, 2001, Natal. Disponível em <[http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/1/Artigos/AE/AE\\_001.pdf](http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/1/Artigos/AE/AE_001.pdf)> Acesso em: 22 junho 2013.

JUNIOR, G. S. S. **Análise da influência de um compensador estático de reativos na operação de sistema elétrico industrial com cogeração**. 2008. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Maranhão, 2008. Disponível em: < [http://www.tedebc.ufma.br/tde\\_arquivos/10/TDE-2008-05-07T171002Z139/Publico/Gilson%20Soares%20da%20Silva%20Junior.pdf](http://www.tedebc.ufma.br/tde_arquivos/10/TDE-2008-05-07T171002Z139/Publico/Gilson%20Soares%20da%20Silva%20Junior.pdf) > Acesso em: 21 março 2013.

KALATALO, D. N. **Análise Exegética de Ciclos Combinados**. 2004. 120f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, 2004. Disponível em: < [http://bdm.bce.unb.br/bitstream/10483/941/1/2004\\_DiegoNevesKalatalo.pdf](http://bdm.bce.unb.br/bitstream/10483/941/1/2004_DiegoNevesKalatalo.pdf)> Acesso em: 22 junho 2013.

MARTINS, L. S. **Geração de através de Biomassa**. 2006. 83f. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2006. Disponível em: < [http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG2005\\_2/lydimillasantostmartins.pdf](http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG2005_2/lydimillasantostmartins.pdf)> Acesso em: 21 março 2013.

MENESES, E. L. **O uso de turbinas a gás para geração de energia elétrica em plataformas**. 2011. 48f. Dissertação (Graduação em Tecnologia em Construção Naval) –

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, 2011. Disponível em: <  
<http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/ErnaniMeneses.pdf>> Acesso em: 22 junho 2013.

e-TEC

# ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE DISCO DE FREIO PARA VEÍCULOS DE PASSEIO ATRAVÉS DO PROCESSO DE USINAGEM

Allan Sadao Kikuchi<sup>1</sup>

Adriana Giseli Leite Carvalho<sup>2</sup>

## RESUMO

Este estudo apresenta uma técnica utilizada para a recuperação de disco de freio de veículos modelo passeio através do processo de usinagem. Baseando-se em análises de propriedades importantes que envolvem a usinagem do componente, bem como a eficiência do sistema de frenagem e conseqüentemente a segurança do mesmo, tem-se por objetivo a verificação do dimensionamento do disco de freio antes e após o processo recuperação. A metodologia utilizada testes práticos e pesquisas bibliográficas concentradas em sistema de freio a disco e todos os processos de fabricação. Como resultado identificou-se que os dados obtidos nas análises do disco recuperado chegaram bem próximos aos do disco novo (sem uso) e que alguns fatores podem influenciar em um possível desgaste prematuro das pastilhas, mas que não irá interferir na efetividade de seu funcionamento. Com isso verifica-se que é possível realizar esse procedimento de recuperação, e que em muitos casos é bastante viável, pelo seu custo ser bem mais baixo comparado com a substituição por um componente novo.

**Palavras-chave:** Sistema de freio. Processo de usinagem. Recuperação. Disco de freio.

## ANALYSIS OF BRAKE DISK RECOVERY FOR VEHICLES WALKING THROUGH THE MACHINING PROCESS

### ABSTRACT

This study presents a technique used for the recovery of brake discs from passenger vehicles through the machining process. Based on analysis of important properties that involve the machining of the component, as well as the efficiency of the braking system and, consequently, its safety, the objective is to verify the dimensioning of the brake disc before and after the recovery process. The methodology used practical tests and bibliographic research concentrated on the disc brake system and all manufacturing

---

<sup>1</sup> Discente do curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. allan\_kikuchi@hotmail.com

<sup>2</sup> Docente dos cursos de Engenharias e Tecnologias da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina, adriana.carvalho@sistemafiep.org.br

processes. As a result, it was identified that the data obtained in the analysis of the recovered disc came very close to that of the new disc (unused) and that some factors may influence a possible premature wear of the inserts, but that will not interfere with the effectiveness of its operation. Thus, it appears that it is possible to carry out this recovery procedure, and that in many cases it is quite feasible, because its cost is much lower compared to the replacement with a new component.

**Key words:** Brake system. Machining process. Recovery. Brake Disc.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é uma das cadeias produtivas que tem maior produção em escala internacional, o Brasil obteve um grande crescimento no setor, isso devido a sua competência tecnológica e pelo seu potencial de mercado. Porém, indústrias chinesas, coreana e europeia ainda são um grande desafio, em busca de competitividade, estratégias e ações de melhorias tecnológicas e de mão de obra qualificada torna-se uma prioridade.

É possível perceber o custo elevado da manutenção de veículos, desde a substituição de peças em muitos casos necessária e recomendada pelos fabricantes, até em alguns casos específicos em que ocorre a restauração do elemento. Nos dias atuais em que a aquisição financeira de um modo geral está baixa, muitos optam por restaurar o componente, visto que este tipo de serviço apresenta um custo mais baixo comparado a troca por um componente novo.

Recuperar um componente envolve algumas etapas de fabricação, e um dos componentes do automóvel de grande importância – disco de freio, é passível desse procedimento. Fatores como os materiais de atrito, variações de temperaturas e agentes externos, o disco de freio perde suas propriedades de fabricação, que é restaurada através de sua usinagem pelo processo de torneamento.

A utilização do sistema de freios, veio através do conceito de que, tudo o que se move tem que parar. São dispositivos que foram desenvolvidos, para manter o controle do movimento de rotação de um equipamento, uma máquina ou de uma roda de um veículo, fazendo com que diminua ou mesmo pare esse movimento, como também pode impedir que esse movimento seja iniciado novamente. Os freios efetuam esse controle através da

transformação da energia cinética, imprimida através do movimento do veículo em energia térmica, que é dissipada na forma de calor.

Entre outras, essa necessidade de dissipar o calor, faz com que o sistema de freio a disco, seja o mais utilizado atualmente, tanto em carros, caminhões e locomotivas, como também em aviões. Isso devido a suas características de engenharia e propriedades dos materiais empregadas, que lhes permitem a eficiência do sistema.

O sistema de freios consiste em um dispositivo hidráulico, que é acionado pelo pedal de freio do veículo, fazendo com que os materiais de atrito, disco e pastilha, tambor e lona, entrem em contato causando a fricção entre eles, através de uma pressão na linha de frenagem promovida pelo sistema hidráulico. Tem como objetivo diminuir a velocidade do veículo, parar ou mantê-lo parado. No caso dos sistemas de freios, entende-se que estes são itens classificados como de segurança, e que devem passar por uma avaliação minuciosa para que possa ser realizada a recuperação no disco de freio, seguindo limites de espessura mínima para que o mesmo seja efetuado.

Fabricantes não recomendam o uso da recuperação do disco e sim fazer a substituição do conjunto, entretanto em muitos casos se faz apenas a troca de pastilha e a recuperação do disco de freio por meio do torneamento, para retirar ondulações, empenamentos, ranhuras ou trincas, deixa-lo novamente alinhado para que haja uma maior área de contato entre os componentes ocasionando uma boa frenagem.

Nota-se o preconceito da utilização de uma peça recondicionada efetuando o trabalho que deveria ser feito por um componente sem uso, o qual seria substituído no conjunto. Nos casos de discos de freios, uma análise pode dar a real informação de como atuaria uma peça recondicionada na utilização em veículos, evitando assim a reposição por uma peça nova. Arelado a uma maximização da vida útil do elemento, verifica-se a minimização de peças para descarte, o que impacta diretamente em menos energia para fundição de peças sucateadas.

Sabendo-se que por se tratar de um item de segurança e fazer parte de um conjunto, disco e pastilha de freio que atuam juntos, mas que tem um desgaste diferente um do outro, é importante refletir sobre vários aspectos que envolve uma peça recondicionada, tais como: quais as variações das propriedades de um componente recuperado por meio do processo de usinagem? Os parâmetros de rugosidade, dureza e

empenamento chegariam próximos dos parâmetros de um componente novo? No caso do disco de freio de um veículo de passeio, depois de recuperado continuaria atendendo a padrões de segurança, como de espessura mínima?

O presente estudo terá como base de seu recorte de pesquisa, a análise de recuperação de disco de freio para veículos de passeio através do processo de usinagem, verificando o dimensionamento do disco antes e após o processo, assim como a sua rugosidade, empenamento, dureza e trincas superficiais.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 SISTEMA DE FREIO**

Segundo Silveira (2010), o sistema de freios é uma das partes vitais e mais importantes de um veículo, desse modo ele é projetado para se obter o máximo de rendimento e que exija o mínimo de manutenção. Com o dimensionamento correto, ajustado e conservado, irá garantir uma frenagem segura ao motorista nas mais diversas condições de tráfego, se deparando com uma emergência ou mesmo para obedecer um sinal de trânsito. Deve estar capacitado para que o veículo pare com a menor distância possível em qualquer circunstância de uso, seja ela a velocidade exercida, tipo de pista ou piso, também deve ser extremamente confiável, por se tratar de um componente de segurança fundamental não pode ser prejudicado por elementos externos como a variação de temperatura, água e poeira. Seu rendimento deve se manter alto mesmo com o desgaste de seus componentes e ter o mínimo de regulagens e manutenções.

De acordo com Brezolin (2007), em virtude de sua influência direta na segurança veicular, o sistema de freio possui uma grande importância em qualquer veículo, o que o torna no projeto um item crítico. Entre algumas formas de energia, os sistemas de freio são dispositivos que convertem energia cinética em energia térmica, e sua quantidade é proporcional ao movimento exercido pelo veículo. O propósito dos sistemas de freio na prática é manter o veículo parado, reduzir sua velocidade ou se manter em uma determinada velocidade, conforme a situação em que o veículo irá impor sua necessidade. Segundo Casaril (2013), o fenômeno de frenagem do veículo se dá através do contato

entre a pastilha, fixa à estrutura do carro, e o disco, que gira com a roda do veículo. Quando o pedal de freio é acionado, gerando pressão no sistema hidráulico ou pneumático do veículo, a pastilha é pressionada contra o disco. Essa interface tem um nível de atrito elevado, provocando um torque de frenagem contrário ao movimento do veículo, fazendo com que o mesmo diminua sua velocidade ou aceleração.

Segundo o manual Nakata para sistema de freios, o sistema de frenagem utilizando disco é o sistema mais utilizado nos dias atuais, além de automóveis e motocicletas, podemos ainda encontrar esse sistema em aviões e locomotivas. Outro sistema é o de freio a tambor, que por ter um menor desempenho é utilizado nas rodas traseiras de veículos leves, visto que a necessidade de uma melhor frenagem se encontra nas rodas dianteiras e também pelo seu baixo custo comparado ao sistema de disco e pastilha. Além de se tratar de um item de segurança o sistema de freio é de alta importância e deve se ter bastante cuidado e atenção no projeto do veículo, tem como objetivo diminuir a velocidade, parar ou manter o veículo parado.

