

Este livro reúne artigos de pesquisas realizadas ao longo do ano de 2019, realizadas no IFMG campus Congonhas pesrpassando as diversas áreas de conhecimento da instituição.

O IFMG campus Congonhas é uma instituição de ensino gratuita, vinculada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Oferece Cursos Técnicos Integrados, Concomitantes e Subsequentes, além de cursos de graduação em Engenharia e Licenciaturas.

Tem como missão promover a educação básica, profissional e Superior nos diferentes níveis e modalidades, em benefício da sociedade. Anualmente, cerca de 1200 alunos circulam pela instituição voltada para a formação de profissionais qualificados para atuar no mercado de trabalho.

Coletânea de Pesquisa no IFMG Campus Congonhas 2019

Artur Caron Mottin (org.)

# Coletânea de Pesquisa no IFMG Campus Congonhas 2019

Gerência de Pesquisa, Inovação e  
Pós-Graduação

IFMG - Campus Congonhas

Artur Caron Mottin (org.)

# **Coletânea de Pesquisa no IFMG** ***Campus Congonhas* 2019**

**GPIPG**

Gerência de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação  
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Congonhas*

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS**

*Kléber Gonçalves Glória*

**Reitor**

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – CAMPUS CONGONHAS**

*Robert Cruzoaldo Maria*

**Diretor Geral**

*Paula Cristina de Paula Caldas*

**Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação**

*Artur Caron Mottin*

**Gerência de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação**

**COORDENAÇÃO GERAL**

Gerência de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação

**COMISSÃO DE PESQUISA E EXTENSÃO**

*Artur Caron Mottin*

*Matheus Faleiros Silva*

*Gustavo Pereira Pessoa*

*Paula Cristina de Paula Caldas*

*Sandalo Salgado Ribeiro*

*Sandro Coelho Costa*

*Thaís Campos Maria*

*Vivienne Denise Falcão*

Artur Caron Mottin  
Organizador

**Coletânea de Pesquisa no IFMG**  
***Campus Congonhas 2019***

1ª edição

Congonhas – Minas Gerais  
- 2020 -

**Copyright @ 2020 by Artur Caron Mottin**

Editoração: Artur Caron Mottin

C694 Coletânea de pesquisa no IFMG campus Congonhas 2019 /  
Organizador: Artur Caron Mottin – 1º ed. – Congonhas [MG],  
2020.

150 p.

Inclui referências bibliográficas

ISBN: 9798615411977

1. Conhecimento – produção. 2. Produção do conhecimento  
– IFMG. I. Mottin, Artur Caron (org.)

CDU165

*O conteúdo da obra e sua revisão são de total responsabilidade dos autores.*

#### DIREITOS RESERVADOS

É proibida a reprodução total ou parcial da obra, de qualquer forma ou por qualquer meio, sem a autorização prévia e por escrito dos autores. A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Independently published  
2020

# Sumário

A internet das coisas (iot) inserida ao contexto educacional: um estudo bibliográfico sobre sua utilização no processo de ensino e aprendizagem.....	7
A regulamentação do marco legal da inovação e os núcleos de inovação tecnológica na produção do conhecimento e da inovação .....	20
Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos – oee para melhoria contínua na prestação de serviços .....	35
Ferramenta computacional didática para o ensino do método dos deslocamentos .....	49
Parametrização do chassi estrutural tipo baja-sae .....	68
<i>Trade-offs</i> de custos logísticos e aplicação do custeio abc – <i>activity based cost</i> no segmento de mineração de pequeno porte .....	83
Desenvolvimento de um braço robótico acionado por músculos artificiais pneumáticos .....	94
Design de embalagem: estudo da aplicação da casca de laranja como colorante na produção de descartáveis de amido termoplástico .....	113
Ensino de física para surdos .....	122
Manufatura aditiva - análise de valor e dos modos de falha relatados por usuários .....	131
Desenvolvimento de plugs para limpeza de tubulações de irrigação localizada através de simulação computacional .....	144

## **Apresentação**

Esse livro dá continuidade as ações da Gerência de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação na divulgação das atividades de pesquisa e inovação desenvolvidas no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Congonhas. O compilado de 2019 apresenta 11 artigos das mais variadas áreas de conhecimento da instituição, contemplando áreas como engenharia mecânica, engenharia de produção, linguagens, materiais, libras, linguagens, física, entre outras.

O IFMG campus Congonhas é uma instituição gratuita, vinculada a rede federal de educação, ciência e tecnologia, tendo como missão promover a educação básica, profissional e superior nos diferentes níveis e modalidades. A atuação do IFMG campus Congonhas é estruturada na indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, se comprometendo com a valorização do aprendizado por meio do desenvolvimento de habilidades e competências e da geração de conhecimentos humanísticos, científicos e tecnológicos.

Esperamos que todos estudos aqui publicados possam de alguma forma contribuir com pesquisas, estudos, desenvolvimento, aprimoramento, aprendizado e evolução de estudantes, pesquisadores e profissionais.

*Artur Caron Mottin*

# **A Internet das Coisas (IoT) inserida ao contexto educacional: Um estudo bibliográfico sobre sua utilização no processo de ensino e aprendizagem**

Diego de Araújo São Pedro (diegodasp@gmail.com)  
Leonard Gomes Goncalves (leonard.go75@gmail.com)

## **Resumo**

As tecnologias são uma realidade no cotidiano de todos, e se torna cada vez mais difícil acompanhar o ritmo da sociedade atual sem o uso adequado das tecnologias disponíveis. A rápida e constante evolução das tecnologias chegou ao ponto onde tudo pode ser conectado e a esse conceito, onde objetos que nos cercam podem ser disponibilizados via internet dá-se o nome de Internet of Things (IoT), em português, Internet das Coisas. Estudos mostram várias formas de utilização de IoT em vários seguimentos, e apontam o potencial e os benefícios que podem ser alcançados, inclusive na área da educação, onde se busca incessantemente o aprimoramento constante do processo de ensino-aprendizagem. Sendo assim, através de uma pesquisa bibliográfica, buscou-se na presente pesquisa, entender e visualizar como está a utilização e evolução de tal tecnologia junto a área da educação. Quais as possibilidades este novo recurso tecnológico pode trazer ao processo de ensino-aprendizagem.

**Palavras-chave:** Tecnologias; Educação; Métodos de Ensino; Ensino Tecnológico

## Introdução

O mundo de hoje não é o mesmo de ontem, processos, sistemas, negócios se redesenham e se reinventam constantemente. Vive-se uma intensa e constante mudança nos mais variados mercados e com isso novas oportunidades se emergem. De acordo com Schuh et al. (2017) o modelo atual do mercado traz uma nova dinâmica a produção industrial, com novos desafios, como: o aumento da volatilidade, incertezas, a complexidade cresce e a ambiguidade aumenta. Contrapondo a isso, estruturas organizacionais flexíveis e mutáveis podem ser suficientes para combater as demandas cada vez mais dinâmicas da atualidade, os tempos modernos de ruptura exigem agilidade.

Para Schuh et al. (2017), diante desse dinamismo, se torna necessário um aprendizado ágil que exigirá treinamento rápido e bem estruturado dentro das organizações industriais, com programas de aprendizagem dentro das próprias fábricas permitindo que novas tecnologias sejam testadas, criando assim, ambientes integrados de trabalho e aprendizado e fornecendo uma estrutura valiosa para instruir e capacitar novos funcionários.

Na mesma linha de pensamento, Simons; Abé; Nesar (2017) coloca que, o dinamismo atual, a globalização está alterando a realidade da indústria mundial, a indústria de manufatura está sofrendo mudanças estruturais significativas, ao ponto de a produção em massa se alterar para uma produção customizada, e isso resulta em desafios relativos a diferentes aspectos de produção. Os autores classificam essa nova dinâmica como “indústria 4.0”, que seria a reunião e combinação de várias tecnologias para enfrentar essa nova realidade.

Segundo Tavares et al. (2018) o advento da tecnologia traz uma demanda por pessoas com maior capacitação, mudando assim o cenário dos profissionais, que devem ter uma formação continuada por toda a vida e dominar várias seguimentos de conhecimentos. Sendo assim novas forma de ensino e aprendizagem devem ser propostos para possibilitar a formação adequada ao cenário de desenvolvimento atual.

Para Simons; Abé; Nesar (2017) os estudantes precisam adquirir novas competências e é neste véis que as instituições de ensino devem atuar, buscando novos métodos que possibilitem aos aprendizes desenvolver habilidades para as demandas contemporâneas do mercado.

Sendo assim, a presente pesquisa buscou visualizar se novas tecnologias estão sendo inseridas e de que forma, no contexto educacional. Muitos estudos mostram que instituições buscam o melhoramento dos processos de ensino e que já há um entendimento comum em relação as tecnologias e seus benefícios e dinamismos na educação.

Esta pesquisa girou em torno da tecnologia “Internet das Coisas (IoT)”, onde buscou conceituar tal tecnologia e mostrar como esse contemporâneo recurso tecnológico está sendo inserido e quais os benefícios para educação.

### **Metodologia e referencial teórico**

Diante do que foi colocado até aqui, traz-se na presente discussão o uso de tecnologias direcionadas aos ambientes acadêmicos, mais especificamente a utilização do IoT para dinamizar os processos de ensino e aprendizagem contrapondo ao dinamismo atual do mercado de trabalho. Foi realizado uma pesquisa explicativa, de caráter bibliográfico que nos possibilitou uma análise qualitativa, de como essa tecnologia está sendo utilizada nas escolas e também em outros contextos. Foram investigados artigos científicos bem atuais, para podermos entender o conceito de tal tecnologia e podermos vislumbrar suas várias formas de aplicabilidade e se há benefícios aparentes no contexto educacional.

### **A internet das Coisas (IoT)**

A Internet das coisas, do inglês Internet of Things (IoT), é uma forma de se utilizar a Internet, onde todos ou vários objetos de um ambiente estão ligadas a rede, que possam comunicar entre si e estejam acessíveis através da internet para usuários. A definição da tecnologia IoT colocada pelos autores Gómez et al. (2013) seria que a internet das coisas é um novo paradigma atual, motivada pela nanotecnologia e também pela expansão de possibilidades de endereçamento trazidos pelo IPv6<sup>1</sup>.

Conforme é colocada pelos autores Barros, Souza (2016) a IoT é a consolidação da internet, é a evolução da própria internet e o grande marco para o surgimento da IoT foi o momento em que mais objetos/coisas se conectaram a internet do que pessoas, o que aconteceu por volta do ano de 2010. Ambientes inteiros podem ser adaptados para que todos os objetos deste ambiente estejam disponíveis na grande rede mundial.

De acordo com Tavares et al. (2018) a IoT teve sua origem na indústria onde tudo sempre foi monitorado via sensores para medição de ruídos, temperaturas entre outros. Com o advento da internet e com a possibilidade de mais endereços de internet trazidos pelo protocolo IPv6 esses objetos passaram a comunicar via rede de dados proporcionando assim maior controle e aumentando as possibilidades de monitoramento de informação.

---

<sup>1</sup> IPv6 – Protocolo utilizado nas redes de computadores (Internet) para padronizar a gestão e distribuição de endereços virtuais aos dispositivos conectados a essas redes.

Segundo (GUBBI et al., 2013) a IoT oferece a capacidade de medir, inferir e entender indicadores ambientais, desde ecologias delicadas e recursos naturais até ambientes industriais e também urbanos. Segundo os autores a proliferação desses dispositivos em uma rede de comunicação ativa cria a Internet das Coisas (IoT), na qual sensores e atuadores se combinam perfeitamente com o ambiente ao nosso redor, e as informações são compartilhadas entre plataformas para desenvolver uma imagem operacional comum.

Como é colocado por Tavares et al. (2018) o avanço do desenvolvimento da internet está promovendo a tecnologia IoT, “Este tipo de tecnologia permite a conexão de máquina com máquina, máquina com homem e homem com homem.” (TAVARES et al., 2018, p. 101). Os autores explicam que tal tecnologia está permitindo a convergência entre o mundo real ao mundo virtual.

A gestão dos dados gerados pela tecnologia IoT geralmente são enviados para sistemas de computação em nuvens, pois, de acordo com Tavares et al. (2018) a IoT através de seus sensores inteligentes geram um volume muito grande de informações sendo assim inviável a gestão destes dados localmente.

A IoT está transformando a realidade de ambientes e através desta tecnologia há ganhos importantes. De acordo com Tavares et al. (2018) a IoT tem por característica natural conectar praticamente todos os objetos ao nosso redor ao mundo virtual e isso dar-se origem a computação Ubíquo. Para os autores isso pode ser muito útil para o meio educacional, pois cria ambientes propícios para uma troca efetiva de conhecimento baseada em colaboração.

A tecnologia já é utilizada na indústria e na educação pode agregar valores importantes em didáticas inovadoras. Para Ramakrishnam; Preuveneers; Berbers (2014) a Internet das Coisas (IoT) proporciona ambientes dinâmicos e em constante evolução, gerando fluxos com alto volume de informações contextuais heterogêneas, porém correlacionadas, de qualidade e de complexidade variadas, para eles, a Internet of Things (IoT) é um paradigma emergente na computação que está virtualizando coisas físicas.

O Sistema educacional deve estar atento a toda essa movimentação tecnológica e se adaptar, sempre, as evoluções contemporâneas. Já há movimentos e pesquisas sobre a utilização da IoT diretamente na educação e os ganhos são reais, mas um caminho longo deve ser seguido afim de consolidar o setor acadêmico junto essa nova tecnologia.

### **O mercado utilizando sistemas IoT**

A IoT pode ser utilizada de várias formas nos mais variados ambientes. Um estudo realizado pelos autores Roy; Zalzala; Kumar (2016) traz como exemplo real a utilização do IoT em comunidades carentes em grandes centros urbanos onde o objeto principal seria facilitar o acesso a serviços básicos como saúde, educação e segurança. De acordo com os autores, a IoT facilita as

formas de comunicação além do tradicional humano-humano para o humano-coisa e coisa-coisa (também conhecido como M2M).

De acordo com Gronau; Ullrich; Teichamann (2017) as primeiras implementações das tecnologias da Internet das coisas foram registradas na indústria e isso tem mudado os requisitos de competências dos funcionários. O sucesso ou fracasso de uma implementação da IoT passa pelas novas exigências que profissionais terão que se enquadrar. Diante disso, para Gronau; Ullrich; Teichamann (2017), os estudantes e a formação profissional deverão estar alinhados com esse novo contexto e as escolas deverão evoluir para escolas digitais de aprendizagem.

Os autores Gronau; Ullrich; Teichamann (2017) nos trazem um novo conceito de implementação do IoT na indústria, que seria o IIoT ou Internet Industrial das Coisas ou Indústria 4.0. Basicamente é a transformação baseada na tecnologia. Segundo os autores os sistemas IoT propõem um redesenho dos processos de fabricação e conseqüentemente isso resulta em novas tarefas para os funcionários.

Sendo assim, a implementação do IoT na indústria leva a mudanças simultâneas nos processos, as tarefas para cada função ou tipo de atividade em uma organização é uma característica central das transformações induzidas pela tecnologia IIoT. Essa mudança conseqüentemente demanda uma nova realidade de ensino-aprendizagem principalmente nos centros de formação profissional.

Segundo Fuzeto; Braga (2016) a utilização do IoT já pode ser visualizada na educação, como um instrumento a mais no processo de aprendizagem dos alunos. Os autores trazem como exemplo de utilização de IoT no ensino à distância, com a ação objetiva de criar ambiente ubíquos aos estudantes, criando ambientes de aprendizagem independente dos locais onde os alunos se encontram.

O sistema IoT reúne várias tecnologias, como micro sensores interligados realizando comunicação entre si e armazenando informações em computadores de alto desempenho conectados a internet. Portanto não há limites de aplicação, pois qualquer ambiente pode ser monitorado. Conforme coloca Cabral, Nóbrega, Lins (2017), a IoT possui vários tipos de aplicações e também classificações. Essas classificações segundo eles estão relacionadas aos objetivos de determinados modelos de IoT, onde hora está centrado no pessoal, ou no objeto e/ou no serviço e relacionada também a sua abrangência.

Com o advento de tablets e celulares, da computação em nuvem (novas formas de tratamento de grande volume de dados) e com os sistemas IoT as possibilidades tecnológicas se intensificaram em relação as implementações. Tanto na indústria, quanto em outros ambientes. O autor Lemos (2013) traz como exemplo a implementação real em cidades, onde são implementadas as cidades inteligentes:

“Se digital era compreendido como o acesso a computadores e a implantação da Internet no espaço urbano, inteligente refere-se a processos informatizados sensíveis ao contexto, lidando com um gigantesco volume de dados (Big Data), redes em nuvens e comunicação autônoma entre diversos objetos (Internet das Coisas).”(LEMOS, 2013, p. 48).

As possibilidades e ganhos com a implementação do IoT são imensos, novas oportunidades emergem, mas também novos conhecimentos e profissionais são necessários. E o setor educacional tem papel fundamental nessas mudanças, como veremos a seguir.

### **Tecnologias na educação, IoT uma realidade**

Na educação a discussão sobre as TICs vão se consolidando em relação ao qual são indispensáveis nos dias atuais, às demandas do século XXI exigem que os métodos de ensino e aprendizagem se atualizem constantemente, que haja uma educação empreendedora. Há um entendimento empírico sólido sobre tal inserção (LEITE; RIBEIRO, 2012)

A Internet das Coisas (IoT) eleva ainda mais as inovações contemporâneas. De acordo com Zuin; Zuin (2016) o fenômeno comunicacional onipresente deste século está na interface entre objetos e seres humanos onde a informação é trocada de forma jamais experimentada em nenhuma época conhecida da história.

Para Cabral, Nóbrega, Lins (2017) a internet e a popularização dos smartphones tem mudado a forma como a humanidade manipula a informação. De acordo com Ferrasi et al. (2016) a criação da internet é algo poderosíssimo na história humana e a evolução para IoT é realmente um caminho sem volta devido a sua expansão em todos os aspectos. Sendo assim não há motivos para não se inserir tal tecnologia no contexto educacional.

Como é colocado pelos autores Santos et al. (2016) sobre a Internet das coisas, a IoT aumenta imensamente as possibilidades de aplicações da internet, e isso faz com que o setor acadêmico e também o setor industrial possam se beneficiar imensamente.

Vários setores já estão utilizando a Internet das Coisas para otimizar seus respectivos processos, inclusive o setor de educação. Para Barros e Souza (2016) com o advento desta tecnologia muitas oportunidades aparecerão para serem aplicadas aos processos de ensino e aprendizagem e devemos estar atentos para que possamos propor novos meios de aplicação dentro da educação como um todo.

Segundo Tavares et al. (2018) a IoT inserida no contexto educacional pode trazer benefícios, pois proporciona novos métodos no processo de ensino e aprendizagem. Segundo os autores é possível a criação de ambientes de simulações, laboratórios vivos (Living Labs), como ambientes miniaturizados. De

acordo com os autores, esses ambientes ricos em sensores interligados via rede de computadores reúnem informações dos ambientes de estudos em um computador central onde as informações ficam disponíveis aos alunos para consultas e estudos e assim se apropriarem de novos conhecimentos, é uma nova forma de concentração e disposição das informações.

Os autores, Tavares et al. (2018), destacam os ganhos de aprendizagens trazidos aos alunos na implementação dos living labs, devido ao acesso a dados reais em tempo real e o acesso a informações passadas.

“Com estas informações os alunos podem entender melhor os algoritmos teóricos e ainda ter a capacidade de gerar soluções preditivas para o ambiente em estudo. Desta forma para que haja propostas preditivas e melhoras no processo, a necessidade da interdisciplinaridade entre as matérias tornar-se-á necessária.” (TAVARES et al., 2018, p. 104)

Os autores Ferrasi et al. (2016) trazem um exemplo real de aplicação do IoT, que consiste no controle de frequência dos alunos via smartphones e sensores de presenças espalhados pela escola. Os dados coletados pelos sensores são lançadas na rede e são disponibilizadas tanto para corpo docente quanto para os pais dos aluno, gerando uma série de análises em espaço de tempo bem reduzido, podendo obter informação precisas e eficazes de acordo com a necessidade da informação.

Outro exemplo semelhante pode ser visualizado na pesquisa de Lemos (2012) onde o IoT foi utilizado para o monitoramento de alunos nas escolas através de etiquetas de radiofrequência (RFID) em uniformes. O autor fez uma análise científica na aplicação real de IoT em um ambiente escolar. Trata-se de um projeto que ocorreu no Centro Municipal de Educação Professor Paulo Freire (Caic), em Vitória da Conquista (BA) onde foi implantado etiquetas RFID no uniforme dos alunos para controlar a entrada e saída ao ambiente escolar. Para Lemos (2012), uma aplicação direta do IoT na educação, desde que haja uma projeto pedagógico e planejamento, traz ganhos reais, a tecnologia agrega e modifica os ambientes de aprendizagem.

De acordo com os autores Farhan et al. (2018) devido a grande mudança que as tecnologias trouxeram para o meio educacional, destacando a aprendizagem e-learning, torna-se necessário novos métodos de avaliação dos alunos, visando mapear o aprendizado em atividades realizadas de forma autônomas fora das salas de aula. Para tal foi proposto uma solução IoT juntamente com programação para mapear alguns movimentos, face e olhar dos alunos enquanto realizam tais atividades. De acordo com os autores (FARHAN et al., 2018) o IoT cria novas áreas e tendências para o meio educacional, com interpretação e mineração de dados e informações, neste caso, os dados gerados pela análise de imagens dos alunos.

Segundo os autores o trabalho com as informações dos alunos auxilia aos professores o acompanhamento e conseqüentemente a melhorar o

progresso dos alunos, aos alunos é disponibilizado as suas respectivas informações de avaliação, e isso possibilita a estes poderem distinguir seus pontos fortes, deficiências e definir seus objetivos de aprendizado.

A IoT pode ser utilizada de várias formas, o conhecimento sobre a tecnologia e uma didática empreendedora ditarão os limites. De acordo com Cabral, Nóbrega, Lins (2017) a IoT pode proporcionar aulas mais interativas, laboratórios virtuais, facilidades para acesso ao ensino a distância, criação de ambientes inteligentes, fornecer canais de comunicações, melhorias nos ambientes de treinamentos práticos, ambientes automatizados, salas de aulas inteligentes para aumentar a concentração e aprendizagem dos alunos, entre outros. De forma geral os autores citam os benefícios que a tecnologia pode trazer a educação:

“Baseado na análise destas referências bibliográficas, foi possível identificar que a IoT não será apenas responsável por fornecer ambientes inteligentes no campo educacional, mas ela permitirá facilitar a vida de professores e alunos, prover maior interação entre eles, gerar conteúdo de ensino personalizado, permitir a automatização de tarefas consideradas impeditivas no cotidiano educacional do professor, viabilizar feedbacks instantâneos para os alunos durante a realização das provas de conhecimento, extensão dos ambientes de aprendizagem, entre outros.” (CABRAL; NÓBREGA; LINS, 2017, p.1274)

Como as demais tecnologias de comunicação e informação a aplicação direta em ambientes escolares, em salas de aula estará diretamente ligada ao conhecimento técnico em relação à tecnologia e também a pro-atividade dos envolvidos em criar métodos e formas inovadoras de utiliza. Para Tavares et al. (2018) a utilização de IoT no Brasil está se iniciando com aplicações ainda limitadas diante do recursos a oferecer, pois “a integração das IoTs com os smartphones e a nuvem faz com que exista a educação ubíqua adaptativa, podendo, desta forma, atender diversas metodologias pedagógicas distintas.” (TAVARES et al., 2018, p. 111)

Segundo Ferrasi et al. (2016) à medida que as aplicações de IoT forem assimiladas dependerá apenas da criatividade dos usuários, a aplicação e resolução de quaisquer que sejam as situações com essa nova proposta. Dependerá do conhecimento técnico e pedagógico de professores e mesmo das instituições que irão definir o nível de utilização e os ganhos no processo de ensino e aprendizagem.

### **IoT e seus desdobramentos sociais nos ambientes**

Ao se inserir a tecnologia IoT no contexto educacional estaremos criando um ambiente automatizado, onde dados relevantes deste ambiente serão coletados, armazenados e analisados gerando novos conhecimentos. Tal ambiente terá seu contexto alterado e mudanças sociais deverão ocorrer. Alguns autores

atentam que deve-se observar não somente a parte técnica e comercial do IoT mas também os impactos sociais que poderá ocorrer nos indivíduos deste ambiente.

Conforme é colocado por Lemos (2012), a IoT reuni elementos técnicos e sociais, pois as “coisas” interconectadas podem reagir de forma autônoma a eventos físicos, reais, e influencia-los diretamente sem uma intervenção direta de humanos.

Segundo Lacerda; Lima-Marques (2015) os desafios da IoT e sua arquitetura da informação é bem peculiar graças ao impacto social que ela causa no cotidiano individual e coletivo nos mais variados níveis de interação e conhecimento humano, devido a isso não pode-se considerar apenas os interesses técnicos e comerciais.