## 2.2 DISCO

Segundo Alves (2015), o disco é fixado a uma roda que é presa a um eixo, de modo que sua velocidade angular é igual a deste elemento rotativo, uma força de resistência ao movimento surge quando ocorre o contato com as pastilhas, a força de atrito. A força de atrito gerada pelo contato da pastilha com o disco cria um torque contrário ao sentido de rotação. Este torque é sentido por todo eixo rotativo onde o disco está acoplado, diminuindo sua velocidade, e consequentemente do veículo. Esses elementos podem ter geometrias e tamanhos diferentes, suprimindo a necessidade de cada projeto, rasgos e furos podem ser feitos para promover a descontaminação do mesmo durante seu uso, como também geometrias para auxiliar a dissipação de calor para o ambiente.

Os discos de freio podem ser fabricados de metais, como liga de aço, ferro fundido e também de materiais compósitos e cerâmicos, se leva em conta a escolha deste material por diversos fatores, como o seu custo, peso, dissipação de calor entre outros. De acordo com Eriksson (2002), em veículos que não demandam tanto do sistema de frenagem, é mais comumente feito em ferro fundido, por apresentar ótimas propriedades para

dissipação térmica, resistência mecânica suficiente, satisfatória resistência ao desgaste, fácil fabricação em grande escala e preço acessível.

Figura1-Disco de freio

Atualmente o disco de freio feito de ferro fundido cinzento é o mais utilizado nos veículos, por atender todos os requisitos necessários para uma para que se obtenha uma alta eficiência e que conseqüentemente irá aumentar a segurança nos sistemas de frenagens veiculares.

### 2.3 PASTILHA

De acordo com Alves (2015), as pastilhas de freio são projetadas para se obter uma elevada fricção no contato com os discos, para que transforme de forma rápida a energia cinética em energia térmica, se a taxa de transformação for alta a eficiência deste sistema de freio também será. Atualmente as pastilhas são feitas de aço, cerâmica, vidro picado, fibras minerais, aramida, celulose, dentre outros. Sua escolha deve levar em conta a longevidade do material, níveis de ruído e seu poder de fricção, necessitam ser a prova d água, sua eficiência de frenagem não pode ser afetada de forma considerável quando submetidas a condições em que a água esteja presente, esse é um fator de grande importância, sendo que os veículos que as utilizam estão sujeitas as mais diversas condições de uso. Segundo Eriksson (2002), o processo de fabricação é geralmente a compactação a quente, e são utilizados de 10 a 20 componentes diferentes, o quadro 01 demonstra quais são estes componentes.

Quadro 1-Componentes e suas funções

<b>Componente</b>	<b>Função</b>
Aglutinante	Seu papel é manter a estrutura unida formando uma matriz termicamente estável. Geralmente são usadas resinas fenólicas termofixas. A adição de borracha permite um maior umedecimento da matriz
Materiais estruturais	São responsáveis pela resistência mecânica. São usados carbono, aramida (Kevlar®), metais, vidro picado
Enchimento	Traz uma facilidade para a confecção das pastilhas e preenche o espaço sem altos custos. Mica, vermiculita ou sulfato de bário são usados como enchimento

Aditivos para fricção	Alguns materiais são adicionados para aumentar o coeficiente de atrito entre as superfícies da pastilha e do disco, como por exemplo, partículas abrasivas (silício e alumínio). Lubrificantes sólidos como o grafite são utilizados para promover uma estabilidade do coeficiente de atrito em elevadas temperaturas de operação. O silício adicionado para aumentar o coeficiente de atrito ainda promove uma superfície de contato mais aderente, removendo óxidos e outros filmes da superfície do disco.
-----------------------	---

Fonte: Eriksson (2002)

Cada material empregado na fabricação de pastilhas de freio, tem por função garantir a boa eficiência do componente no sistema.

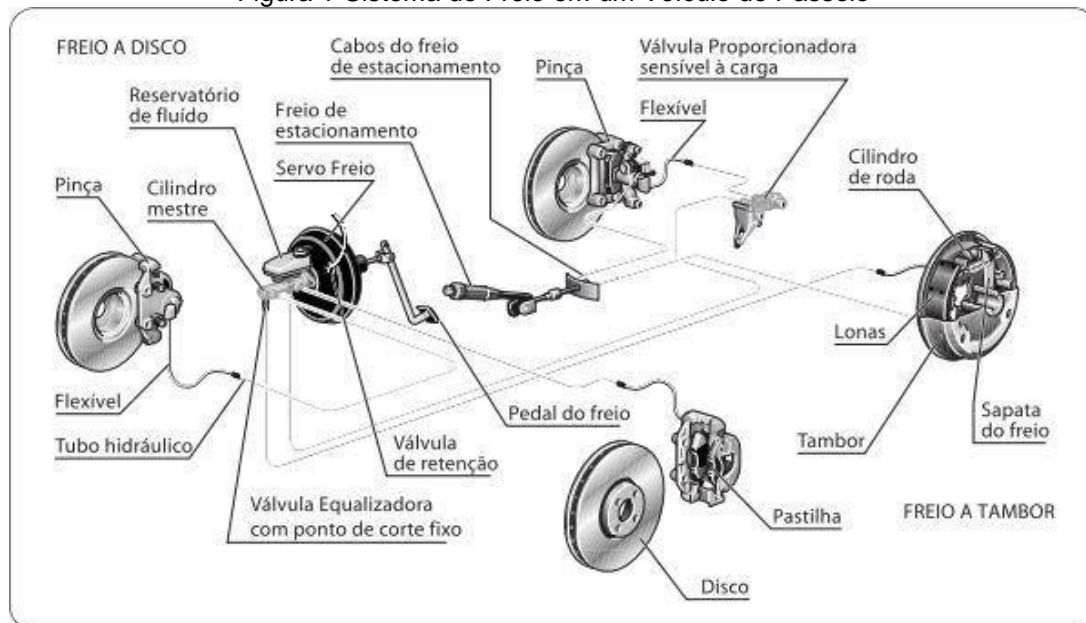
## 2.4 SISTEMA DE FREIO A DISCO

Segundo Macnaughton (1998) o sistema de freio utilizado em veículos nos dias atuais começou a ser usado em 1951, na corrida das 500 milhas de Indianapolis, nos EUA, pelos irmãos Conze. Com o passar do tempo e com o surgimento de novas tecnologias esse sistema vem sendo aprimorado, e devido a essa evolução freios mais confiáveis e eficazes são encontrados nos carros atualmente.

O manual Nakata para sistemas de freio diz que o freio a disco é o sistema mais utilizado atualmente. Além de automóveis e caminhões, podemos encontra-lo também em aviões e locomotivas. De acordo com Orthwein (2004) o aço inoxidável, ferro fundido cinzento e o aço – carbono estão entre os materiais que são mais utilizados para a fabricação de discos de freio. Novos tipos de materiais estão sendo usados na indústria automotiva, em evidencia estão os discos fabricados em alumínio, cerâmica e o carbono, que atendem a solicitações de automóveis de alto desempenho.

Abaixo, a Figura 1 irá mostrar o sistema de freio de um veículo modelo passeio de uma forma geral, onde está representado o sistema de freio a tambor nas rodas traseiras, que não é o foco deste trabalho. E temos o sistema de freio a disco nas rodas dianteiras.

Figura 1-Sistema de Freio em um Veículo de Passeio



Fonte: Nakata

O freio a disco consiste basicamente do contato das pastilhas no disco, as pastilhas são pressionadas contra o disco por um embolo que está ligado a pinça de freio, que é acionada por um sistema hidráulico que está associado diretamente ao pedal de freio, já o disco é aparafusado no cubo da roda e a roda fixada ao disco. O sistema conhecido como misto é composto por freio a disco nas rodas dianteiras e freio a tambor nas rodas traseiras, este conjunto é o mais comumente utilizado nos veículos de passeio. Também existem os veículos que são fabricados com freio a disco nas quatro rodas e isso está ligado diretamente a potência de cada veículo.

Usualmente falando percebe-se que a troca se dá em média de dois em alguns casos até três jogos de pastilhas a cada troca de disco de freio, por isso este método de usinagem nesse componente é muito utilizado nas oficinas mecânicas. Mais não somente por isso é feito esse procedimento, em muitos casos discos com pouco uso e ainda considerados novos sofrem eventuais avarias como empenamento, por exemplo, seria uma delas, em que o mesmo apresenta ondulações não proporcionando uma boa área de contato entre o conjunto e conseqüentemente o sistema de frenagem com baixo rendimento e também ocasionando vibrações no pedal de freio.

## 2.5 FERRO FUNDIDO CINZENTO

De acordo com Hect et al (1996), atualmente o ferro fundido cinzento perlítico com grafita lamelar é o material mais tradicional, assim como o mais utilizado para fabricação de discos e tambores de freio para veículos. Sua principal vantagem é a alta condutividade térmica, afirmada pela estrutura continuada da grafita, dissipando calor com eficácia. Os materiais indicados para a produção de discos de freio são os ferros fundidos, porque além de ter uma produção de baixo custo, possuem uma condutividade térmica excelente, o que ajuda a dissipar o calor gerado durante a frenagem que é proveniente da fricção da pastilha com o disco de freio, e a capacidade de absorver vibrações, características essenciais para este tipo de componente.

Segundo Serbino (2005), o ferro fundido cinzento é um dos materiais que possui melhores características de fundição e apresenta uma das menores temperaturas de fusão dentre as ligas ferrosas. Sua contratura na passagem líquida para sólido é pequena, beneficiando a aquisição de peças sem defeitos internos. Para grande parte das aplicações pode ser utilizado no estado bruto de solidificação. Vários materiais seriam capazes de atender a solicitação. Mas por manter melhor estabilidade de comportamento, facilidade produtiva e custo de matéria prima relativamente baixo quando comparado aos outros, faz com que o ferro fundido seja um material muito utilizado na fabricação de freios veiculares.

## 2.6 PRINCIPAIS PROBLEMAS EM DISCO DE FREIO

De acordo com Lombriller (2002), o uso contínuo dos veículos resultam em tensões cíclicas, que podem ocasionar fadiga, alastrando-se trincas no disco de freio, que poderá resultar na quebra do mesmo. Segundo Maluf (2007), diversos componentes utilizados em sistemas de freio de veículos automotivos, como os discos, estão sujeitos a alterações de temperatura durante seu uso. O gradiente térmico induzido nas várias regiões da peça durante a frenagem pode fazer com que ocorra tensões internas, e a repetição destes ciclos térmicos pode ocasionar a nucleação e a propagação de trincas por fadiga.

Baseado nas ideias de Brezolin (2007), a geração de trincas térmicas está ligada diretamente à característica estrutural de rigidez dos materiais de atrito que, adicionada a deformações e fluxos de calor não uniformes dos discos de freio, fazem com que as trincas térmicas apareçam na superfície de atrito dos discos de freio de veículos comerciais. As trincas superficiais são decorrentes do atrito entre materiais com estrutura rígida que ocasionam uma alta temperatura, e por haver deformações nos elementos, esse fluxo de calor se encontra de maneira variada, onde nas partes com uma superfície de contato maior a temperatura gerada é mais alta e essa não uniformidade irá favorecer no aparecimento de trincas nos discos de freio.

### **3 METODOLOGIA**

Será analisado neste trabalho a rugosidade, dureza, empenamento e as trincas superficiais, bem como espessura mínima dentro dos limites de segurança. Sendo observado quais as variações de propriedades de uma peça recondicionada no caso um disco de freio que será recuperado pelo processo de usinagem. Utilizará para este fim, fundamentos práticos e teóricos bibliográficos nas áreas de materiais, projetos, processo de usinagem e frenagem automotiva leve. Analisando as variações das propriedades do disco de freio de um veículo de passeio após sua recuperação por meio de processo de usinagem, visto que tanto suas propriedades quanto os seus parâmetros irão indicar a viabilidade do processo, sendo que os dados obtidos devem chegar próximos aos dados do componente sem uso (novo), assim como não ultrapassar o limite de espessura.

#### **3.1 Coleta de dados**

Foi realizado a coleta de dados sobre o disco de freio sem uso onde foi identificado que o mesmo se trata de um disco de ferro fundido cinzento, do tipo ventilado, com limite de espessura de 16mm, do fabricante Volkswagen Gol 1.0 ano 2012, assim como o disco usado antes e após a recuperação, ambos com as mesmas especificações, na figura 2 (a)

observa-se um disco de freio novo, na figura 2 (b) disco de freio usado e na figura 2 (c) disco de freio recuperado.

Figura 2 (a): Disco de freio novo



Figura 2 (b): Disco de freio usado



Figura 2 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

O disco apresenta diferentes aspectos visuais, sendo o recuperado com o aspecto visualmente bem próximo ao do componente novo e o usado diferente de ambos.

## 3.2 Equipamentos

### 3.2.1 Micrômetro

Para medir as espessuras dos discos foi utilizado um micrômetro externo digital da marca digimes com capacidade de 0-25mm e resolução de 0,001mm como mostra a figura 3.

Figura 3-Micrômetro digital



Fonte: Autor

O micrômetro é um instrumento que possibilita medições rigorosas e exatas, o modelo digital é próprio para controle estatístico de processos, pois permite se realizar uma leitura rápida sem erros de paralaxe.

### 3.2.2 Relógio comparador

Na medição de empenamento dos discos de freio foi utilizado um relógio comparador da marca ZAAS com capacidade de 0-10mm e resolução de 0,01mm (figura 4).

Figura 4-Relógio comparador



Fonte: Do autor

O relógio comparador é um instrumento de medição por comparação, equipado com uma escala e um ponteiro, interligados por diversos mecanismos a uma ponta de contato. Quando o ponta de contato sofre uma pressão e o ponteiro gira em sentido horário, sua diferença é positiva, significa que a peça apresenta maior dimensão que a estabelecida. Se o ponteiro girar em sentido anti-horário, a diferença será negativa, ou seja, a peça apresenta menor dimensão que a estabelecida.

### 3.2.3 Durômetro

A análise de dureza foi realizado em um medidor de dureza da marca indústécnica modelo de bancada com leitura analógica para ensaios de dureza rockwell normal, superficial e a brinell, seguindo a norma NBRNM187 (05/1999) Materiais metálicos - Dureza Brinell - Parte 1: Medição da dureza Brinell - Parte 2: Calibração de máquinas de medir dureza Brinell - Parte 3: Calibração de blocos padrão a serem usados na calibração de máquinas de medir dureza Brinell que foi a escala empregada para realização dos testes (figura 5).

Figura 5- Durômetro



Fonte: Do autor

A maioria dos ensaios de dureza estáticos consiste na impressão de uma pequena marca feita na superfície da peça, pela aplicação de pressão, com uma ponta de penetração. É muito utilizado para se obter sua resistência ao desgaste, controle de qualidade de tratamentos térmicos, resistência mecânica através do uso de tabelas de correlação, pesquisa e desenvolvimento de novas ligas e materiais entre outros. É considerado não destrutivo, deixando apenas uma marca que não irá comprometer o uso da peça ou corpo de prova.

### 3.2.4 Rugosímetro

Para análise de rugosidade o instrumento utilizado foi o rugosímetro surfstest sj-201p da marca mitutoyo com método de medição indutivo diferencial e capacidade de 350 $\mu$ m, atendendo a Norma NBR ISO 4287/2002 para especificação da rugosidade (figura 6).

Figura 6-Rugosímetro



Fonte: Do autor

O rugosímetro é um equipamento eletrônico largamente empregado na indústria para conferência de superfície de peças e ferramentas (rugosidade). Garante um alto

parâmetro de qualidade nas medições, sendo destinado à análise dos problemas referentes à rugosidade de superfícies.

### 3.2.5 Líquido penetrante (LP)

Os produtos para ensaio do líquido penetrante são da marca carbografite, atendendo a norma Petrobras N-1596, procedimento para aplicação e inspeção por líquido penetrante. São utilizados três produtos para o procedimento, o PCG 53 líquido penetrante, RCG S solvente para remoção do excesso e limpeza do líquido penetrante da superfície inspecionada e o PCG 52 revelador que irá absorver o penetrante das descontinuidades revelando-as (Figura 7).

Figura 7-Líquido penetrante e revelador



Fonte: Do autor

O ensaio de líquido penetrante (LP), baseia-se na aplicação de produtos químicos, na superfície do material a ser inspecionado, para identificar microtrincas que são imperceptíveis a olho nu. Esse processo é dividido em três etapas, etapa 1 aplicação do líquido penetrante na área a ser analisada, etapa 2 remoção e limpeza do líquido penetrante e etapa 3 aplicação do revelador.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises e os resultados obtidos no presente estudo.

### 4.1 Medidas de espessura

Foram realizadas medições de espessura no disco sem uso, usado antes da recuperação e após, em todos foram feitas três medições em pontos diferentes (0°, 120°, 240°), e posteriormente uma média de cada uma delas, na figura 8 (a) mostra a espessura do disco novo, na figura 8 (b) espessura do disco usado e na figura 8 (c) espessura do disco recuperado.

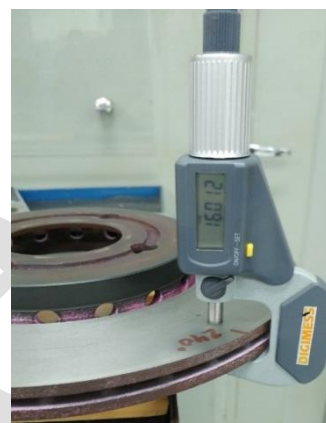
Fig 8 (a): Disco de freio novo



Fig 8 (b): Disco de freio usado



Fig 8 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Autor

Observa-se que a espessura dos discos estão conforme suas especificações e dentro do seu limite mínimo de espessura, conforme demonstrado na tabela 2:

Tabela 2-Medidas de espessura

Ângulo de Posicionamento	Espessura Disco de Freio (mm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	17,949	16,625	16,012
120°	17,956	16,621	16,013
240°	17,947	16,620	16,012
Média	17,950	16,622	16,012

Fonte: Autor

Os dados obtidos nas espessuras dos discos mostram que, o disco novo atende seu padrão de fabricação, o usado é menor devido ao seu uso efetivo de trabalho (km), e percebe-se a diferença de medida do disco usado para o recuperado é pouca, mostrando que sua usinagem de recuperação retira somente as imperfeições do componente.

#### 4.2 Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza também foram realizados no disco novo, usado e recuperado com medições em três pontos diferentes em cada disco, e a média de cada um, conforme mostra a figura 9 (a) dureza do disco novo, figura 9 (b) dureza do disco usado e figura 9 (c) dureza do disco recuperado.

Figura 9 (a): Disco de freio novo



Figura 9 (b): Disco de freio usado



Figura 9 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

No ensaio de dureza mostra que, a dureza do disco usado é menor que a do disco novo, e a dureza do disco recuperado já é semelhante ao do componente novo, os dados obtidos na figura 9 (a), 9 (b) e 9 (c) são apresentados na escala de leitura C, e convertidos para HB Brinell como podemos observar na tabela 3.

Tabela 3-Dureza Brinell HB

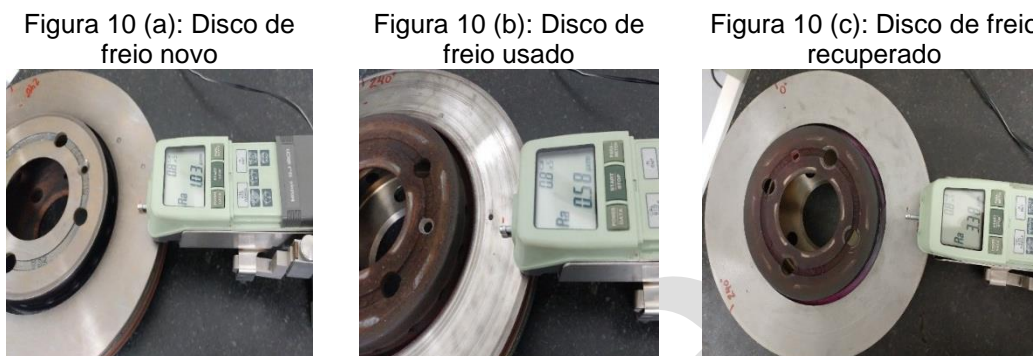
Ângulo de Posicionamento	Dureza Brinell (HB)					
	Novo		Usado		Recuperado	
	(C)	(HB)	(C)	(HB)	(C)	(HB)
0°	50	188	47	178	49	185
120°	47	178	44	169	46	175
240°	49	185	42	163	49	185
Média	49	184	44	169	48	182

Fonte: Do autor

Na dureza do disco usado, mostra-se inferior ao do disco novo, isso devido a suas variações de temperaturas e agentes externos pelo qual são submetidos pelo seu efetivo trabalho, já no disco recuperado observa-se que essa dureza é restaurada, chegando bem próximo a dureza do componente novo.

### 4.3 Análises da rugosidade

As análises de rugosidade seguiram as mesmas sequencias das etapas anteriores, coforme apresentado na figura 10 (a), figura 10 (b) e figura 10 (c).



Fonte: Do autor

A rugosidade obtida no disco usado mostra-se inferior ao do disco novo, e rugosidade do disco recuperado superior ao novo como se observa na Tabela 4.

Tabela 4-Rugosidade na Superfície do Disco

Ângulo de Posicionamento	Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	1,03	0,58	3,44
120°	1,15	0,55	3,38
240°	1,00	0,63	3,18
Média	1,06	0,58	3,33

Fonte: Do autor

No disco usado a rugosidade se apresenta inferior ao disco novo, pois o mesmo apresenta uma espécie de polimento, causado pela fricção entre os materiais de atrito e variações de temperaturas, a superioridade de rugosidade obtida no disco recuperado se da ao fato da maquina e ferramenta utilizada no processo de usinagem, não serem empregadas da mesma tecnologia usada pelo fabricante na confecção do disco novo.

### 4.4 Empenamento

As medições de empenamento foram feitas diretamente no veículo, com o disco de freio fixado no cubo de roda exercendo seu efetivo trabalho, em três pontos dos disco (superior, médio e inferior) e feito uma media desses valores, observa-se na figura 11 (a) a medição do disco novo, figura 11 (b) do disco usado e figura 11 (c) do disco recuperado.

Figura 11 (a): Disco de freio novo



Figura 11 (b): Disco de freio usado



Figura 11 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

O empenamento do disco usado mostrou-se menor que do disco novo, e do disco recuperado maior que ambos os componentes, como apresentado na tabela 5.

Tabela 5-Medidas de Empenamento

Ângulo de Posicionamento	Empenamento (mm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	0,5	0,3	0,7
120°	0,4	0,2	0,6
240°	0,3	0,2	0,4
Média	0,4	0,2	0,6

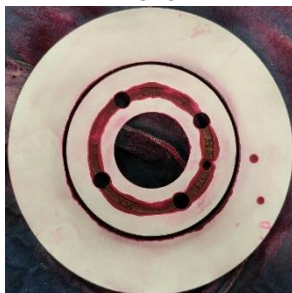
Fonte: Do autor

As diferenças encontradas no empenamento dos discos são mínimas, e todas medidas com um grau de empenamento consideravelmente baixo, não comprometendo a eficiência do sistema.