Os autores Zuin; Zuin (2016) traz alguns pontos a serem observados em relação a isso, como: a relação à contradição entre conhecimento e monitoração (que pode inibir comportamentos espontâneos); a aquisição de conhecimento realmente genuíno ou acúmulo de informação desconexa e fútil; do bombardeio de informação causando deficiência de atenção pelo seu excesso; e a posição estratégica ocupada pelo professor ao usar a tecnologia a favor da aquisição qualitativa de conhecimento relevante para formação individual. Para os autores deve-se atentar para que não haja uma “inundação” de informações de certa forma fáceis e inúteis, sem contexto. Há a necessidade de educadores canalizarem e conectar o conhecimento na medida certa ao público correto.

O autor Lemos (2012) traz em discussão o impacto da aplicação real da IoT na sociedade, os benefícios e controvérsias que são gerados por esta aplicação real. E colocado pelo autor: “Esse sistema (automático, gratuito e compulsório) traz ao debate a relação entre dimensões legais, políticas, educacionais e tecnológicas da IoT. Não é um problema apenas técnico, ou social, ou cultural, ou policial, ou político. Ele revela questões que tocam todas essas esferas.” (LEMOS, 2012, p.40)

Segundo o autor, o IoT, poderá proporcionar informações de um determinado contexto que para alguns indivíduos podem ser invisíveis e não percebidas, trazendo assim questões éticas e morais, que devem ser consideradas.

No exemplo relatado onde se monitora o uniforme dos alunos em busca de um melhor registro de frequência desses, Lemos (2012) mostra pontos importantes sobre questões éticas e morais, acerca da vigilância objetiva do ir e vir de crianças e adolescentes no ambiente escolar. O autor chama a atenção para as mudanças de responsabilidade ao automatizar-se a vigilância do aluno e uma possível desumanização do diálogo entre escola, pais e alunos com uma informação descontextualizada.

Diante do exposto o autor faz questionamentos relevantes sobre essa aplicação real do IoT no ambiente escolar:

“Podemos perguntar que projeto pedagógico está por trás desse sistema. Seria esse o sistema mais eficiente para resgatar o diálogo entre pais,

alunos e educadores ao transferir (delegar) a um sistema automático essa relação? Como esse sistema se relaciona com aquilo que é oferecido pela escola (alimentação, transportes, bons professores, ambiente laboratorial, convivialidade...)? A comunicação entre pais e escola não deve ser feita pela mediação a partir do diálogo mais recorrente, complexo e menos automatizado? A simples delegação ao sistema dessa conversação não seria um esvaziamento da questão social, cultural, política e pedagógica da escola? (LEMOS, 2012, p.43-44)

Para o autor, essa aplicação substitui o diálogo entre escola e as famílias, que para ele é um ponto básico na relação da comunidade escolar. “A IoT aqui toma o lugar do diálogo e da negociação mediando a ação entre humanos e não humanos com delegações precisas da ação.” (LEMOS, 2012, p.44)

As TICs devem ser inseridas para ganhos de aprendizagem e isso perpassa em melhorar todo contexto de relações acadêmicas, assim é necessário um planejamento didático-pedagógico discutido e bem elaborado, para que pontos como os colocados aqui não sejam itens de desconstrução.

### **IoT e as várias possibilidades na área do ensino**

Há muitas formas de utilização do IoT na educação, as possibilidades são variadas, para os autores Moreira; Baranaukas (2017) trabalhar com objetos que se comunicam em um contexto educacional pode auxiliar na percepção de outras coisas e possibilita inúmeros trabalhos colaborativos que serão produtivos a aprendizagem.

Segundo Gómez et al. (2013) na educação, os ganhos vêm através de maior acesso a conteúdos de aprendizagem e na potencialização de atividades e ambientes colaborativos suportados pelos dispositivos conectados, além de melhorar o relacionamento entre alunos e professores e permite que os professores ensinem de acordo com as demandas e capacidades dos alunos e que esses alunos aprendam de acordo com suas próprias capacidades e ritmos. A IoT possibilita a interação do ambiente virtual com o físico.

Assim vamos entendendo que os ganhos com a utilização da IoT são muitos e que pode-se trazer para o campo educacional a possibilidade de simular um espaço físico, transformar esse espaço em um espaço virtual, e isso possibilita várias maneiras de se aplicar o IoT em salas de aulas, nos vários níveis.

De acordo com Sauza; Antonio; Chiabert (2017) já há movimentos em universidades de todo o mundo desenvolvendo soluções para inserir a Indústria 4.0 no currículo. Para Sauza; Antonio; Chiabert (2017) deve-se substituir o ensino tradicional de software, baseado em tutoriais e estudos de caso simples, por uma abordagem integrada de aprendizagem, para proporcionar aos alunos uma perspectiva global de um ambiente de produção moderno e treinar sua mentalidade para ser adaptável.

Países europeus já propõem fábricas de aprendizagem voltadas para um ensino dinâmico, baseado na Indústria 4.0, um ensino dinâmico, com ambientes e projetos reais de IoT. (SAUZA; ANTONIO; CHIABERT, 2017), (GRONAU; ULLRICH; TEICHMANN, 2017), (SIMONS; ABÉ; NESER, 2017).

Segundo Cabral, Nóbrega, Lins (2017) já há utilizações reais da IoT no ambiente educacional e há muitos resultados positivo como laboratórios virtuais de livre acesso para estudantes, programação e utilização de placa controladora (arduino) em projetos educacionais além de serviços gratuitos disponíveis na rede.

Para Tavares et al. (2018) com a diversidade de recursos disponíveis através da tecnologia IoT que conseqüentemente proporcionam uma grande diversidade de metodologias poderá ser alcançado a uma aprendizagem adaptativa, onde cada aluno poderá receber um conteúdos de forma personalizada levando em conta suas habilidades e dificuldades possibilitando a este aluno uma aprendizagem significativa.

A IoT inserida na educação agrega de forma inovadora todo o processo, pois como nos traz Tavares et al. (2018), a IoT modifica o formato, espécie e o modo em que a informação é aprendida. Novas possibilidades de aprendizagem são proporcionadas e ambientes de aprendizagens ubíquos são criados, possibilitando assim, ao alunos acesso a informações através de tecnologias acessíveis.

## **Considerações**

A utilização de tecnologias no contexto educacional para inovar os métodos de ensino e também para facilitar e expandir o acesso à aprendizagem é uma realidade e tendência. O IoT vem como mais uma opção poderosa para agregar o setor acadêmico e caminhos diversos devem ser seguidos para que este processo seja contínuo e expansionista.

Os desafios constantes para se criar uma educação empreendedora, inovadora sempre serão muitos, mas sem tal evolução a educação não conseguirá alinhar-se as tendências e inovações, as demandas contemporâneas.

Este novo conceito, o IoT, está posto e em ascensão, assim, entendemos que para se utilizar um novo recurso tecnológico em qualquer seguimento, o ponto de partida será o entendimento técnico, a sensibilidade em unir a tecnologia aos conceitos acadêmicos e pedagógicos se atentando as alterações sociais que novos métodos poderá gerar.

Pudemos perceber que há várias formas de utilização da Internet das Coisas no contexto acadêmico, os benefícios para uma aprendizagem mais acessível e dinâmica são muitos, no entanto, não há uma forma pronta, um modelo padronizado de utilização. O IoT é abrangente, dinâmico e possibilita infinitas

possibilidades, a busca pelo domínio da tecnologia e a sensibilidade pedagógica irão ser a receita fundamental para propostas de novos modelos de utilização. As tecnologias em si acompanham o mercado atual, o dinamismo e a inovação é a essência do IoT.

## Referências

BARROS, Á. G. DE; SOUZA, C. H. M. DE. A Internet de todas as coisas e a Educação: Possibilidades e oportunidades para os processos de ensino e aprendizagem. v. 3, p. 31–45, 2016.

CABRAL, J. D. C.; NÓBREGA, O. O.; LINS, F. A. A. Uma Proposta de Classificação para Internet das Coisas na Educação. n. Cbie, p. 1268–1279, 2017.

FARHAN, M. et al. IoT-based students interaction framework using attention-scoring assessment in eLearning. **Future Generation Computer Systems**, v. 79, p. 909–919, 2018.

FERRASI, F. A. et al. INTERNET DAS COISAS: UMA POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS MÓVEIS NA EDUCAÇÃO. **Redin - Revista Educacional Interdisciplinar**, v. 1, p. 1–10, 2016.

FUZETO, R.; BRAGA, R. T. V. Um Mapeamento Sistemático em Progresso Sobre Internet das Coisas e Educação à Distância. n. Cbie, p. 1334–1343, 2016.

GÓMEZ, J. et al. Interaction System Based on Internet of Things as Support for Education. **Procedia - Procedia Computer Science**, v. 21, p. 132–139, 2013.

GRONAU, N.; ULLRICH, A.; TEICHMANN, M. Development of the Industrial IoT Competences in the Areas of Organization, Process, and Interaction based on the Learning Factory Concept. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 254–261, 2017.

GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.

LACERDA, F.; LIMA-MARQUES, M. Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas. p. 158–171, 2015.

LEITE, W. S. S.; RIBEIRO, C. A. DO NA. A inclusão das TICs na educação brasileira: problemas e desafios. **Revista Internacional de Investigación en educación**, v. 5, n. 10, p. 173–187, 2012.

LEMOS, A. Comunicação das coisas. Internet das Coisas e Teoria Ator-Rede Etiquetas de radiofrequência em uniformes escolares na Bahia. **SIMSOCIAL – Simpósio de Pesquisa em Tecnologias Digitais e Sociabilidade: Práticas Interacionais em Rede**, p. 18–47, 2012.

LEMOS, A. Cidades inteligentes. **Espaços Urbanos - Cidades Inteligente**, p. 46–49, 2013.

MOREIRA, E.; BARANAUSKAS, M. C. Alice das Coisas: entendendo a comunicação entre objetos na construção de ambientes de aprendizagem. **VI Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2017)**, n. Cbie, p. 1017, 2017.

RAMAKRISHNAM, A. K.; PREUVENEERS, D.; BERBERS, Y. Enabling self-learning in dynamic and open IoT environments. **Procedia - Procedia Computer Science**, v. 32, p. 207–214, 2014.

ROY, A.; ZALZALA, A. M. S.; KUMAR, A. Disruption of things : a model to facilitate adoption of IoT-based innovations by the urban poor. **Procedia Engineering**, v. 159, n. June, p. 199–209, 2016.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. In: **XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - Livro de Minicursos**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2016. p. 1–50.

SAUZA, J.; ANTONIO, G. D.; CHIABERT, P. A novel approach for teaching IT tools within Learning Factories. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 175–181, 2017.

SCHUH, G. et al. Classification of a Hybrid Production Infrastructure in a Learning Factory Morphology. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 17–24, 2017.

SIMONS, S.; ABÉ, P.; NESER, S. Learning in the AutFab – the fully automated Industrie 4 . 0 learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 81–88, 2017.

TAVARES, S. et al. INTERNET DAS COISAS NA EDUCAÇÃO: ESTUDO DE CASO E PERSPECTIVAS. **South American Development Society Journal Vol.:**, v. 4, p. 99–112, 2018.

ZUIN, G.; ZUIN, Á. S. **A formação no tempo e no espaço da internet das coisas**. p. 757–773, 2016.

# A REGULAMENTAÇÃO DO MARCO LEGAL DA INOVAÇÃO E OS NÚCLEOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO E DA INOVAÇÃO

Thaís Campos Maria (thais.campos@ifmg.edu.br)

Ronara Cristina Bozi dos Reis (reisronara@gmail.com)

Marta Macedo Kerr Pinheiro (marta.macedo@fumec.br) Armando Sérgio de Aguiar Filho (armando.filho@fumec.br)

## Resumo

A presente pesquisa trata da regulamentação legal para a inovação e da atuação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) na produção do conhecimento e da inovação nas Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs). O objetivo foi verificar os estímulos ao processo inovativo nas ICTs, diante da regulamentação do Marco legal da Inovação e da atuação dos NITs. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas, pesquisa documental e revisão bibliográfica. As entrevistas foram realizadas em duas instituições mineiras – um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFMG) e um *Campus* Avançado de uma Universidade Federal. A pesquisa ressaltou o conhecimento como elemento primordial para desenvolvimento da produção de inovações tecnológicas. Os resultados coletados apontam para a necessidade de institucionalização da intrincada relação existente entre universidade-empresa e que a existência de um arcabouço jurídico que favoreça a inovação é importante, mas não suficiente para a promoção do desenvolvimento científico, tecnológico e inovativo.

**Palavras-Chave:** Marco Legal da Inovação; Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs); Inovação; Conhecimento.

## **Introdução**

Esse trabalho busca uma reflexão a respeito da produção do conhecimento e da inovação a partir da atuação dos Núcleos de Inovação de Tecnologia, regulamentados pelo Marco Legal da Inovação. Para isso, foram pesquisadas duas instituições mineiras – um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFMG) e um *Campus* Avançado de uma Universidade Federal.

O objetivo é averiguar os estímulos ao processo inovativo nas Instituições de Ciência e Tecnologia diante da obrigatoriedade de implantação dos Núcleos, conforme estabelecido pelo Marco Legal da Inovação.

No ano de 2018, o Decreto nº 9.283 de 7 de fevereiro regulamentou a Lei nº 10.973 de 2 de dezembro de 2004 (Lei da Inovação) e a Lei nº 13.243 de 11 de janeiro de 2016 (Marco Legal da Inovação). Esse aparato legal viabiliza e facilita a relação universidade-empresa que tem sido entendida como fundamental para a geração de conhecimento e inovação e consequente crescimento e desenvolvimento econômico e social.

A respeito do conhecimento inovador advindos da relação universidade-empresa surge a seguinte pergunta de pesquisa: “Qual a influência da regulamentação do Marco Legal da Inovação e da atuação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) para a produção de conhecimento e inovação nas universidades e institutos federais?”.

Para esse trabalho foram realizadas entrevistas semiestruturadas, pesquisa documental e revisão bibliográfica.

Além desta introdução, este trabalho apresenta mais três seções e as considerações finais. Na segunda seção, discute-se conhecimento e inovação. Na terceira sessão, discorre-se sobre o Marco Legal da Inovação e Núcleo de Inovação Tecnológica. E, por fim, na quarta apontam-se os as entrevistas e resultados colhidos.

## **Conhecimento e Inovação**

O advento da economia da informação e do conhecimento (EIC) acrescenta aos fatores clássicos de produção - terra, capital e trabalho – a informação e o conhecimento como elementos fundamentais para a produção capitalista. Não se trata apenas da inclusão de novos fatores de produção, mas sim de uma nova lógica de produção, ao deslocar o eixo produtivo do tangível para o intangível (LASTRES, 1999; FORAY, 2004).

A mudança na nova lógica de produção de bens e serviços introduziu a informação e o conhecimento como aspectos determinantes para toda a atividade produtiva, tornando-os o diferencial competitivo entre pessoas e organizações, na medida em que a geração de riqueza não se concentra mais nos

bens tangíveis disponíveis e, sim, na habilidade de aplicação do conhecimento adquirido (LASTRES, 1999).

Lemos (1999) explica que o processo de inovação se relaciona com a capacidade da pessoa de gerar e absorver conhecimentos do ambiente em que se localiza e da presença de conhecimento tácito apresentado.

A EIC, por si só, não garante que a informação e o conhecimento promovam as condições suficientes para a inserção no cenário da intangibilidade que leva a inovações e, conseqüentemente, ao desenvolvimento econômico e à apropriação social do conhecimento gerado. Existe a necessidade de considerar o contexto, a realidade informacional e as facetas tácitas do conhecimento que podem estar difusas.

Nesta esteira, os sistemas de inovação (SI) são impulsionados a se adequarem para atender a nova forma de produção baseada na intangibilidade. E, no mesmo sentido, caminha a relação existente entre universidade, empresa e Estado.

As universidades exercem um importante papel para o desenvolvimento da produção de inovações tecnológicas. Conforme Larrucia e Silva (2013, p.89), “gerar inovações deixou de ser um problema somente das empresas para se tornar um tema de importância para universidades, institutos de pesquisa e nações”. As instituições de ensino passam por um momento de contínua necessidade de desenvolver uma política de inovação para prestação de seus serviços de maneira eficiente em atenção às leis de incentivo ao progresso inovador.

Volta-se, portanto, a atenção para a tríplice hélice (TH), modelo proposto por Etzkowitz e Leydesdorff (2000), que estuda a relação entre a universidade, empresa e Estado nos empreendimentos inovativos. O modelo analisa os arranjos institucionais entre as três esferas, ao mesmo tempo em que entende cada esfera como um subconjunto que pode modificar o papel que desempenha no contexto em que está inserido (RUFFONI; MELO; SPRICIGO, 2017).

A conscientização de que a inovação é fundamental para a competitividade somada à ausência de processos de gestão levam as empresas a buscarem novos conhecimentos, numa tentativa de favorecer a base de conhecimento entre universidades e empresas (REIS, 2008).

Dessa forma, as universidades e os institutos assumem um importante papel para o desenvolvimento científico e tecnológico do país. Cabendo a eles a agregação dos saberes para a formação de um conhecimento interdisciplinar e, assim, inovador.

## O marco legal da inovação e os nit's

Como medida de apoio à gestão de uma política de inovação estabeleceu-se que as ICTs devem dispor de um NIT, próprio ou em associação com outras ICTs (BRASIL, 2004).

Castro e Souza (2012) definem o NIT como um canal institucional que busca intensificar e padronizar as relações entre universidade-empresa. A atuação do órgão comporta a mediação entre a instituição, o setor privado e a sociedade, favorecendo a transferência de tecnologia e proteção do conhecimento na ICT (SOUZA, 2013).

A obrigatoriedade de estruturação do NIT encontra previsão na Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004 (Lei da Inovação), que conceituou em seu artigo 2º as ICTs como

...órgão ou entidade da administração pública direta ou indireta ou pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos legalmente constituída sob as leis brasileiras, com sede e foro no País, que inclua em sua missão institucional ou em seu objetivo social ou estatutário a pesquisa básica ou aplicada de caráter científico, tecnológico ou o desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos (BRASIL, 2004).

Ou seja, as ICTs abrangem universidades, institutos federais, instituições de pesquisa, de acordo como aspecto legal. A mesma lei entende NIT “como estrutura constituída por uma ou mais ICTs, com ou sem personalidade jurídica própria, que tenha por finalidade a gestão de política institucional de inovação” (BRASIL, 2004).

Esta formalização dos conceitos trazidos pela Lei da Inovação culminou na criação da política pública de implantação dos NITs, objetivando a gestão da política de inovação e também a interação da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da universidade com as empresas (PALUMA; TEIXEIRA, 2018).

A referida lei define inovação como “introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços ou processos” (BRASIL, 2004). Com vistas ao estímulo da atividade inovadora, concebe-se ao termo um conceito determinado, capaz de trazer uma novidade ou aperfeiçoamento gerando como produto final, novos produtos, processos ou serviços.

Neste íterim marcado por alterações legislativas, veio o Marco Legal da Inovação – Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016 – e completou a definição do termo inovação, ampliando o alcance e dando ao conceito um “significado jurídico substancial” (DINIZ; NEVES, 2016, p. 05):

Introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços ou processos ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades ou

características a produto, serviço ou processo já existente que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho (BRASIL, 2016).

Com o propósito de reiterar os estímulos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004) passou por alterações legislativas em decorrência da edição da Emenda Constitucional de 2015<sup>2</sup>, da Lei nº 13.243/2016<sup>3</sup>, conhecida como Marco Legal da Inovação e do Decreto nº 9.841/2019<sup>4</sup>.

Essas medidas de incentivo à inovação encontram respaldo já no art. 1º § único do Marco Legal que positivou quatorze princípios para nortear a execução das atividades inovadoras: (i) promoção das atividades científicas e tecnológicas como estratégicas para o desenvolvimento econômico e social; (ii) promoção e continuidade dos processos de desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação, assegurados os recursos humanos, econômicos e financeiros para tal finalidade; (iii) redução das desigualdades regionais; (iv) descentralização das atividades de ciência, tecnologia e inovação em cada esfera de governo, com desconcentração em cada ente federado; (v) promoção da cooperação e interação entre os entes públicos, entre os setores público e privado e entre empresas; (vi) estímulo à atividade de inovação nas Instituições Científica, Tecnológica e de Inovação (ICT's) e nas empresas, inclusive para a atração, a constituição e a instalação de centros de pesquisa, desenvolvimento e inovação e de parques e polos tecnológicos no País; (vii) promoção da competitividade empresarial nos mercados nacional e internacional; (viii) incentivo à constituição de ambientes favoráveis à inovação e às atividades de transferência de tecnologia; (ix) promoção e continuidade dos processos de formação e capacitação científica e tecnológica; (x) fortalecimento das capacidades operacional, científica, tecnológica e administrativa das ICTs; (xi) atratividade dos instrumentos de fomento e de crédito, bem como sua permanente atualização e aperfeiçoamento; (xii) simplificação de procedimentos para gestão de projetos de ciência, tecnologia e inovação e adoção de controle por resultados em sua avaliação; (xiii) utilização do poder de compra do Estado para fomento à inovação; (xiv) apoio, incentivo e

---

<sup>2</sup> BRASIL. Emenda Constitucional nº 85, que altera e adiciona dispositivos na Constituição Federal para atualizar o tratamento das atividades de ciência, tecnologia e inovação.

<sup>3</sup> BRASIL. Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, dentre outras. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 jan. 2016. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/l13243.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13243.htm)> Acesso em: 22 jun. 2019.

<sup>4</sup> BRASIL. Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018. Regulamenta a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, dentre outras. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2018. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/d9283.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9283.htm)>. Acesso em: 22 de jun. 2018.

integração dos inventores independentes às atividades das ICTs e ao sistema produtivo.

O Marco Legal da Inovação reforçou e complementou os conceitos legais trazidos pela Lei de Inovação, aumentando a autonomia das ICTs, fomentando as relações com empresas, incentivando as ações de PD&I, de proteção da propriedade intelectual e de transferência de tecnologia (PALUMA; TEIXEIRA, 2018).

Diniz e Neves (2016) ressaltam que as determinações contidas na Lei nº 13.243/2016 trouxeram como alterações relevantes abordagens sobre (i) inovação e propriedade intelectual; (ii) remuneração dos envolvidos no projeto de inovação e (iii) política de inovação da ICT.

As novas determinações legais acabaram refletindo diretamente no papel dos NIT's. A redação original da Lei de Inovação definia o NIT como núcleo ou órgão, sem personalidade jurídica própria, constituído por uma ou mais ICTs com a finalidade de gerir sua política de inovação.

Suas competências previstas no antigo art. 16 limitavam-se à gestão da propriedade intelectual e da transferência de tecnologias de ICTs, mas, com o Projeto de Lei Complementar nº 77/2015<sup>5</sup>, que culminou posteriormente no Marco Legal da Inovação, “foram atribuídas aos NIT's novas funções e atividades de caráter estratégico, prospectivo e analítico, o que confere maior relevância e fortalecimento ao seu papel dentro da instituição” (RAUEN, 2016, p. 31).

O Marco Legal ampliou o campo de atuação do NIT, conferindo maiores atribuições e concedendo a eles a personalidade jurídica própria, o que representou um avanço significativo ao desempenho de suas atividades.

Para a regulamentação do Marco Legal da Inovação, publicou-se, em 07 de fevereiro de 2018, o Decreto Federal nº 9.283. Revogou-se o antigo Decreto Federal nº 5.563/05, diante das críticas aos entraves que o Marco Legal causava, devido a sua generalidade nas relações de contratação e a gestão de projetos, especialmente sob o âmbito do Direito Público (ARIENTE; BABINSKI, 2018).

No que se refere aos NITs, o Decreto de 2018 busca contribuir para a definição de suas atribuições, demonstrando a sua finalidade como órgão imprescindível para a relação entre empresa e academia.

Além da característica de poder apresentar personalidade jurídica própria ou ser constituído como entidade privada sem fins lucrativos, o NIT poderá ser instaurado sob a forma de fundação de apoio, cabendo ao órgão máximo da ICT a sua escolha, assim como caberá à Instituição Científica, Tecnológica e de

---

<sup>5</sup> BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei da Câmara no 77/2015**. Brasília: Senado Federal, 2015b. Disponível em: <http://goo.gl/EnXv0w>>. Acesso em 28 maio 2019. Este PLC 77/2015 estabelece estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação, nos termos da Emenda Constitucional nº 85/2015.

Inovação a denominação a ser adotada para o Núcleo e a sua posição no organograma institucional (BRASIL, 2018).

O papel destinado aos NITs reflete no funcionamento das ICTs quanto ao desenvolvimento da inovação. Portanto, analisar o contexto em que os Núcleos se encontram e a sua institucionalização a partir das legislações inerentes ao assunto é tarefa imperiosa frente a uma determinação legal atribuída ao órgão que é o apoio na política de inovação.

### **Resultados encontrados**

As entrevistas semiestruturadas objetivaram o estudo da influência dos NITs e do Marco Legal da Inovação nas instituições estudadas. Foram abordadas questões a respeito da atuação dos NITs enquanto agente propulsor do conhecimento e da inovação, da institucionalização da relação universidade-empresa e do impacto da legislação nas ações de inovação.

Foram entrevistados seis atores relevantes para a relação universidade-empresa: o Diretor de Pesquisa, o Coordenador de Pós-Graduação, dois ex-Reitores de universidades e dois coordenadores de NITs. As entrevistas ocorreram entre dezembro de 2017 e junho de 2019.

Os quatro primeiros entrevistados são unânimes ao afirmarem que a burocracia é o principal entrave para pesquisa e para a relação entre o setor privado e a universidade e para a inovação.