#### 4.5 Trincas superficiais

A análise de trincas foi realizada em todos os discos, como mostra a figura 12 (a) disco novo, 12 (b) disco usado e figura 12 (c) disco recuperado.

Figura 12 (a): Disco de freio novo



Fonte: Do autor

Figura 12 (b): Disco de freio usado

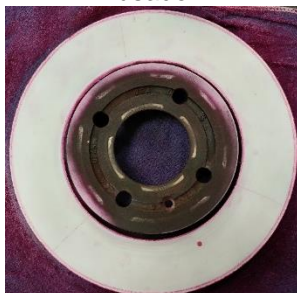
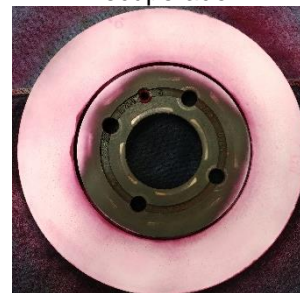


Figura 12 (c): Disco de freio recuperado



Em nenhum dos discos foi encontrado nenhum tipo de trinca, seja ela no disco novo por algum defeito de fabricação, no disco usado pela rigidez dos materiais de atrito e os fluxos de calor não uniformes, como também não obteve nenhuma trinca na usinagem de recuperação do componente.

#### 4.6 Usinagem de recuperação

A usinagem de recuperação do disco foi realizada em um torno específico para usinagem de disco de freio utilizando ferramentas de metal duro (figura 13).

Figura 13-Torneamento



Fonte: Do autor

Nota-se que na usinagem de recuperação do disco, todos os defeitos aparentes no disco usado, causados pelo seu efetivo trabalho são removidos, recuperando o aspecto de um componente novo. No presente trabalho foram analisados aspectos relevantes para possíveis defeitos em discos de freio, assim como na usinagem dos mesmos, parâmetros que influenciam diretamente no bom funcionamento do sistema de frenagem de veículos leves e conseqüentemente em sua segurança.

Grande parte dos dados obtidos nas análises mostrou que os parâmetros do disco recuperado chegaram próximos ao do componente sem uso. O único dado que se

distanciou mais foi na análise de rugosidade, em que no disco usado antes da recuperação apresentou um nível menor, pelo fato do disco apresentar uma espécie de polimento devido ao contato dos materiais e das temperaturas de trabalho. Quanto ao procedimento de recuperação, o nível da rugosidade foi maior que o do componente novo, devido a ferramenta e a máquina utilizada na usinagem de recuperação, pois as mesmas não possuem a mesma tecnologia usada pelos fabricantes, o que pode vir a causar um possível desgaste prematuro das pastilhas. Outro fator obtido foi que ambos os componentes não apresentaram nenhum tipo de trincas.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através das pesquisas bibliográficas realizadas afim de maior compreensão do sistema de freios automotivos, e dos fatores que envolvem a usinagem de recuperação, visto que estes são aspectos fundamentais para o bom funcionamento do sistema de frenagem, foram realizadas análises, e essas mostraram que os parâmetros do disco usado após passar pelo processo de recuperação, chegaram bem próximos aos do disco sem uso. Concluindo que é possível realizar esse procedimento, pois não terá suas propriedades afetadas, e que em muitos casos ele se torna bastante viável. Casos esses que devem ser bem avaliados, por que se trata de inúmeros fatores que irão levar a diferentes desgastes dos componentes, como os materiais de que eles são produzidos, e de qual forma o condutor realiza as frenagens em seus veículos.

No entanto há casos em que a vida útil da pastilha de freio irá chegar ao seu fim, enquanto a do disco ainda estará na metade. Neste caso deve-se levar em conta o fator econômico visto que o preço do disco utilizado no estudo é de R\$382,00 reais enquanto a usinagem de recuperação teve um custo de R\$25,00 reais, lembrando que quanto mais atual for a tecnologia empregada no procedimento utilizado, melhor será o resultado obtido. No caso do disco usado na pesquisa, seu limite de espessura é de 16mm, e ele chegou a uma medida de 16,012mm após o processo, sendo esse não viável fazer a recuperação. Tal situação justifica-se .....pois se chegou bem proximo ao seu limite, sou

seja, apresentou elevado desgaste, sendo este um fator imprescindível para que segurança do seu sistema.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Raphael Hayashi. **ANÁLISE DE DESGASTE EM MATERIAIS APLICADOS EM DISCOS DE FREIO**, 2015. Disponível em:

<<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/123085/000823419.pdf?sequence=1>>

Acesso em 14 de Maio de 2016.

ANDREUCCI, Ricardo. **LIQUIDOS PENETRANTES**, 2013. Disponível em:

<[www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/LP-2013\\_pdf%20substituir.pdf](http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/LP-2013_pdf%20substituir.pdf)>

Acesso em 25 de Maio de 2016.

BATISTA, Marcelo Ferreira. **ESTUDO DA RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIES PLANAS USINADAS POR FRESAS DE TOPO ESFÉRICO**, 2006. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-13032007-234237/pt-br.php>>.

Acesso em: 22 de mar. 2017.

BREZOLIN, André. **Estudo de Geração de Trincas Térmicas em Discos de Freios de Veículos Comerciais**, 2007. Disponível em:

<<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/207/Dissertacao%20Andre%20Brezolin.pdf;jsessionid=1E6DC73A1049DACAC71064F753138147?sequence=1>>. Acesso em

2 de Maio de 2016.

CAMARGO, R. (2002). **Rugosidade superficial nas operações de torneamento**. Santa Bárbara D'Oeste: SENAI.

CALIL, L.F.P.; BOEHS, L. (2004). **A atenção dada pelas empresas à textura das superfícies usinadas**. Máquinas e Metais, São Paulo, v.41, n.466, p.142, nov.

CASARIL, Alexandre. **TENACIDADE À FRATURA DE MATERIAIS COMPÓSITOS DE FRICÇÃO COMO REQUISITO DE PROJETO DE COMPONENTES DE FRENAGEM PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**, 2013. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/86468>>. Acesso em: 21 de mar. 2017.

Callister, Jr. e William, D., 2002, **“Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”**, Editora LTC, São Paulo, 5ed., p. 78-85.

DINIZ, Anselmo Eduardo; Francisco Carlos Marcondes; Nivaldo Lemos Coppini.

**Tecnologia da usinagem dos materiais**. – 8 ed. São Paulo; Artliber Editor p.249,2013

ERIKSSON, M.; BERGMAN, F.; JACOBSON, S. **On the Nature of Tribological Contact in Automotive Brakes**. Wear, Uppsala, n.252, p.26-36, 2002.

INMETRO. **Avaliação de dados de medição — Guia para a expressão de incerteza de medição**, 2008. Disponível em:  
<[http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso\\_gum\\_versao\\_site.pdf](http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf)>. Acesso em: 28 de mai. 2017.

INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2, ed, Brasília, SENAI/DN, p. 13-35, 2000.

IOMBRILLER, S. F. “**Análise térmica e dinâmica do Sistema de Freio a Disco de Veículos Comerciais Pesados**”. Dissertação (doutorado em Engenharia Mecânica), São Carlos: USP – Universidade de São Paulo, p. 177, 2002.

MACHADO, Alisson Rocha ... [et al.]. **Teoria da usinagem dos materiais - 2**. Ed. – São Paulo; Blucher p. 299, 2011.

MACKIN, T.J., “**Thermal cracking in disc brakes**”, Engineering Failure Analysis, February 2002, Vol. 9, no. 1, pp. 63-76(14).

MALUF, Omar. **FADIGA TERMOMECÂNICA EM LIGAS DE FERRO FUNDIDO CINZENTO PARA DISCOS DE FREIO AUTOMOTIVOS**, 2007. Disponível em:  
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-23062009-151607/pt-br.php>>. Acesso em: 22 de mar. 2017.

Maneiro, M. A. G., Rodríguez, J., 2006, “**A Procedure to Prevent Pile up Effects on the Analysis of Spherical Indentation data in Elastic-Plastic Materials**”, Mechanics of Materials, Madrid, Spain.

**Manual Nakata para sistema de freio**. Disponível em:  
<<http://www.nakata.com.br/files/catalogo/arquivo/3.pdf>>. Acesso em 24 de Abril de 2016.

**Manual Técnico linha leve Frasle**. Disponível em:  
<[http://www.freiar.com.br/portal/images/3202014-43010-pm\\_Manual%20Tec%20Linha%20Leve%202014.pdf](http://www.freiar.com.br/portal/images/3202014-43010-pm_Manual%20Tec%20Linha%20Leve%202014.pdf)>. Acesso em 28 de Maio de 2016.

**O Mundo da Usinagem**. Disponível em:  
<<http://www.omundodausinagem.com.br/pdf/48.pdf>>. Acesso em 4 de Junho de 2016.

ORTHWEIN, W.C., **Clutches and Brakes – Design and Selection**, 2 ed. New York, Marcel Dekker, 2004.

SILVEIRA, Rafael. **DIMENSIONAMENTO E PROJETO DO SISTEMA DE FREIOS DE UM VEICULO FORA DE ESTRADA TIPO BAJA**, 2010. Disponível em:  
<<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM053/Bibliografia/freios/%5BBR%5D%20-%20TCC%20freio%202010%20-%20Rafael%20Silveira.pdf>>. Acesso em: 23 de mar. 2017.

Souza, R.O.A. et al., Janeiro / Março, 2009, “**Avaliação da Dureza Vickers de Resinas Compostas de Uso Direto e Indireto**”, Cienc. Odontol. Bras., v.12, n.1, p.23-30.

e-TEC

# **AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DE APONTAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA LINHA DE EMPACOTAMENTO DE UMA INDÚSTRIA**

André Luis Coudeiro<sup>1</sup>

Renato Kazuo Miyamoto<sup>2</sup>

## **RESUMO**

Com um mercado cada vez mais exigente, para sobreviver, é imprescindível que as empresas possam se tornar cada vez mais eficientes e rentáveis. O presente trabalho apresenta uma solução de coleta de dados industriais, através do uso da automação industrial em uma indústria de alimentos. Para isto foram implementados sensores de barreira com o objetivo de apontar a produção e determinar com exatidão o desperdício de embalagem e matéria prima. A coleta desses dados permite gravar o histórico da produção e gerar estatísticas, que são usadas pelos gestores da empresa para acompanhamento da produção. Deste modo, torna-se possível encontrar desperdícios com maior facilidade e rapidez, e assim eliminá-los por meio do emprego destas informações para tomada de decisões estratégicas. Com isto há uma redução dos custos de produção atendendo as exigências do mercado.

**Palavras-chave:** Sensor, processos, automação, produção.

## **AUTOMATION OF A PRODUCTION POINTING PROCESS IN A PACKAGING LINE OF AN INDUSTRY**

### **ABSTRACT**

With an increasingly demanding market to survive, it is imperative that companies become more efficient and profitable. The present work presents a solution of industrial data collection, through the use of industrial automation in a food industry. To this end, barrier sensors were implemented with the aim of pinpointing production and accurately determining the waste of packaging and raw material. Collecting these data allows you to record production history and generate statistics, which are used by company managers to monitor production. In this way, it becomes possible to find wastes more easily and quickly,

---

<sup>1</sup> Pós-Graduando em Engenharia de Automação Industrial. E-mail: andre@slpart.com.br.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Elétrica. Docente da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: renato.miyamoto@sistemafiep.org.br

and thus eliminate them through the use of this information for strategic decision making. With this there is a reduction of the costs of production meeting the requirements of the market.