A evidência básica, muitas vezes, é a burocracia que se tem com relação à interação da empresa com a universidade (COORDENADOR DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2017).

O Diretor de Pesquisa argumenta sobre a necessidade institucionalização das atividades de pesquisa científica e tecnológica. O papel dos NITs, nesse sentido, pode ser entendido como fundamental, no sentido de dotar as ICTs de um aparato institucional para viabilizar a relação universidade-empresa.

(...) ouvi uma frase outro dia que dizia o seguinte: as grandes ideias obviamente nascem dos homens, são os homens que criam as grandes ideias, mas quem as sustentam, quem as dão materialidade, quem as progridem são as instituições. É tão verdadeiro isso! Porque, às vezes, você pode ter a ideia mais brilhante do mundo, você pode lutar para realizá-la, você pode até começar a realizá-la, mas, se não tiver o interesse institucional, isso morre! Isso desaparece! (DIRETOR DE PESQUISA, 2017).

Além disso, ressalta a insegurança jurídica com que trabalham as Universidades e demais ICTs na interação com empresas, situação que vem a ser “corrigida” pela regulamentação da Lei da Inovação e do Marco Legal da Inovação.

Há dificuldades, apesar do Marco Legal, dos docentes nessa interação [universidade-empresa]. Há insegurança jurídica ainda, mesmo com o Marco Legal, sobre o que se pode e o que não se pode fazer nessa interação com as empresas (DIRETOR DE PESQUISA, 2017).

Essa percepção é compartilhada pelo Coordenador de Pesquisa que afirma que “o Marco Legal viria para poder facilitar a interlocução com o setor privado”. Ambos atores ressaltam outro aspecto relevante que é o fato de o tempo das universidades e demais ICTs ser muito diferente do tempo das empresas, referindo-se aos aspectos burocráticos que, por enquanto, permeiam essa relação. Enquanto os trâmites burocráticos internos à universidade demandam meses, as respostas desejadas pelas empresas precisam ser rápidas. Essa divergência em relação a tempo é uma das limitações da relação universidade-empresa que, espera-se, seja tratada a partir do arcabouço jurídico agora à disposição das instituições.

A pesquisa no Brasil ainda é feita nas universidades. Então, os tempos, as velocidades são diferentes. A empresa demanda uma rapidez que é muito grande e a universidade é lenta, porque ela é burocrática, ela é um elefante, um paquiderme (DIRETOR DE PESQUISA, 2017).

A insegurança jurídica também foi abordada por um dos ex-reitores.

(...) em dezembro de 2004, foi promulgada a primeira Lei de Inovação brasileira (...) Depois disso, atualizou-se nesse código nacional [Marco Legal]. Mas, infelizmente, o código nacional não incorporou a Lei. Então, agora, nós temos dois documentos que tratam do mesmo assunto e, uma vez, você tem que consultar um e, outra vez, tem que consultar o outro (...) E, depois, você ainda tem as regulamentações disso através de decretos (EX-REITOR 1, 2018).

O ex-Reitor de outra Universidade mineira salientou, mais claramente, os entraves jurídicos para a relação universidade-empresa.

Em julho de 2017, existiam problemas com o Marco legal. Um eram os vetos da Lei nº 13.243 de 11/01/2016, que ainda continuam vetados e que precisam ser derrubados, para que o Marco Legal tenha plenitude na sua força. E faltava também a regulamentação da Lei. Essa regulamentação ocorreu em fevereiro de 2018. Portanto, houve a edição dessa regulamentação que é o Decreto Presidencial nº 9.283 de 07 de fevereiro de 2018. Esse decreto facilitou muito a implementação do Marco Legal, mas ainda está pendente de estes vetos serem derrubados (EX-REITOR 2, 2019).

O arcabouço teórico da TH descreve a inovação como o resultado da interação de três agentes: o Estado, as empresas e a Universidade/NITs. No

entanto, de acordo com os entrevistados e corroborando o aspecto teórico, não basta o discurso da TH. É necessário viabilizar a relação. E os aspectos legais, burocráticos e institucionais são cruciais para que o resultado esperado dessa relação – a inovação – seja alcançado.

As agências de fomento cumprem, pelo lado do Estado, esse papel indutor da interação entre a universidade e a empresa. E aí entra um dado fundamental que é o Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação. E ele cumpre um papel que vai ajudar em tornar essa coisa realidade. E, quando isso tornar realidade, a sociedade começa a perceber mais, então, a Hélice Tríplice pode se movimentar a uma velocidade maior e puxar a sociedade mais rapidamente (EX-REITOR 2, 2019).

A atuação dos NITs, enquanto ator que viabiliza a relação universidade-empresa, ainda é incipiente nas instituições estudadas. Os entrevistados afirmam que o NIT trabalha na gestão da propriedade intelectual e as ações executadas são de depósito e monitoramento das patentes, *software* ou marcas; auxílio para redação de patentes; análise das cláusulas de propriedade intelectual; assessoria para marcas; cursos para disseminação da cultura inovadora; elaboração de contratos de licenciamento (COORDENADORES 1 e 2, 2019).

O NIT do IFMG foi implementado em 2009, a partir de um Edital da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), o que permitiu a contratação de bolsistas, com os recursos iniciais recebidos, viabilizando o início das atividades. O Coordenador 2 salienta que o NIT do IFMG atua em duas frentes: na gestão de propriedade intelectual e em atividades de empreendedorismo. Evidencia a relação entre universidade-empresa no sentido de desenvolverem projetos e aplicá-los efetivamente. Entretanto, ressalta a dificuldade dessa proximidade, destacando a falta de corpo técnico como um fator para a fragilidade dessa relação.

Os funcionários do NIT do IFMG são bolsistas, pesquisadores ou pessoas formadas, mas com vínculo temporário. São apenas dois servidores efetivos atuando em um setor que envolve atividades densas de propriedade intelectual de negócios, prospecção e atendimento ao cliente.

Ao ser questionado sobre essa relação universidade-empresa, o Coordenador 2 afirma que

[...] considerando as limitações que possuímos, temos atuado muito forte na questão do Edital de Inovação. Temos um recurso próprio de inovação e lançamos um edital todo ano para desenvolver projetos junto às empresas. As empresas primeiramente fazem um trabalho de prospecção, levantam as demandas que possuem de problemas e que teriam interesse de

resolver e; em um segundo momento, um professor nosso entra em contato com a empresa e atua junto com ela resolvendo em parceria o problema da empresa (COORDENADOR 2, 2019).

O entrevistado relatou que o primeiro edital foi lançado em 2017 e, naquele momento, três projetos foram contemplados. O segundo edital foi lançado em 2018, tendo sido contemplados oito projetos. Nesse sentido, o IFMG estudado apresenta desempenho mais satisfatório que a Universidade, cujo NIT possui, no momento, quatro contratos vigentes. Importante ressaltar que a natureza da atuação do IFMG parece ser mais efetiva e mais objetiva na construção da relação com as empresas e com a realidade local, tendo em vista esses resultados apurados até momento. Essa percepção é sustentada pela fala da Coordenadora 1.

Atualmente o NIT encontra-se na mesma diretoria que a Incubadora (INCIT) e o parque tecnológico, contudo nossas ações até o momento são voltadas à ICT apenas. Ainda não há atuação do NIT com o mercado, esperamos implementar essa relação através do Escritório de Projetos e Captação de Recursos. Em relação aos contratos de licenciamento estamos trabalhando a fim de mudar a cultura da Universidade, para que consigamos realizar mais parcerias (COORDENADORA 1, 2019).

Quando indagado sobre a existência de um papel dos NITs no que diz respeito à gestão do conhecimento produzido, o Coordenador 2 relata que o objetivo do Núcleo seria fazer um mapeamento de toda a propriedade intelectual gerada, mas a falta de corpo técnico impede que esse controle seja produzido.

A respeito do direcionamento e objetivos das pesquisas realizadas no IFMG, o Coordenador 2 menciona do Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) que é um trabalho fruto das discussões de gestores, servidores, alunos e comunidade externa, constituído por diretrizes para promover o desenvolvimento acadêmico, organizacional e estrutural do IFMG. Segundo ele: “o PDI é um direcionamento local e as pesquisas devem ser direcionadas para resolução dos problemas locais” (COORDENADOR 2, 2019).

A Coordenadora 1 esclarece que a instituição em que atua implementou uma Política de Inovação em junho do presente ano e que, até então, inexistia esse tipo de política na instituição e que essa consiste na implementação de três novas ações: a formação de uma Comissão Permanente de Inovação e Propriedade Intelectual; a criação de um Escritório de Projetos e Captação de Recursos; a criação do Fundo de Inovação Tecnológica (COORDENADORA 1, 2019).

Percebe-se, nessa instituição, a proposição de uma política explícita para a inovação, porém, a implementação recente não permite avançar além dessa mera descrição das atividades a serem desenvolvidas.

Ao mesmo tempo em que a explicitação de uma política é recente, a entrevistada afirmou que o NIT foi criado em 2006. Em 2017, o Núcleo passou a “pertencer” à Pró-Reitoria de Extensão. Até aquele ano, as atividades do NIT estavam ligadas à Pró-Reitoria de Pesquisa (COORDENADORA 1, 2019).

Essa transferência do NIT da Pesquisa para a Extensão sugere que há um entendimento de que a natureza do Núcleo é a relação com a sociedade. E, quanto ao aspecto científico e tecnológico, o NIT não deveria estar relacionado à natureza da pesquisa na instituição? Nesse ponto, o IF também entende o Núcleo como um segmento, se não dissociado da Pesquisa, com atuação independente. Em ambos os casos, parece existir um descolamento da área de Pesquisa e da atuação dos NITs, uma vez que são gerenciados por segmentos distintos dentro das instituições estudadas. Nesse ponto, existe uma lacuna a ser investigada: essa independência entre Pesquisa e NITs compromete a atuação das instituições enquanto agente de inovação? Não fica claro na resposta dos pesquisados o alinhamento da política científica e tecnológica da instituição com a política de inovação, dando a impressão de que são questões distintas para as instituições e conduzidas por profissionais distintos.

Ao ser questionada sobre o impacto da regulamentação da Lei da Inovação/Marco Legal nas atividades do NIT, a entrevistada afirmou que:

[...] muitas das alterações referentes ao Marco Legal não são relacionadas especificamente as atividades do NIT da universidade. Como o NIT ainda não funciona como uma agência de inovação, não foram notadas mudanças significativas no NIT (COORDENADORA 1, 2019).

Resposta semelhante foi dada pelo Coordenador 2 que afirmou não ter sentido impacto em suas atividades, pois encontra-se ainda em um processo de normatização, momento em que o IFMG teve sua Política de Inovação aprovada, com base em todas as possibilidades que a legislação traz. Para ele:

Agora que vamos elaborar nosso projeto considerando que é um dos maiores que fizemos, que é a constituição de um Conselho, um Comitê de Empreendedorismo. Esse comitê será responsável por fazer prospecção tecnológica e prospecção de mercado para orientar as ações do Instituto (COORDENADOR 2, 2019).

Embora a Coordenação do NIT do IFMG identifique poucos efeitos da regulamentação do Marco Legal em sua atuação, considera que a legislação é um avanço e um facilitador, pois traz suporte para o NIT elaborar regulamentações baseadas no foco no resultado e não nos meios, simplificação de documentos e contratos entre instituição e empresa, abertura de participação de professores, pagamento de bolsas, prestação de serviços, consultoria.

Pode-se interpretar que a existência de uma legislação que facilita a relação das ICTs com o setor privado não é condição suficiente para que os entraves à inovação deixem de existir. O entendimento de qual é o papel do NIT transparece um conhecimento a ser construído.

### **Considerações finais**

Esse trabalho tratou da discussão em torno da influência da regulamentação do Marco Legal da Inovação e da atuação dos NITs para a promoção do conhecimento e da inovação nas ICTs. Partindo-se do princípio de que existe uma nova realidade do ponto de vista produtivo que é a EIC, o direcionamento dos esforços do desenvolvimento econômico e social para a inovação baseada na intangibilidade pretende inserir as ICTs nesse contexto. Para isso, um aparato jurídico foi criado e regulamentado no sentido de promover e facilitar a interação entre aqueles agentes que tendem a gerar inovações, quais sejam, o Estado, as empresas e as ICTs, que nesse trabalho foram estudadas a partir de dois exemplos: o de uma universidade e de um Instituto Federal.

Os resultados encontrados demonstram que, a despeito da existência da legislação favorável, o impacto desse arcabouço legal ainda não é percebido pelas instituições que se encontram em processo de estruturação dos NITs, a despeito de, nos dois casos estudados, ter sido relatado que a implementação dos Núcleos tenha ocorrido há mais de uma década: no caso do IF em 2009 e, na universidade, em 2006. Importante observar o lapso temporal, uma vez que, embora existindo, as ações dos NITs não parecem ter sido efetivas.