**Key-words:** Sensor, processes, automation, production.

## 1. INTRODUÇÃO

As empresas buscam melhores níveis de produção para adquirir maior competitividade no mercado. A identificação dos desperdícios e a sua eliminação pode ser uma estratégia que propicia para a empresa um menor custo e conseqüentemente ganhos competitivos. Para isso é necessário entender completamente seus processos produtivos tornando assim possível realizar a sua racionalização (CERYNO, POSSAMAI, 2008).

De acordo com Amorim e Rocha (2012), as empresas devem dedicar-se ao aprimoramento de processos, que podem resultar em melhorias que contribuem com a sua permanência no mercado. O aprimoramento de processos também é um dos fatores que implicam nos lucros da empresa, pois auxilia em uma redução dos desperdícios ao longo do processo ou no produto final.

Em um processo de empacotamento de cereais de inverno, há uma linha de produção composta pela i) empacotadora: responsável por inserir o produto produzido no saco de 250gr ; ii) encartuchadora, responsável por colocar o saco de 250gr com produto dentro da caixa; iii) impressora de data de validade, responsável por imprimir o prazo de validade dos produtos na caixa, iv) balança dinâmica (*checkweigher*): responsável por pesar as caixas, as caixas que estiverem fora do peso estipulado no setup da máquina são desviados para serem embalados novamente e v) detector de metal, verifica cada uma das caixas que passam pela esteira, se for detectado material metálico a caixa é descartada.

O processo de fabricação é automatizado, não tendo a necessidade de contato do operador para ser realizado, porém, durante o processo de fabricação o operador necessita realizar apontamento da produção, ou seja, informar o que foi produzido a cada hora e o que foi rejeitado pela balança dinâmica e detector de metal. Atualmente este processo é manual, moroso e muitas vezes falho pois necessita da interação humana para tal coleta.

O presente trabalho apresenta uma solução para otimização do processo produtivo de uma indústria de alimentos. Assim, verificou-se a possibilidade da utilização de

sensores e PLC's para identificar a passagem do produto, que contribui para a confiabilidade dos dados e elimina a interação do operador com o processo.

Para a implementação deste trabalho, foram utilizados 3 sensores capacitivos para realizar a contagem dos cartuchos que passarem pelos três pontos de coleta que são: descarte na checagem do peso, descarte no detector de metais e apontamento da quantidade de cartuchos produzidos. Esses dados serão transmitidos para um CLP que será conectado a uma rede Ethernet. Os dados serão gravados em uma base de dados que ficará disponível para relatórios futuros.

Deste modo, busca-se uma contribuição em pesquisas na área de automação industrial, de modo a aplicar conceitos de automação em um sistema para realizar a contagem de cartuchos com maior precisão e menor tempo, reduzindo custos, erros humanos de leitura e proporcionando uma otimização no processo produtivo fabril.

Assim, para a realização deste projeto foram utilizados conceitos de processo e qualidade visando a otimização em linhas de produção. Tais aspectos serão abordados no Capítulo 2.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Progresso da indústria**

A Revolução industrial foi o movimento que deu origem à automação industrial e às demais áreas tecnológicas, se caracterizando como um dos mais importantes acontecimentos da história da humanidade. Teve início no século XVIII, na Inglaterra, com a mecanização dos sistemas de produção (NETTO; TAVARES, 2006)..

A burguesia industrial, ávida por maiores lucros, menores custos e produção acelerada, buscou alternativas para melhorar a produção de mercadorias. Aliado a este fato, o crescimento populacional gerou maior demanda de produtos e mercadorias (NETTO; TAVARES, 2006).

O século XVIII foi marcado pelo grande salto tecnológico nos transportes e máquinas. As máquinas a vapor, principalmente os gigantes teares, revolucionaram o modo de produzir. Se por um lado a máquina substituiu o homem, gerando milhares de

desempregados, por outro baixou o preço de mercadorias e acelerou o ritmo de produção. Na área de transportes, podemos destacar a invenção das locomotivas (Stephenson/1814) e os barcos a vapor (Robert Fulton/1807).

Não estamos mais a caminho de uma sociedade voltada ao conhecimento, pois já estamos nela de fato. Não há dúvida de que todas essas mudanças tecnológicas desenvolveram novas formas de trabalho, e que trouxeram novas exigências de qualificação e perfil do trabalhador.

Para Kaplan & Norton (1997, p. 4)

[...] Agora, os funcionários devem agregar valor pelo que sabem, e pelas informações que podem fornecer. Investir, gerenciar e explorar o conhecimento de cada funcionário passou a ser fator crítico de sucesso para as empresas na era da informação.

### **2.1.1. Expansão da Produção**

De acordo com Chivenato (2003), Henry Ford foi um dos grandes percursores da nova escola de administração científica. Foi ele quem gerou a maior inovação nos sistemas produtivos: a produção em massa, que necessita de 3 aspectos para ocorrer: i) a evolução do produto na linha de produção é planejada, organizada e contínua; ii) o trabalhador recebe o trabalho, não tendo a necessidade de ter que ir buscá-lo e iii) as operações são estudadas em seus elementos constituintes.

Os métodos desenvolvidos por Ford levaram à redução dos custos e um aumento da qualidade dos produtos. O novo sistema de produção em massa proposto por Ford, em que as máquinas realizavam somente um tipo de tarefa por vez, fez também com que os tempos de preparação diminuíssem drasticamente gerando bons resultados para as empresas (SOUZA, 2010).

### **2.1.2. Sistema Toyota de Produção**

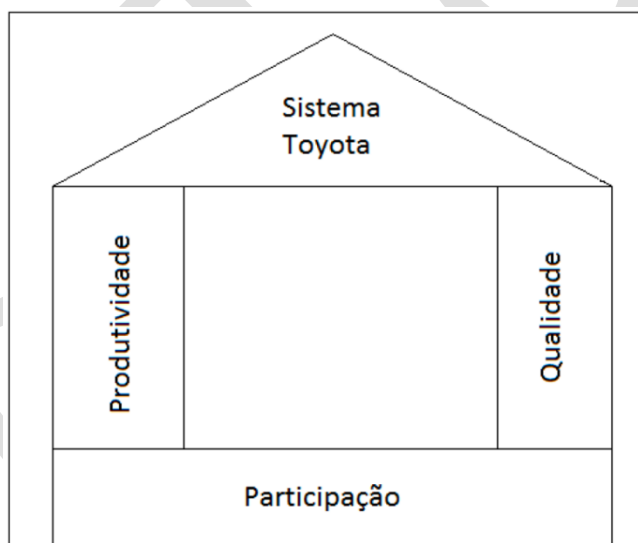
Segundo Moreira (2011) o Sistema Toyota de Produção é considerado uma invenção de Taiichi Ohno. No ano de 1973 os custos de produção para empresas japonesas que competiam no cenário internacional, aumentaram radicalmente devido a crise do petróleo. Conforme afirma Gomes (2001), dentro deste cenário surgiu o Sistema

Toyota de Produção que buscava adequar-se às novas regras impostas pelo mercado mundial, em conjunto com a redução dos custos e uma produção flexível.

Ohno (1997) comenta que tanto o Sistema Toyota como sistema Ford são baseados em fluxo de trabalho. Tem-se, entretanto, como principal diferença o fato do sistema Ford realizar o armazenamento de peças, enquanto o sistema Toyota busca reduzir ao máximo seus estoques, priorizando a melhoria dos seus processos.

Para Maximiano (2011), a eliminação de desperdício e a fabricação com alta qualidade são os conceitos mais importantes do Sistema Toyota. É necessário que exista o envolvimento de todos os funcionários para que esses conceitos venham a funcionar da maneira mais correta possível, devido a base para sustentação do sistema Toyota ser uma administração participativa. A Figura 1 ilustra uma proposta gráfica adaptada de Maximiano (2011) para o Sistema Ford.

Figura 1: Elementos do Sistema Toyota de Produção.



Fonte: Adaptado de Maximiano (2011).

O Sistema Toyota busca diferenciar-se do modelo de Ford reduzindo os desperdícios de recursos que nele se encontravam, sendo eles: materiais, espaço, tempo e esforço humano (MAXIMINIANO, 2011).

Segundo Lutosa *et al.* (2008), são identificados dentro do Sistema Toyota de Produção, sete tipos de desperdícios que devem ser controlados, conforme observados no Quadro 1.

Quadro 1: Os sete tipos de desperdícios

Tipos	Definição
Superprodução	Consiste em produzir além do que se necessita ou muito cedo.
Espera	O tempo que máquinas e/ou pessoas ficam paradas.
Transporte excessivo	Caracterizado pelo desperdício gerado pela movimentação de peças, componentes, matéria-prima ou produtos acabados dentro da fábrica ou entre fábricas.
Processos inadequados	São os procedimentos que devem ser feitos ao longo do processo, e que poderiam ser mudados para simplifica-lo.
Estoque desnecessário	Deve ser eliminado, porém para que isso seja feito deve se identificar suas causas.
Movimentação desnecessária	É a movimentação dos operadores quando não estão em atividades que agregam valor para o produto, ou seja, atividades em que a matéria-prima não está sendo transformada em produto acabado.
Produtos defeituosos	Caracterizados por produtos com baixa qualidade.

Fonte: Adaptado de Lutosa *et al.* (2008).

De acordo com Gomes (2001), o sistema Toyota de Produção é utilizado para melhorar os sistemas de produção de uma empresa, não sendo capaz de solucionar todos os problemas que nela são encontrados.

## 2.2. Processos

Os processos em uma organização são muito importantes, pois são eles que produzem o produto ou serviço que vai ao cliente, e a partir destes as empresas criam diferenciais competitivos. Os processos demonstram como a organização funciona, e criam valor na perspectiva do cliente.

De acordo com Davenport (1994) e Moura *et al* (2014), o processo nada mais é que uma estrutura bem definida para produção de bens ou serviços, ou seja, possui início, meio e fim. Possuindo entradas de insumos e saídas de produto manufaturado.

Segundo Martins e Laugení (2002), processo pode ser determinado como o caminho percorrido por um material desde a sua chegada na organização até sua transformação e saída da organização para o cliente.

### 2.2.1. Mapeamento de processos

Para Scucuglia (2007), o mapeamento de processos é uma atividade que objetiva demonstrar fielmente como ocorrem as operações internas, de tal modo a informar quais seus pontos fortes, onde ocorrem as não conformidades, como é o fluxo de informações

entre diferentes processos e principalmente detalhar quais são de fato as entregas que cada cliente interno deve realizar no objetivo de construir um produto.

Para Paladini *et al* (2012), o mapeamento de processos é uma atividade muito importante pois permite a organização conhecer de forma detalhada todas as operações realizadas para a produção de determinados produtos e serviços. O mapeamento de processos possibilita a descoberta de possíveis falhas e quais suas fontes originadoras, propiciando assim a busca por ações de contenção ou eliminação de falhas.