A esse respeito, o que se pode observar é uma atuação tímida dos Núcleos. Nos dois casos, foram criadas recentemente a Política de Inovação das instituições. É verdade que a regulamentação da Lei da Inovação e do Marco Legal da Inovação data de 2018 e, por esse motivo, ainda não tenha existido tempo hábil para que os efeitos das proposições do aparato legal sejam convertidos em resultados para inovação. Porém, nos dois casos, parece não existir um alinhamento claro entre as políticas científicas e tecnológicas e a de inovação, o que pode ser um dos fatores limitadores para o avanço científico, tecnológico e inovativo.

Também fica claro no trabalho que os aspectos burocráticos são um entrave para a relação universidade-empresa e a expectativa é de que a regulamentação de 2018 seja o instrumento que viabilizará a aproximação entre esses dois agentes, a partir da facilitação dos processos institucionais.

Por fim, ressalta-se que, embora a Lei da Inovação, o Marco Legal e o Decreto que os regulamenta sejam importantes para a criação das condições para a relação entre empresa e ICTs, esse arcabouço jurídico não é condição suficiente para que a inovação e o desenvolvimento econômico e social ocorram e para que os resultados decorrentes de pesquisas científicas e tecnológicas sejam

apropriados pela sociedade. Há que se atentar que somente a lei não garante as relações. É necessária a existência de política científica e tecnológica e política de inovação que deixem claro o caminho a ser percorrido e os resultados a serem alcançados. Essas políticas devem “conversar” entre si, convergindo para o mesmo objetivo. E isso é institucional! Os agentes da TH devem chamar para si a responsabilidade que lhes cabe no papel que desempenham na promoção da inovação. Não há espaço para fraqueza institucional se se pretende avançar!

Como sugestões para pesquisas futuras, existem a necessidade de um entendimento do papel do NIT por parte das instituições e a busca pelo alinhamento entre as políticas científica e tecnológica e a política de inovação. Além disso, seria produtivo também expandir essa pesquisa para as demais ICTs mineiras. Minas Gerais é um estado privilegiado, no sentido de ser a unidade federativa que mais possui universidades federais e esse fato precisa ser valorizado e utilizado em favor do avanço científico, tecnológico e inovativo.

## Referências

ARIENTE, E.A.; BABINSKI, D. O. O Novo Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação. **Revista Consultor Jurídico**, 2018. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2018-abr-17/opinioo-impressoes-decreto-marco-legal-inovacao>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018. Regulamenta a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, dentre outras. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2018. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/d9283.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9283.htm)>. Acesso em: 21 de jun. 2019.

BRASIL. Ementa nº 85, de 26 de fevereiro de 2015. Altera e adiciona dispositivos na Constituição Federal para atualizar o tratamento das atividades de ciência, tecnologia e inovação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 fev. 2015. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/Emendas/Emc/emc85.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc85.htm)>. Acesso em 21 de jun. 2019.

BRASIL. Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 dez. 2004. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm)>. Acesso em: 22 jun. 2019.

BRASIL. Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, dentre outras. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 jan. 2016. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/\\_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm)>. Acesso em 10 ago. 2019.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei da Câmara no 77/2015**. Brasília: Senado Federal, 2015b. Disponível em: <http://goo.gl/EnXv0w>>. Acesso em 28 maio 2019.

CASTRO, Bianca de S.; SOUZA, Gustavo C. de. O papel dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) nas universidades brasileiras. **Liinc em Revista**, v.8, n.1, março, p. 125-140, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.18617/liinc.v8i1.465>>. Acesso em 27 jul. 2019.

DINIZ, Davi Monteiro. NEVES, Rubia Carneiro. Da recente legislação sobre inovação e seus efeitos para as universidades federais. **Revista de Direito, Inovação, Propriedade Intelectual e Concorrência**. v.2, p.01 - 23, 2016. Disponível em: <http://www.indexlaw.org/index.php/revistadipic/article/view/1515>. Acesso em 22 jun. 2017.

ETZKOWITZ, Henry e LEYDESDORFF, Loet. The dynamics of innovation : from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university – industry – government relations. **Research Policy**, p. 109–123, 2000.

FORAY, Dominique. **The Economics of Knowledge**. Cambridge: MIT Press, 2004.

LARUCCIA, Mauro M.; SILVIA, R. G. Estudo da Inovação e do Núcleo de Inovação Tecnológica. **Diálogos Interdisciplinares**, v. 2, p. 68-105, 2013.

LASTRES, Helena MM. Informação e conhecimento na nova ordem mundial. **Ciência da Informação**. Brasília, v.28, n.1, p.72-78, jan. 1999. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-19651999000100010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19651999000100010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 04 de agosto de 2019.

LEMOS, Cristina. Inovação na era do conhecimento. **Parcerias estratégicas**, v.5, n.8, p.157-180, 2009.

PALUMA, Thiago; TEIXEIRA, Eline Débora. **O marco legal da inovação e o aumento da interação entre universidade e empresa**: contribuições para a consolidação do direito fundamental ao desenvolvimento. *Rev. Bras. Polít. Públicas*, Brasília, v. 9, n. 1 p.351-370, 2019.

RAUEN, Cristiane Vianna. O novo marco legal da inovação no Brasil: o que muda na

REIS, D. R. dos. **Gestão da inovação tecnológica**. Barueri: Manole, 2008.

Relação ICT-empresa? **Radar**. V. 43, p. 21-35, fev. 2016. Disponível em: <

RUFFONI, Janaína e MELO, Aurélia e SPRICIGO, Gisele. Universidade: surgimento e trajetória na geração de conhecimento e inovação. RAPINI, M. S.; SILVA, L. A.; ALBUQUERQUE, E. M. (Org.). **Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamento teóricos e a economia global**. Curitiba: Editora Prismas, 2017. p. 169–198.

SOUZA, A. C. M. M. **A importância do núcleo de inovação tecnológica para o desenvolvimento e científico tecnológico Instituto Federal**

**Catarinense.** 2013. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio-Econômico, Programa de Pós-Graduação em Administração Universitária, Florianópolis, 2013. Disponível em: Acesso em: 27 jul. 2019.

# UTILIZAÇÃO DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTOS – OEE PARA MELHORIA CONTÍNUA NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

Renata Veloso Santos Policarpo (renataveloso@ifmg.edu.br)

Pedro Henrique Brandão Leite (pedroleite08@hotmail.com)

Rayane Henriques Moreira (rayanehmoreira97@gmail.com)

Leonardo Henrique da Silva (leonardo.h@outlook.com)

## Resumo

O artigo em questão tem como finalidade apresentar estudos realizados durante o período de pesquisa aplicada referente ao projeto de iniciação científica intitulado “Utilização do Indicador de Eficiência Global de Equipamentos – OEE para Melhoria Contínua no Planejamento e Controle de Manutenção Industrial”. O objetivo foi estudar os conceitos básicos de manutenção, sobretudo, da filosofia TPM, seguido de um estudo aprofundado do indicador OEE e derivados, bem como, sua aplicação prática. Para isso, a metodologia adotada foi a pesquisa por meio de bibliometria e da coleta de dados em campo na empresa estudada e o tratamento de dados realizado por meio do Excel. Para futuros trabalhos, propõe-se aprimorar e aplicar a planilha de cálculo do OEE automatizada levando em conta suas devidas restrições.

**Palavras-chave:** Qualidade; Performance; Disponibilidade; OEE; Manutenção Produtiva Total.

## Introdução

Esse estudo objetivou trabalhar a aplicação do indicador de eficiência global de equipamentos – OEE e para isso utilizou-se três etapas: a primeira consistiu em uma exploração do conceito de Manutenção Produtiva Total – TPM por meio de uma bibliometria; a segunda tratou de uma compreensão aprofundada sobre o indicador OEE e a terceira contemplou a aplicação prática e o cálculo do mesmo. De acordo com Pereira (2011), TPM é uma metodologia cuja finalidade é desenvolver um ambiente que forneça aperfeiçoamento contínuo no uso dos bens da organização, como máquinas, ferramentas, locais de trabalho. Com relação aos funcionários, proporciona a elevação de sua qualificação profissional, novas competências, comportamentos, conhecimentos e cuja finalidade principal é a de ampliar o rendimento organizacional e a eficiência operacional.

Nesse sentido, o estudo objetivou inicialmente realizar uma análise dos artigos que abordam a Manutenção Produtiva Total, apresentando as características desses, por meio da análise das metodologias aplicadas, principais locais de estudos, objetivos, estudos de casos e resultados, buscando encontrar similaridades entre os mesmos. Assim como, analisar as diversas abordagens do tema, aprofundando no assunto para posteriormente desenvolver um estudo prático baseado nos conhecimentos adquiridos.

A metodologia TPM – *Total Productive Maintenance* deu origem ao indicador OEE - *Overall Equipment Effectiveness*, que tem como foco a melhoria contínua dos equipamentos e mensuração do desempenho dos mesmos. Sendo criado por Seiichi Nakajima (1988), o OEE de acordo com Koda (2013) é uma ferramenta que proporciona a supervisão da produtividade de uma empresa, para isso, considera os critérios de disponibilidade, desempenho e qualidade. Disponibilidade é a relação entre o tempo em que o equipamento produz e o tempo total disponível para o mesmo. Já desempenho considera a quantidade de itens produzidos em relação a quantidade de produtos que deveriam ter sido fabricados no intervalo de tempo definido. Por fim, o critério qualidade é uma relação entre a quantidade de produtos bons e o total de itens produzidos. Dessa forma, para compreensão do indicador OEE foi utilizada as mesmas análises descritas para a TPM.

Por fim, foi realizada a aplicação do OEE em um contrato de prestação de serviços. Dessa forma, a implantação do indicador de eficiência global de Equipamentos - OEE levou em consideração a disponibilidade, performance e qualidade do equipamento para realização dos cálculos. Nesse contexto, o estudo proposto é de considerável relevância pois o indicador OEE vem sendo amplamente empregado nas empresas, para diagnóstico do sistema produtivo e melhor encaminhamento de ações de melhoria contínua. Esse indicador possibilita uma interpretação mais ampla da vida útil dos equipamentos, atribuindo que as

condições de uso são essencialmente influenciadas pelos índices que compõem o mesmo (BUSSO, MIYAKE, 2013).

## **Metodologia**

Para esse estudo foi utilizada uma metodologia combinada com abordagem quantitativa e qualitativa (SEVERINO, 2007). Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura, que consiste em uma pesquisa profunda de diversas referências publicadas sobre determinado assunto, procurando analisar suas diferenças e similaridades (GIL, 2002). A revisão serviu como um embasamento teórico para a análise bibliométrica.

Prodanov e Freitas (2013) definem a abordagem combinada quali e quanti como aquela que envolve métodos estatísticos para que o entendimento seja transformado em número associado a uma análise detalhada do comportamento do objeto de estudo que vai além das funções matemáticas.

Para a revisão bibliométrica, a pesquisa se dividiu em três passos caracterizados por: levantamento de artigos, estudo e síntese (GIL, 2002; MARCONI e LAKATOS, 2010). Isso foi utilizado para a bibliometria de Manutenção produtiva Total bem como para o OEE. A primeira pesquisa, que contemplou o TPM utilizou como base os artigos publicados entre 2000 e 2017 considerados pelo Qualis 2015, classificados entre A1 e B3, na plataforma sucupira. De acordo com a disponibilidade, por meio de acesso livre, foram coletados 10 artigos, divididos em nacionais e internacionais das áreas de Administração pública e de empresas, ciências contábeis e turismo e de Engenharias III e IV.

A partir da pesquisa realizada, ocorreu a classificação dos dados encontrados em análises de metodologia; resultado; objetivos; locais de estudo e estudo de caso. Em cada uma das análises percebeu-se algumas similaridades, principalmente nos objetivos de cada estudo prático. É importante ressaltar que a pesquisa apresentou algumas limitações, como o baixo número de periódicos analisados devido à restrição de análise somente de artigos com acesso livre.

Para a segunda etapa do projeto que se referia ao OEE, o levantamento de artigos se deu por meio de uma pesquisa de artigos publicados entre 2000 e 2017 por revistas classificadas entre A1 e B3, baseado na classificação de periódicos do quadriênio 2013-2016 do Qualis na plataforma Sucupira. Dessa vez, foi levantado apenas artigos de acesso livre que tratavam do assunto OEE de forma direta. Após esse recorte apenas 8 (oito) artigos ficaram a disposição para o estudo, 75% destes, pertencem a área de Engenharias, o restante, Administração pública e de empresas, ciências contábeis e turismo.