Mapear processos significa entender como está sendo desenvolvido o fluxo de atividades fins para a realização de determinado produto, de tal forma a perceber se há ou não oportunidades de melhorias bem como eliminação de falhas através do redesenho de processo; ou até mesmo redução de processos que não estão agregando valor.

### **2.2.2. Análise de processo**

Segundo Corrêa e Corrêa (2012), a análise de processos é uma ferramenta para avaliar as operações de forma ampla, cada sequência de atividades pode ser verificada, desde os recursos de entrada até saídas com objetivo de definir ou melhorar o processo.

Após o mapeamento de processos é necessário analisar as informações coletadas, diante disso é fundamental a realização de uma boa dos processos, sendo a partir desse momento possível detectar atividades que poderão ser melhoradas, para tanto é imprescindível a construção de planos de ação, acompanhamento e controle de processos.

### **2.2.3. Controle de processo**

Para Davis, Aquilano e Chase (2001), o controle de processos relaciona-se ao monitoramento da qualidade durante a fabricação do produto ou realização do serviço, tendo como objetivo informar se os processos estão atendendo as especificações do projeto ou sinalizar variações que poderão resultar em produtos fora de níveis de qualidade exigidos pelos clientes.

Controlar processos significa afirmar que cada atividade será executada em conformidade ao desenho inicial do processo ou assegurar a realização em acordo as

necessidades de melhorias diagnosticadas frente ao mapeamento e análise de processos efetuados anteriormente, garantindo a qualidade dos produtos ou serviços.

#### **2.2.4. Tipos de processos**

Segundo Maximiano (2004), existem 3 tipos principais de processos: produção em massa, produção por processo contínuo e produção unitária em pequenos lotes.

A produção em massa é a produção de grandes quantidades de bens ou serviços idênticos, como por exemplo parafusos, refeições rápidas e automóveis. A produção por processos contínuos funciona como equipamentos que operam de forma ininterrupta. Já a produção unitária em pequenos lotes diz respeito a produção realizada sob encomenda independente de sua complexidade.

#### **2.2.5. Qualidade**

Para (HOROVITZ, 1993, p. 21), a qualidade é

[...] o nível de excelência que a empresa escolhe alcançar para satisfazer à sua clientela-alvo. É ao mesmo tempo, a medida com que ela se conforma e esse nível.”

Segundo Crosby (1999), assegurar a qualidade é induzir as pessoas a fazer tudo aquilo que devem fazer desde o nível estratégico até o nível operacional da organização.

A qualidade dos produtos e serviços não é definida ou determinada pelas empresas produtoras, ela é determinada pelos clientes. A qualidade de um produto ou serviço é a percepção do cliente do grau que o produto ou serviço atende a suas expectativas (GAITHER, FRAZIER, 2002, p. 489)

De acordo com Martins e Laugení (2002), em 1970, junto com o renascimento da indústria japonesa, o termo qualidade surgiu de maneira bem intensa, tornando-se uma arma para a vantagem competitiva. Em 1980 os fabricantes de veículos japoneses se tornaram extremamente competitivos no mercado, antes vistos com pouco caso pelos fabricantes americanos.

“O primeiro passo é considerar a qualidade como um conjunto de atributos ou elementos que compõem o produto ou serviço.” (PALADI, 2009, p. 30)

Para Slack et. al (2009) e Veiga e Braga (2014) a qualidade diz respeito a entrega do produto ao cliente atendendo suas expectativas. Assim, oferecer um produto ou serviço com qualidade demonstra a preocupação e o comprometimento da organização com seus clientes, buscando que a satisfação dos consumidores vá além de sua expectativa inicial.

E para garantia a qualidade dos seus produtos a empresa implementou uma séria de medias automatizadas, demonstradas no capítulo Metodologia.

### **3. METODOLOGIA**

Para a realização desse trabalho, foram feitos levantamentos de dados por meio de entrevistas com gestores da área de produção e coordenação de desempenho e produtividade. Nessa entrevista foi solicitado problemas reais na linha de empacotamento, e que poderiam ser solucionados através da automação onde a coleta e o armazenamento de dados para pesquisas futuras fosse fundamental.

No levantamento de dados foi identificado os seguintes apontamentos: a contagem dos produtos que passaram pelo detector de metal e que foram considerados produtos livres de corpo metálico; a contagem dos cartuchos que estavam com o peso fora dos padrões estabelecidos e a contagem dos cartuchos que estavam em perfeitas condições e poderiam ser considerados produção.

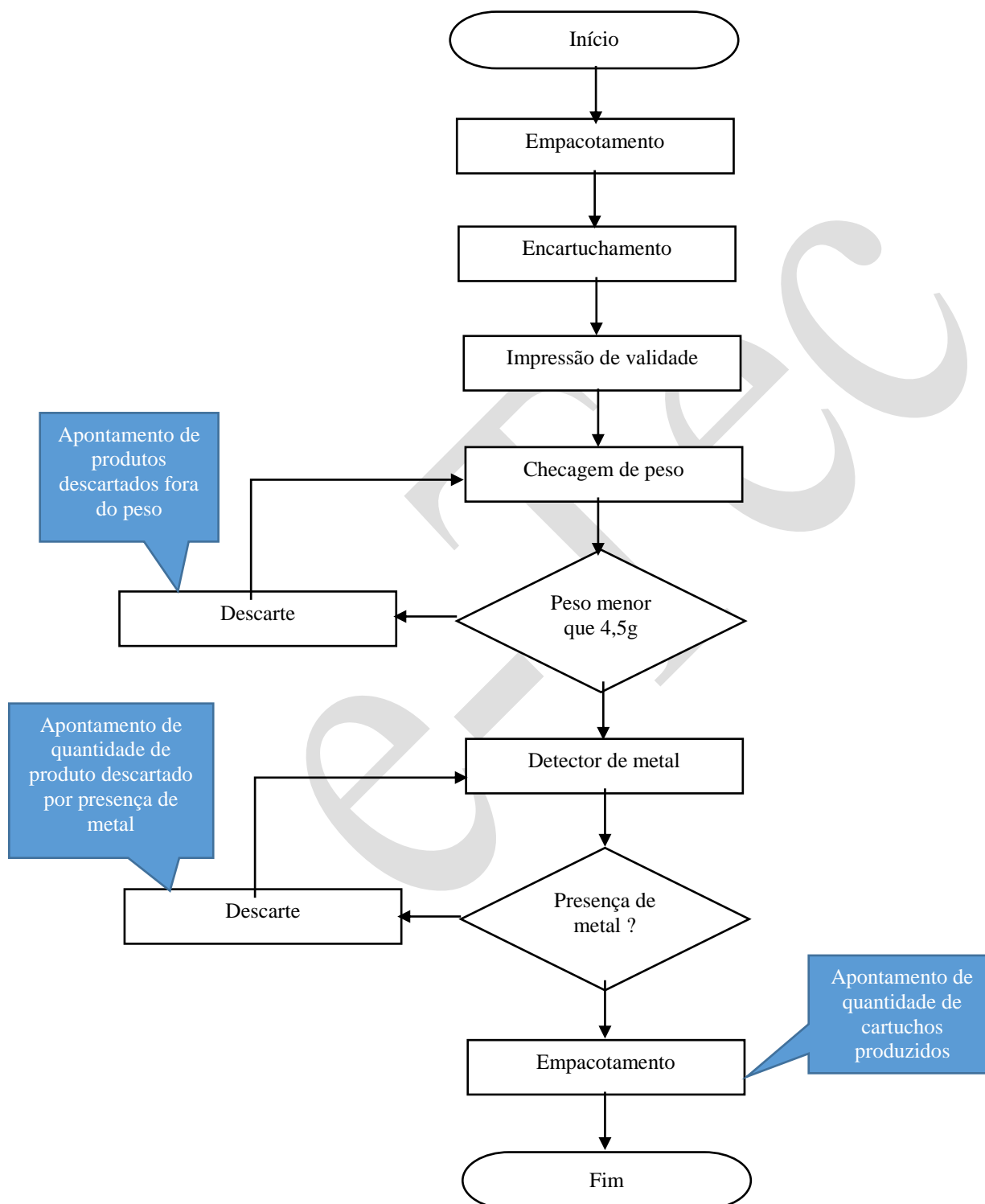
Assim, todos esses apontamentos eram feitos manualmente, acarretando em um processo de apontamento lento e impreciso, uma vez que o operador pode errar na contagem e no preenchimento da ficha de apontamento de produção aliado ao fato de possíveis problemas de interpretação. Os problemas de interpretação acarreta em retrabalho, uma vez que o colaborador precisa conferir as informações do formulário que foi preenchido por outro colaborador no turno anterior.

Havia também uma necessidade de melhorar os apontamentos de produção e da contagem das perdas por parte do departamento de desempenho e produtividade. Esse departamento realiza as estatísticas de produção, apura as perdas e aponta onde estão as falhas no processo quando as perdas ultrapassam valores aceitáveis. A automação desse processo resulta em rapidez e confiabilidade no apontamento da produção.

O processo de empacotamento inicia quando o produto a granel chega na máquina de empacotamento. Nesse momento a máquina enche um saquinho de 250 gramas com o produto. Nesta fase o produto já passou por um detector de metais colocado na linha de

produção cuja função é identificar metais que possam ter sido inseridos nos pontos de coletas de amostras na linha de produção como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Fluxo do processo produtivo da SL Alimentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em seguida, os saquinhos passam pela encartuchadeira que tem a função de colocar o saquinho com o produto dentro de uma caixinha de papelão também chamada de cartucho. Como essa máquina sofre constantes manutenções, e durante essas manutenções pode ocorrer a queda acidental de pequenas peças, parafusos e demais objetos metálicos, a empresa optou por implementar um segundo detector de metais no final da linha, garantindo que todos os cartuchos que passassem para a área de embalagem nas caixas master, estivessem livres de corpos metálicos.

Depois que o produto é colocado no cartucho, ele passa por uma balança. Se o peso do cartucho estiver fora dos parâmetros estabelecidos, um braço pneumático separa esse produto para reembalagem. Neste ponto, a contagem dos produtos descartados foi automatizada através da implementação de um sensor fotoelétrico que detecta a presença do cartucho e aciona um contador. Sua função será contar todas as caixas que forem descartadas por estarem com peso errado. O contador do sensor está conectado ao CLP que por sua vez envia as informações de contagem para um sistema supervisorio.

Os cartuchos que estiverem com o peso correto, passarão pelo detector de metais. Neste ponto, foi implementado 2 sensores fotoelétricos: um sensor tem a função de contar quantos cartuchos foram descartados por causa da presença de metais; o outro sensor identifica a quantidade de cartuchos que estão prontos para serem embalados na caixa master. O resultado dessa contagem é a quantidade total produzida. O processo de empacotamento completo é representado na Figura 1.