Para a fixação e aprofundamento do conteúdo, uma sequência de apresentações sobre o tema OEE e também suas alternativas foi realizada. Feito isso, foi produzida uma planilha bibliométrica com o intuito de facilitar a análise, que continha as principais informações sobre os artigos, como: objetivos,

metodologias, resultados, estudo de caso, ano de publicação, origem, principais referências e a classificação Qualis. Essas informações foram transformadas em análises e identificação de pontos convergentes que foram considerados na parte de resultados.

A última etapa consistiu na aplicação do indicador. Para realizar o cálculo do OEE, primeiramente foi necessário realizar a digitação das partes diárias da empresa prestadora de serviços, que são preenchidas diariamente pelos operadores e possuem informações importantes referentes à rotina de trabalho. Na Figura 1, pode-se visualizar a modelo das partes diárias analisadas:

Figura 1 - Modelo de parte diária

TRANSPORTES E CONSTRUÇÕES LTDA.						EQUIPAMENTO/ PLACA					
PARTE DIÁRIA/ MENSAL DE EQUIPAMENTOS						Turno					
Cliente:			Obra:			Mês/ Ano					
DIA	HORÁRIO		HORÔMETRO/ VELOC.		PRODUÇÃO		PARALIZ./ DESC.		MOTIVO/ OBS.:	OPERAD.:	APONT.:
	DE	ATÉ	INICIAL	FINAL	HORA	KM	DE	ATÉ			

Fonte: Dados da pesquisa

Após a digitação das partes diárias, foi possível gerar uma base de dados com informações essenciais para auxílio durante o cálculo do OEE, sendo elas:

- Equipamento/ Placa: Modelo e placa da escavadeira utilizada pelo operador;
- Turno: O trabalho é dividido em dois turnos de oito horas, sendo o primeiro de 07 às 15 horas e o segundo de 15 às 23 horas;
- Dias e meses: Os dados coletados se referem aos meses de agosto, setembro e outubro de 2018;
- Horário: Horário de produção, retirando-se o tempo das paradas;
- Horômetro: É dado em Km, representando a quilometragem inicial e final de trajeto do colaborador;
- Paralisação: Tempo em que o equipamento ficou parado.

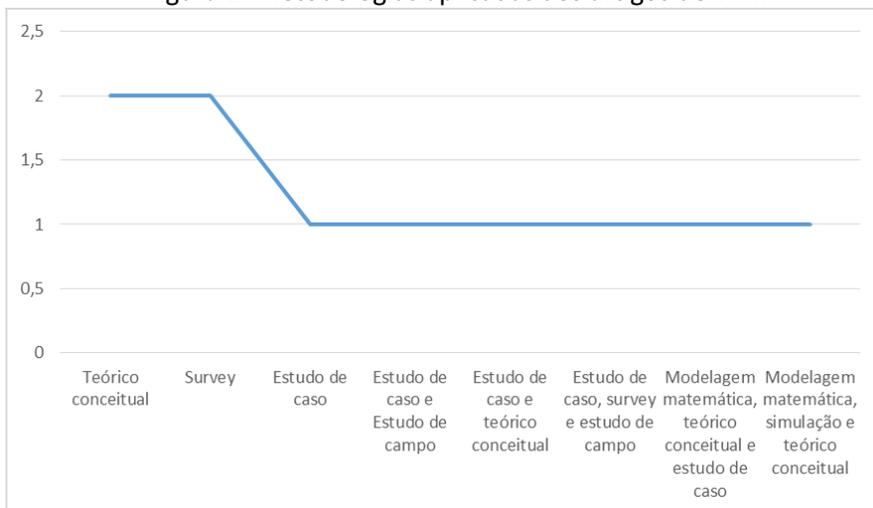
Por se tratar de um controle diário realizado de forma manual pelos operadores, o risco de inconsistências nos dados é comum. Sendo assim, foi realizada a análise da base de dados para identificação das irregularidades, sendo possível descrever as mais encontradas como: i) quilometragem muito altas e destoantes se comparadas aos outros dias; ii) quilometragens negativas, nos casos em que o horômetro inicial possui valor superior ao final; iii) Preenchimento inadequado ou ausência de alguns dados.

Nesse contexto, para que fosse possível encontrar valores para o OEE fidedignos, foi necessário retirar os *outliers*, ou seja, os dados que se encontravam muito distantes do restante.

### Apresentação de Dados e Discussão de Resultados:

Em se tratando do estudo bibliográfico do assunto TPM, os resultados foram:

Figura 2: Metodologias aplicadas aos artigos de TPM



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 2 mostra que os artigos estudados apresentam em sua maioria as metodologias teórico conceitual e *survey*, que representam 20% cada. Porém, ao analisar a Tabela 1, onde as metodologias encontradas nos artigos estudados foram estratificadas, o tipo mais utilizado é o teórico conceitual com 50% de frequência. Já a metodologia de estudo de caso aparece com 40% de representatividade, seguido de estudo de campo e *survey* com 30% cada, modelagem matemática com 20% e por fim simulação com 10%.

Tabela 1: Estratificação das metodologias dos artigos de TPM

Metodologia	Quantidade de artigos	Frequência
Modelagem matemática	2	20,00%
Estudo de campo	3	30,00%
Estudo de caso	4	40,00%
Survey	3	30,00%
Teórico conceitual	5	50,00%

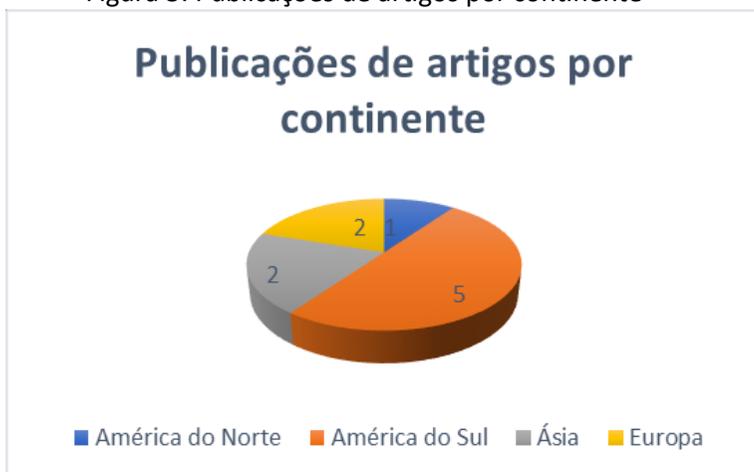
% Simulação	1	10,00
Experimentação	0	0,00%

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio das análises expostas na Figura 2 e Tabela 1 é possível identificar a predominância das pesquisas qualitativas, sobretudo, a utilização do tipo teórico conceitual. O estilo quantitativo demonstrou pouca frequência, já que as técnicas simulação, modelagem matemática e experimentação figuram os menores índices de aparição.

A Figura 3 exhibe as publicações de artigos sobre TPM por continente, no período de 2000 a 2017.

Figura 3: Publicações de artigos por continente



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 3 evidencia o predomínio de divulgações de artigos sobre TPM na América do Sul, sendo esses brasileiros. Segundo Carrijo e Lima (2008), o Brasil tem expressado grande interesse pela aplicação da metodologia, a partir da primeira visita do Prof. Seiichi Nakajima, em 1986, época em que realizou palestras em São Paulo, e da candidatura de algumas organizações brasileiras ao prêmio *TPM Awards* do JIPM no decorrer da década de 90 e, ainda, em virtude da propagação da utilização do TPM por instituições nacionais de vários estados e dos mais distintos segmentos de atividades.

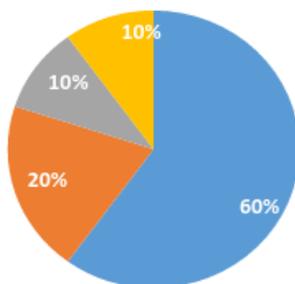
A TPM objetiva o aumento da disponibilidade de equipamentos existentes, tornando-os mais efetivos, dessa forma, se reduz a necessidade de investimentos de capital futuro. Fundamental para que se alcance esse objetivo é o zelo pelo setor de recursos humanos, o que resulta em melhor qualidade produtiva, efetivo aproveitamento do hardware, redução dos custos de mão de obra e do produto final (Bohoris et al., 1995). Como já dito, se encontrou uma

familiaridade entre os objetivos de alguns artigos no levantamento bibliométrico, onde evidenciou-se modelos de implementação da TPM visto mais claramente na Figura 4.

Figura 4: Similaridade dos objetivos das pesquisas em TPM

### Objetivos dos artigos

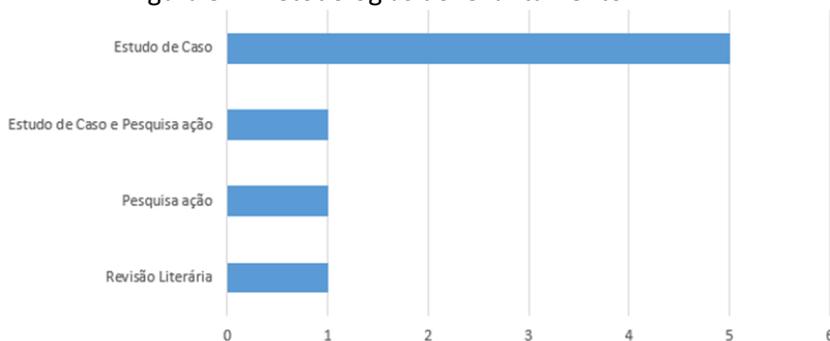
- TPM integrado a outros conceitos
- Implementação TPM na indústria
- Modelo matemático
- TPM - ISO 9001:2008



Fonte: Dados da pesquisa

Já em relação a bibliometria sobre o indicador OEE a Figura 5 mostra as metodologias encontradas no levantamento:

Figura 5 – Metodologias do levantamento



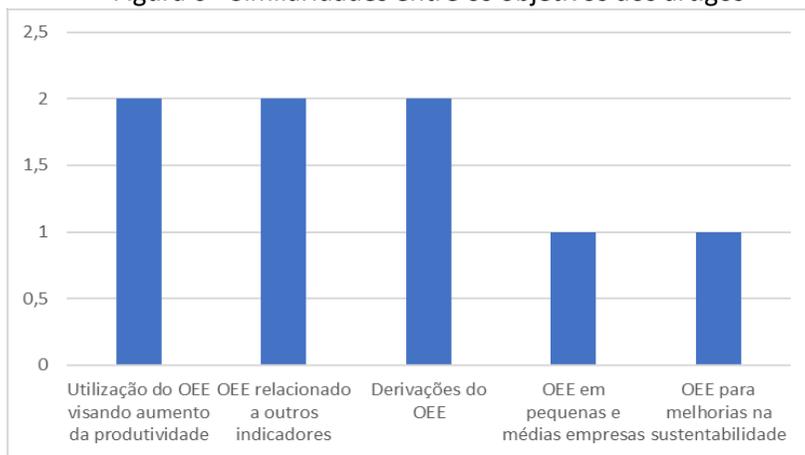
Fonte: Dados da pesquisa.

Pela Figura 5 é possível ver que o estudo de caso possui centralidade dentre as metodologias encontradas nos artigos levantados. Em todos que realizaram o estudo de caso, também continha breve revisão bibliográfica e apenas um artigo tratou da metodologia de forma exclusiva. No levantamento apenas um artigo apresentou combinação entre as modalidades estudo de caso e

pesquisa ação. Assim como a pesquisa ação também foi a técnica metodológica única utilizada, exclusivamente, em apenas um artigo.

Por meio da análise dos dados obtidos com a realização do levantamento bibliométrico, foi possível relacionar os artigos encontrados de acordo com seus objetivos propostos. As similaridades entre os objetivos das pesquisas podem ser visualizadas na Figura 6.

Figura 6 - Similaridades entre os objetivos dos artigos



Fonte: Dados da pesquisa.

Dos 8 artigos encontrados, 2 possuem como objetivo a utilização do indicador OEE visando melhorias referentes a produtividade e melhores resultados para o negócio, o que os diferencia é o local de aplicação do estudo. O primeiro visa o aumento da eficiência e produtividade em uma linha de produção de tubos para cabos ópticos, já o segundo busca analisar e apontar fatores críticos, e assim, propor melhorias relacionadas a produtividade do processo de embarque de minério no Píer I do Porto de Tubarão.

O OEE foi relacionado a outros indicadores em 2 dos artigos analisados. Em um deles, é discutido o conceito de OEE por meio de estudo dentro de uma organização, tendo foco principal a utilização do CFT (*Times of Cross-Functional*) e sua relevância para melhorar a implementação do indicador de eficiência em organizações. Já no outro artigo, o objetivo do trabalho é apresentar uma nova estrutura que expande a medida OEE original para informar o desempenho do negócio em vários níveis, com foco na adição de indicadores de referência da eficácia da gestão de ativos e capacidade do processo.