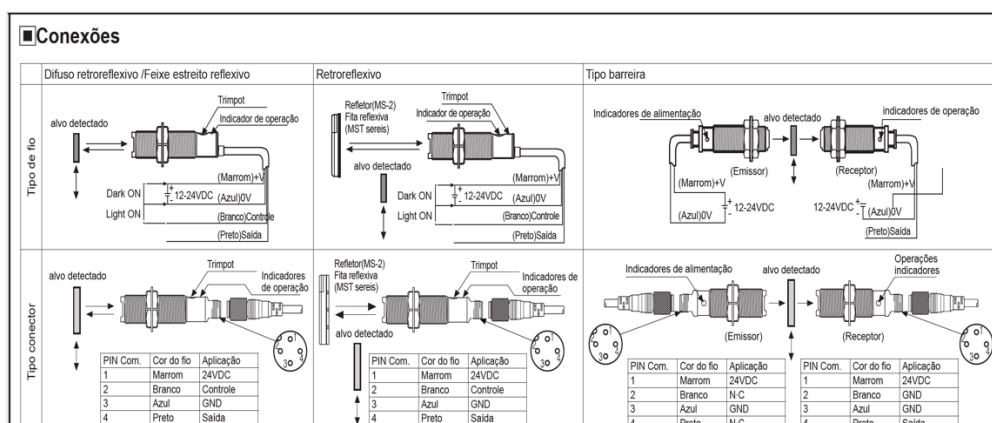
O sensor utilizado neste trabalho foi o sensor fotoelétrico modelo BR20m-TDTL-P, do tipo barreira. O referido sensor detecta objetos a uma distância de até 20 metros, com uma velocidade de resposta de 1ms, também possui maior resistência a ruídos com processamento de sinal digital e proteção contra curto circuito na saída e inversão de polaridade. Este sensor está representado na Figura 2 e a Figura 3 apresenta as características do sensor BR20M TDTL-P.

Figura 2 – Sensor Fotoelétrico BR20M TDTL-P – tipo barreira



Fonte: Smartec Automação (2017).

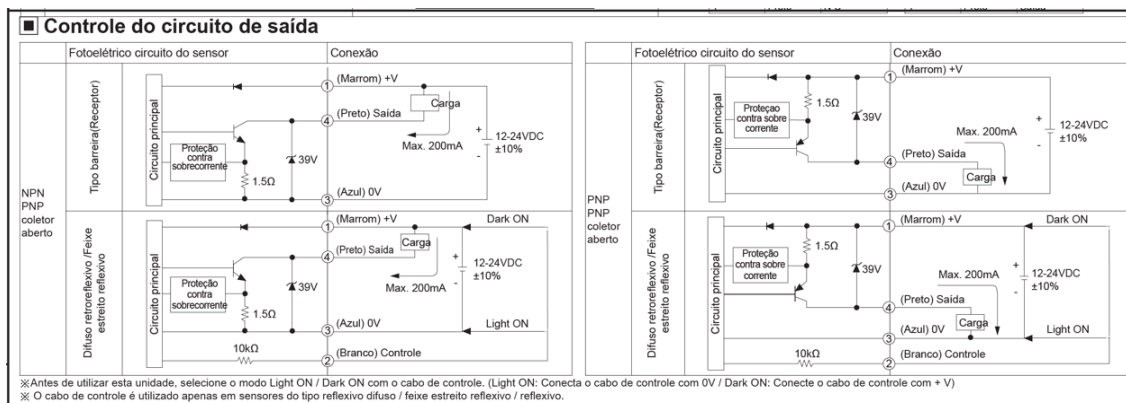
Figura 3 – Características do sensor BR20M TDTL-P



Fonte: Smartec Automação (2017).

A Figura 4 representa o projeto elétrico do sensor.

Figura 4 – Projeto elétrico do sensor BR20M TDTL-P



Fonte: Smartec Automação (2017).

Os objetivos esperados foram alcançados, e serão descritos no capítulo 4 apresentação e discussão dos resultados.

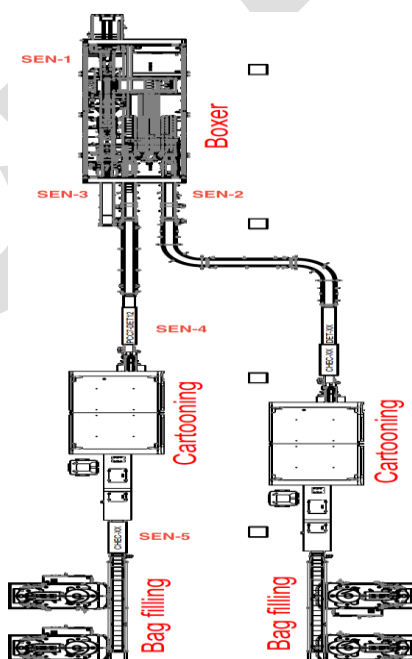
#### 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A empresa que se realizou o estudo produz produtos integrais a base de aveia. A definição de qual processo e qual linha seriam automatizados, foram definidas a partir de informações coletadas por meio de entrevistas com os gestores.

Após a análise do processo produtivo, compreendeu-se que no processo de empacotamento, na linha 3 – Raumak, estavam as melhores oportunidades, visto que os apontamentos feitos até o momento eram feitos de forma manual. Com base no histórico dos dados coletados serão gerados relatórios estatísticos para a análise dos gestores.

A Figura 5 apresenta o layout da linha 3 e 4, e demonstra a posição dos sensores utilizados na coleta. Na sequência, a Figura 6 apresenta o resultado da coleta dos sensores SEN-1. Este sensor registra a quantidade de cartuchos produzidos na Linha 3, o SEN-2 registra a produção dos cartuchos produzidos na linha 4 e SEM-3, que registra a quantidade de caixas com 28 cartuchos produzidos.

Figura 5 : Layout da Linha de Empacotamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

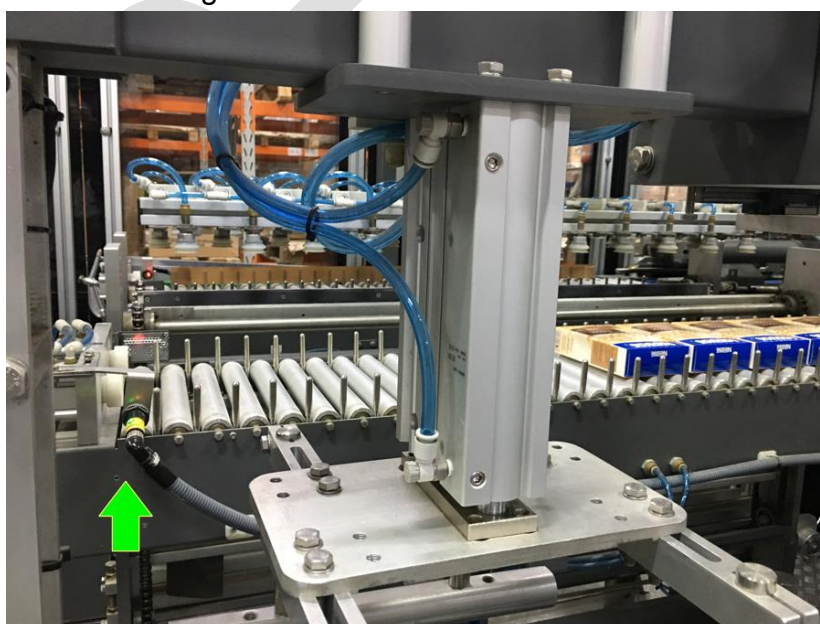
Figura 6: Tabela de banco de dados de Produção

Id	EquipmentId	name	Alias	DbCheck	processId	name	Shift	itemCode	value	Createdate
1	2	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FF1048	12.000000	2019-03-20 13:19:38.467
2	3	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FF1048	12.000000	2019-03-20 13:20:34.773
3	7	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FF1048	28.000000	2019-03-20 13:37:26.827
4	8	19	SEN-2 RAUMAK L4	0	5	Empacotamento	1	FL5037	12.000000	2019-03-20 13:38:43.013
5	9	19	SEN-2 RAUMAK L4	0	5	Empacotamento	1	FL5037	12.000000	2019-03-20 13:38:44.117
6	10	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FL5037	28.000000	2019-03-20 13:39:05.580
7	11	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FL6531	12.000000	2019-03-20 15:11:16.257
8	12	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FL6531	12.000000	2019-03-20 15:11:17.467
9	13	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FL6531	28.000000	2019-03-20 15:11:36.900
10	14	19	SEN-2 RAUMAK L4	0	5	Empacotamento	1	FL5037	12.000000	2019-03-20 15:18:11.373
11	15	19	SEN-2 RAUMAK L4	0	5	Empacotamento	1	FL5037	12.000000	2019-03-20 15:18:12.743
12	16	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FL5037	28.000000	2019-03-20 15:18:35.600
13	17	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FL5037	28.000000	2019-03-20 15:19:47.057
14	18	19	SEN-2 RAUMAK L4	0	5	Empacotamento	1	FL5037	12.000000	2019-03-20 15:20:02.653
15	19	19	SEN-2 RAUMAK L4	0	5	Empacotamento	1	FL5037	12.000000	2019-03-20 15:20:03.327
16	20	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FL6531	12.000000	2019-03-20 15:20:24.880
17	21	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FL6531	12.000000	2019-03-20 15:20:25.640
18	22	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FL6531	28.000000	2019-03-20 15:20:39.403
19	23	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FL6531	28.000000	2019-03-20 15:20:48.493
20	24	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FL6531	12.000000	2019-03-20 15:21:05.747
21	25	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FL6531	12.000000	2019-03-20 15:21:06.233
22	26	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FF1048	12.000000	2019-03-20 15:21:26.090
23	27	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FF1048	12.000000	2019-03-20 15:21:26.673
24	28	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FF1048	28.000000	2019-03-20 15:21:39.937
25	29	20	SEN-3 BOX RAUMAK ( L3+L4)	1	5	Empacotamento	1	FF1048	28.000000	2019-03-20 15:21:42.547
26	30	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FF1048	12.000000	2019-03-20 15:21:55.363
27	31	18	SEN-1 RAUMAK L3	0	5	Empacotamento	1	FF1048	12.000000	2019-03-20 15:21:55.847

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para cada acionamento do sensor SEN-1 na Boxer Raumak, são contados 12 cartuchos, como mostra a Figura 7.

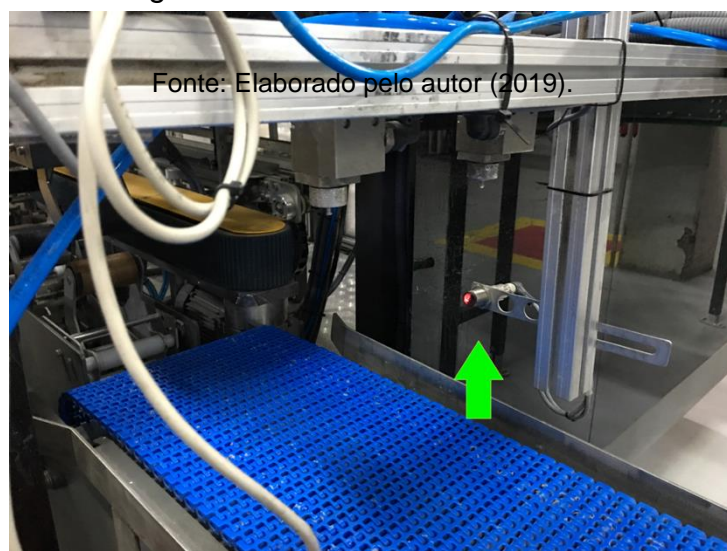
Figura 7: Boxer Raumak - sensor SEN-1



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para cada acionamento do sensor SEN-3 na Boxer Raumak, são contados uma caixa com 28 cartuchos, como ilustra a Figura 8.

Figura 8: Boxer Raumak - sensor SEM-3



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Figura 9 apresenta o resultado da coleta do sensor SEN-4, este sensor registra a quantidade de cartuchos descartados por presença de material metálico. O sensor SEM-5 registra a quantidade de cartuchos que foram descartados por peso errado.

Figura 9: Tabela de banco de dados de perdas

	Id	EquipmentId	Sensor	Alias	DbCheck	processId	name	Shift	itemCode	value	Createdate
1	52	21	SEN-4	Detector de Metal - RAUMAK - L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FL6531	1.000000	2019-03-21 16:58:13.950
2	53	21	SEN-4	Detector de Metal - RAUMAK - L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FL6531	1.000000	2019-03-21 16:58:14.843
3	54	21	SEN-4	Detector de Metal - RAUMAK - L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FF1048	1.000000	2019-03-21 16:58:28.033
4	55	21	SEN-4	Detector de Metal - RAUMAK - L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FF1048	1.000000	2019-03-21 16:58:28.593
5	56	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FF1048	1.000000	2019-03-21 16:58:50.483
6	57	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FF1048	1.000000	2019-03-21 16:58:50.890
7	58	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FF1048	1.000000	2019-03-21 16:58:51.410
8	59	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FF1048	1.000000	2019-03-21 16:58:51.790
9	60	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FF1048	1.000000	2019-03-21 16:58:52.370
10	61	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FL6531	1.000000	2019-03-21 16:59:04.570
11	62	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FL6531	1.000000	2019-03-21 16:59:04.977
12	63	22	SEN-5	CheckWeigher - RAUMAK L3+L4	0	5	Empacotamento	1	FL6531	1.000000	2019-03-21 16:59:05.347

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Quando o sensor SEN-4 é acionado uma válvula pneumática também é acionada, liberando um jato de ar que desloca o cartucho para a caixa de descarte, como mostra a Figura 10.

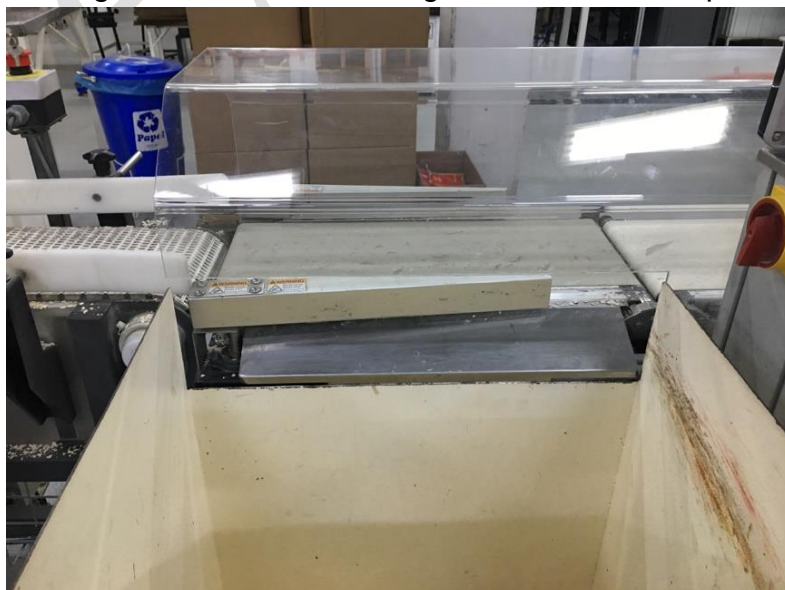
Figura 10: Foto Descarte por presença de metal



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

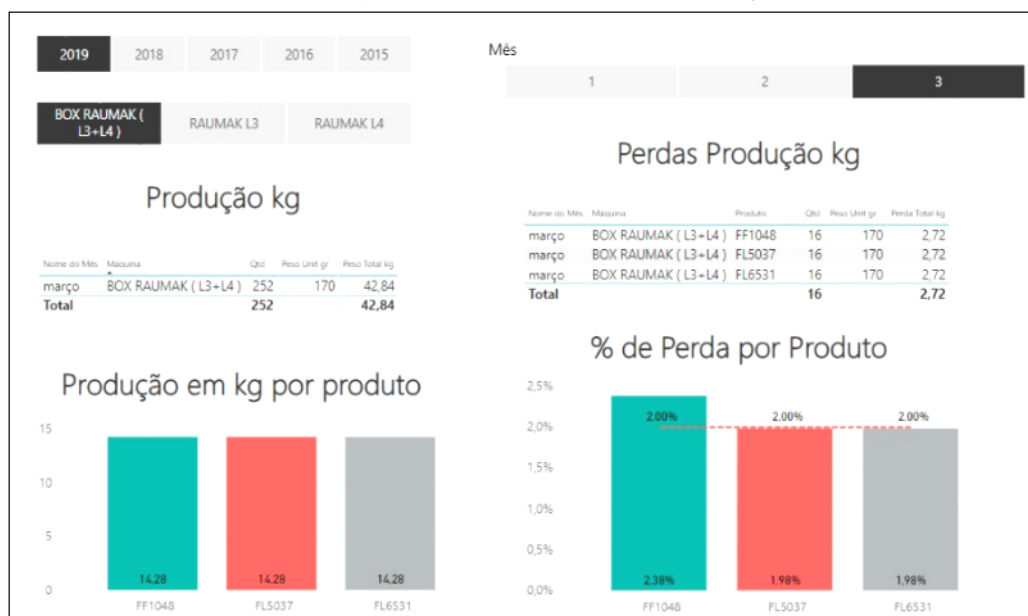
Quando o sensor SEN-5 é acionado por detectar peso errado do cartucho, o braço separador desvia o cartucho para a caixa de descarte, conforme Figura 11.

Figura 11: Foto ChecWeigher, checadora de peso



Utilizando uma ferramenta de BI, o Microsoft Power BI, foi elaborado um relatório e gráficos, demonstrando o resultado dos apontamentos da produção e suas perdas, para a análise dos gestores da produção, conforme Figura 12.

Figura 12: Relatório de Produção



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para cumprir as exigências do mercado, as empresas precisam ser cada vez mais competitivas, e para atingir esse objetivo é necessário ter o controle total do processo produtivo, identificar e eliminar desperdícios, obtendo como resultado a diminuição dos custos e consequentemente aumentar ganhos competitivos.

Com a implementação sugerida neste trabalho, os resultados foram satisfatórios e os objetivos estabelecidos foram alcançados, que eram, através de um sistema de aquisição de dados, coletar informações estatísticas dos processos em tempo real, a análise dos dados coletados que acrescentam várias vantagens ao processo como um todo. Tais vantagens podem ser notadas como: um menor desperdício de matéria prima e embalagem, análise estatística da produção, maior capacidade produtiva, monitoramento online, entre outros.

Este estudo evidencia oportunidades de melhorias futuras relacionadas a ampliação de pontos de coleta, tais como: registro das temperaturas durante as etapas do processo, registrar o peso da matéria prima na entrada dos silos da fábrica para apurar o rendimento, que é um indicador muito importante de produtividade, resultando em controle de custos através da gestão do rendimento da matéria prima, já a implementação da tecnologia IOT, permitirá a conexão sem fio entre os sensores e o CLP, como resultado do uso dessa tecnologia, a empresa poderá eliminar a necessidade de cabeamento entre o sensor e o CLP, isso irá reduzir a complexidade e os custos de manutenção e instalação de novos sensores na fábrica.

Desta maneira a Indústria SL Alimentos poderá trabalhar um plano de ação para cada uma dessas sugestões buscando maior efetividade em suas atividades, podendo utilizar ferramentas de qualidade como análise de causa raiz para minimizar ou até eliminar problemas no processo produtivo.

## **REFERÊNCIAS**

AMORIM, Marcos B.; ROCHA, Augusto C. B. Ferramentas de Engenharia de Produção para redução de desperdícios em cozinhas industriais. In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep) – Bento Gonçalves, 2012.

CAPELLI, A. Eletrônica para Automação. Rio de Janeiro: Antenna, 2004.

CERYNO, P.; POSSAMAI, O. Como considerar os princípios do Lean Manufacturing no processo de desenvolvimento de produtos. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, (Enegep) – Rio de Janeiro, 2008.

CHIAVENATO, Idalberto. Introdução à Teoria Geral da Administração. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. 2012. Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo, SP: Atlas. ISBN 978-85-224-6918-5

CROSBY, Philip B. 1999. Qualidade é investimento. Rio de Janeiro, RJ: José Olympio. ISBN 85-03-00421-6

DAVENPORT, Thomas H. 1994. Reengenharia de processos. Como inovar na empresa através da tecnologia da informação. Rio de Janeiro, RJ: Campus. ISBN 85-7001-874-6

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. 2001. Fundamentos da Administração da Produção. Porto Alegre, RS: Bookman Editora. ISBN:8573075244

FRAZIER, Greg; GAITHER, Norman. 2002. Administração da Produção e Operações. São Paulo, SP: Thomson Learning. ISBN: 8522102376

GOMES, Leonardo de Carvalho. Avaliação da Contribuição das Técnicas do Sistema Toyota de Produção para os Objetivos Estratégicos das Empresas. 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/LeonardoDeCarvalhoGomes.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

HOBSBAWM, Eric J. A era das revoluções: 1789-1848. São Paulo: Ed. Paz e Terra, 2010.

HOROVITZ, Jacques. 1993. Qualidade de Serviço – a batalha pela conquista do cliente. São Paulo, SP: Nobel. ISBN 85-213-0769-1

KAPLAN, Robert S. e NORTON, David P. Estratégia em ação: Balanced Scorecards. Rio de Janeiro, Campus, 1997.

LUTOSA, Leonardo et al. Planejamento e Controle da Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. 2002. Administração da Produção. 6ª Ed. São Paulo: Saraiva. ISBN 8502025023

MAXIMIANO, Antonio Cesar A. Teoria geral da administração. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MOREIRA, Daniel Augusto. Administração da Produção e Operações. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

NETTO, Alvim Antônio de Oliveira; TAVARES, Wolmer Ricardo. Introdução à Engenharia de Produção. Florianópolis: Visual Books, 2006.

OHNO, Taiichi. O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala. Tradução: Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALADINI, Edson Pacheco. 2009. Gestão da qualidade: teoria e prática. São Paulo, SP: Atlas. ISBN 978-85-224-3673-6

SCUCUGLIA, Rafael. 2007. Como mapear seus processos. [online]. Disponível em: [https://gaussconsulting.com.br/wp-content/uploads/2013/05/artigo\\_como\\_mapear\\_seus\\_processos.pdf](https://gaussconsulting.com.br/wp-content/uploads/2013/05/artigo_como_mapear_seus_processos.pdf). Acesso em: 05 de mar de 2019.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. 2009. Administração da Produção. 3ª Ed. São Paulo: Atlas. ISBN 9788522453535

SOUZA, Mariana Rodrigues de. Considerações sobre a Implementação de Princípios de Construção Enxuta em Construtoras de Médio Porte. 2010. 106 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/66.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.

SOUZA, Roberto de; ABIKO, Alex. Metodologia para Desenvolvimento e Implantação de Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas Construtoras de Pequeno e Médio Porte. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 1997.

VEIGA, Sandreli Alves Marquioti; BRAGA, Washington Luis Moreira. 2014. Mapeamento de processo como ferramenta de auxílio na implantação do tqm: aplicação em uma empresa fabricante de materiais esportivos. Bauru – SP: Unesp, XXIII SIMPEP, Artigo 707, [online] [Acesso em 10 de set de 2015] [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=9](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=9)



**Revista e-Tec - V03-2019**