Segundo Bamber *et al.* (1999), para lidar com as seis grandes perdas do TPM (Manutenção Produtiva Total) e assim melhorar o OEE, o CFT (*Times of Cross-Functional*) torna-se fundamental, pois este em conformidade tem um conjunto de habilidades e conhecimentos de todo o sistema de fabricação que ajudam a identificar as práticas e atividades relacionadas a essas perdas. Dessa

forma, podem ser traçados planos de melhorias eficazes, que contribuem para garantia da melhor utilização de recursos operacionais e melhor desempenho da produção.

Segundo Stamatis (2011) o OEE é uma ferramenta de medição da real utilização de um equipamento, a fim de alcançar eficiência no processo produtivo baseado em três fatores, disponibilidade, performance e qualidade. Estes fatores estão diretamente ligados as seis perdas definidas por Nakajima (1988), i) quebras; ii) setup e regulagem; iii) pequenas paradas; iv) quedas na velocidade; v) quedas de rendimento; vi) retrabalho. As duas primeiras estão relacionadas a disponibilidade da planta que é calculada através da ligação do tempo total, parada planejada e parada não planejada em uma fórmula, as duas seguintes estão relacionadas a *performance*, que utiliza a quantidade de produção e por último, as duas finais estão ligadas a qualidade, que diz sobre a quantidade de peças produzidas e peças não produzidas (NAKAJIMA, 1988).

Por fim, foi realizado uma planilha de cálculo do OEE para uma empresa prestadora de serviços que atua em um contrato de retirada de estéril em uma mineradora que lavra e beneficia minério de ferro, localizada na região do Alto Paraobepa. Seguindo-se a metodologia, foi possível calcular o OEE dos diferentes modelos de escavadeiras utilizadas na operação. Após os ajustes, com as retiradas dos dados inconsistentes, foram realizados os cálculos do indicador OEE para os equipamentos, em meses distintos. O cálculo ocorreu por meio da predefinição dos parâmetros para os índices de disponibilidade, performance e qualidade, conforme exposto a seguir:

*Disponibilidade:* Relação entre o tempo real de produção e o tempo programado para produzir, sendo:

1) Tempo programado para produzir:  $8 \times 2 \times$  quantidade de dias, visto que a jornada de trabalho de cada turno é de 8 horas e existem dois turnos de trabalho.

2) Tempo real de produção: Horômetro final - horômetro inicial.

*Performance:* Relação entre a produção real e a produção teórica, sendo:

1) Produção teórica: Equivalente ao tempo real de produção;

2) Produção real: Inicialmente foi definida a Km ideal por hora como 0,875, a partir de uma relação entre a média de km realizada em cada percurso que é 7 km e a jornada de trabalho que é de 8 horas. Multiplicando-se a produção teórica por 0,875 é possível definir a km ideal para a produção analisada. Assim, por meio de uma regra de três é possível definir qual a produção real para a km realizada.

*Qualidade:* A qualidade foi definida como 1, pois o processo não apresenta perdas significativas de produção, visto que o estéril que for perdido durante o transporte pode ser coletado novamente, sem complicações.

O cálculo aqui exposto se refere ao OEE da **Escavadeira GAT 336**, com dados correspondentes ao preenchimento das partes diárias dos dois turnos no mês de outubro/18

Tabela 2: Cálculo do OEE - Equipamento

	<b>Outubro - Dois turnos</b>	
<b>Equipamento</b>	<b>Escavadeira GAT 336</b>	<b>Unidade</b>
<b>Disponibilidade</b>	Tempo produzindo/Tempo programado para produzir	
T. Prg p produzir	352	hrs
Tempo produzido	334	hrs
OEE D%	95%	
<b>Perfomance</b>		
Produção teórica	334	hrs
Produção real	265	hrs
OEE P%	79%	
<b>Qualidade</b>		
OEE Q%	100%	
OEE Total	75%	

Fonte: Dados da pesquisa

O memorial dos cálculos está descrito na sequência:

**1. Cálculo da disponibilidade**

Tempo Programado para produzir = 8x2x22 = 352 horas, onde:

8= quantidade de horas trabalhadas

2= quantidade de turnos

22 = dias trabalhados no mês

Tempo produzido = soma (hora final – hora inicial) = 334 horas, ou seja, a média do tempo médio de produção do mês é de 224 horas. Dessa forma, pode se calcular o índice de disponibilidade do equipamento:

$$\text{OEE disponibilidade} = \frac{\text{Tempo produzido}}{\text{Tempo programado para produzir}} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\text{OEE disponibilidade} = 334/352$$

$$\text{OEE disponibilidade} = 95\%$$

## 2. Cálculo da performance

Produção teórica = tempo produzido

Produção teórica = 332 horas

Produção real = 232 horas, valor encontrado por meio da realização de uma regra de três, conforme apresentado na Figura 7:

Figura 7 – Km ideal p/hr

KM ideal p/ hr (7km/8hrs)	
0,875	km ideal por hora
Prod Teórica	km ideal
334	292,25
Prod Real	km real
265,1428571	232

Fonte: dados da pesquisa

Dessa forma, pode se calcular o índice de performance do equipamento:

$$\text{OEE performance} = \frac{\text{Produção real}}{\text{Produção teórica}} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\text{OEE disponibilidade} = 265,14/334$$

$$\text{OEE disponibilidade} = 79\%$$

## 3. Cálculo da qualidade

Conforme definido anteriormente, a qualidade foi definida como 1 para todos os equipamentos, sendo assim:

$$\text{OEE Qualidade} = 100\%$$

## 4. Cálculo do OEE Total

O OEE total é o produto dos indicadores de disponibilidade, performance e qualidade, sendo assim:

$$\text{OEE Total} = 95\% \times 79\% \times 100\%$$

$$\text{OEE Total} = 75\%$$

De acordo com o TGN Brasil (2016) os parâmetros do *World Class OEE* (OEE de Classe Mundial), que foi usado pelas empresas como um *benchmark* de nível mundial como referência na comparação dos resultados o índice de OEE considerado como excelente tem valor de 85%. Nesse sentido, o índice encontrado pode ser considerado bom, porém ainda em um patamar para obter melhoras significativas para alcançar aquele de classe mundial.

## Conclusão

Para o Estudo do TPM conclui-se que com o objetivo de compreender a evolução e implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM), esse artigo apresentou uma pesquisa quantitativa e qualitativa de artigos publicados entre 2000 e 2017, classificados entre A1 e B3, pelo Qualis. Há de se afirmar que se utilizou apenas artigos de acesso livre, sendo todos eles pesquisados no portal de periódicos da Capes na plataforma sucupira para a temática Manutenção produtiva Total. Uma visão geral da disseminação dessa filosofia foi apresentada, demonstrando como pode ser vantajosa se bem aplicada e implementada. Muitas vezes congregada com outras concepções e métodos, buscando-se a melhoria contínua do processo e/ou equipamento, integrando produção e manutenção em busca da falha zero.

Feita a análise dos achados na pesquisa, levantou-se dados sobre cada um dos artigos, e buscou-se pontos em comum entre eles, concluindo-se que se bem praticada, a TPM tende a trazer benefícios de qualidade, especialização de mão de obra e redução de custos, porém deve-se manter sua prática ativa para manter esses resultados. Nota-se, que apesar de ser um conceito amplamente utilizado em empresas, principalmente quando aliado a outras metodologias que perpetuam uma proximidade com os seus objetivos estratégicos, ainda existe uma grande limitação de publicações sobre o tema em revistas conceituadas no assunto, abrindo margens para futuras pesquisas e até mesmo aplicabilidade prática do conceito.

Já para o estudo do OEE o intuito foi analisar as referências disponíveis que tratavam diretamente sobre o tema, dessa forma, esse trabalho estudou artigos nacionais e internacionais publicados em revistas qualificadas entre A1 e B3, pelo Qualis, em um período de tempo compreendido entre 2000 e 2017. Para isso a metodologia utilizada foi uma pesquisa quantitativa e qualitativa. Todos os artigos foram pesquisados por meio dos periódicos Capes na plataforma Sucupira e apenas trabalhos de acesso livre foram utilizados no estudo.

Assim, foi realizado levantamento de artigos e análise de suas similaridades, tais como, objetivo, estudo de caso, resultado e metodologia. Percebeu-se que o OEE é aplicado em diversos tipos de empresas e processos, é uma ferramenta flexível e que pode ser combinada com outros instrumentos de medição. Sua aplicação necessita de uma coleta de dados apurada e confiável, com o mínimo de inconformidades possíveis, para que o resultado final seja preciso e condizente com a realidade da empresa.

Apesar de ser uma ferramenta eficiente quando se trata de medição de desempenho e com um custo muito baixo, foi encontrada significativa limitação quanto ao número de artigos em revistas qualificadas disponíveis. Há claramente insuficiência de publicações de qualidade sobre o tema, o que se mostra como uma oportunidade para futuras pesquisas.

Finalmente realizou-se a aplicação prática do cálculo do indicador em um contrato de prestação de serviços. Os resultados evidenciaram que o valor encontrado está situado no nível considerado bom conforme os parâmetros do *World Class OEE* (OEE de Classe Mundial), que foi usado pelas empresas como um *benchmark* de nível mundial como referência na comparação dos resultados (TGN Brasil, 2017). O índice de OEE considerado como excelente dentro do *World Class* tem valor de 85%. O estudo aprofundado e o alinhamento com outras metodologias de melhoria, torna o indicador de eficiência global uma ferramenta essencial para a tomada de decisão.

## Referências

BAMBER, C.J.; SHARP, J.M.; HIDES, M.T. Factors Affecting Successful Implementation of Total Productive Maintenance: A UK Manufacturing Case Study Perspective. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Vol.5 No.3, pp.162- 181, 1999.

BOHORIS, G.A.; VAMVALIS, C.; TRACEY, W.; IGNATIADOU, K. (1995), "TPM implementation in Land-Rover with the assistance of a CMMS", **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Vol. 1 No. 4, pp. 3-16.

BUSSO, C.M.; MIYAKE, D.I. Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. **Produção**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 205-225, 2013.

CARRIJO, J. R. S.; LIMA, R. C. Disseminação TPM - Manutenção Produtiva Total nas indústrias brasileiras e no mundo: Uma abordagem construtiva. **A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável**, Rio de Janeiro, 13-16 Outubro 2008. 9.

GIL, A, C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

KODA, C.A. Implementação do OEE em uma fábrica de cabos ópticos. **Nucleus**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 13-26, 2013.

MARCONI, M, A; LAKATOS, E, M. **Fundamentos de metodologia científica**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM – Total Productive Maintenance**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

PEREIRA, M. J. **Engenharia de Manutenção - Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2011.

PRODANOV, C, C; FREITAS, E, C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2.ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SEVERINO, A, J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

STAMATIS, D.H. *The OEE Primer: understanding overall equipment effectiveness, reliability, and maintainability*. Boca Raton :CRC Press Taylor & Francis Group, 2011.

TGN Brasil. **TGN Brasil**. Disponível em: <<http://tgnbrasil.com.br/>>. Acesso em: 3 Janeiro 2017.

# FERRAMENTA COMPUTACIONAL DIDÁTICA PARA O ENSINO DO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS

Cassiano Luiz Campos Melo ([cassianoluiz25@yahoo.com.br](mailto:cassianoluiz25@yahoo.com.br))

Felipe Vieira Maciel ([felipe.maciell@ifmg.edu.br](mailto:felipe.maciell@ifmg.edu.br))

## Resumo

O ensino de análise estrutural, tratando-se da formulação matricial do Método dos Deslocamentos, é de grande importância para compreensão das metodologias computacionais de cálculo apresentados pelos programas comerciais que utilizam o Método dos Elementos Finitos. Neste trabalho, realiza-se o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para cálculo de estruturas enfatizando uma o ensino do método dos deslocamentos, pelo mesmo enfrentar muita dificuldade de compreensão por parte dos discentes. A interface entre o usuário e o programa foi estabelecida em planilhas do Microsoft Excel com o auxílio da linguagem de programação em Visual Basic for Applications (VBA). Com o objetivo de garantir o ensino e a compreensão eficaz do método, foi desenvolvida na interface, além das respostas do sistema, a demonstração dos cálculos intermediários. Observa-se ótima concordância dos resultados dos cálculos obtidos neste trabalho com os da literatura.

**Palavras-chave:** Análise de Estruturas; VBA; Software Educacional; Análise Matricial de Estruturas Reticuladas.

## Introdução

Com o avanço tecnológico, a utilização de computadores está cada vez mais difundida no âmbito educacional (JUCA, 2006), uma ferramenta que está constantemente em evolução para atender as demandas em que é aplicada, com isso softwares educacionais são desenvolvidos em diversas áreas de conhecimento. Logo, percebe-se que o uso desses softwares estão sendo trabalhados pelas instituições de ensino, tornando os recursos tecnológicos cada vez mais indispensáveis para a formação dos discentes (EMILIANO,2015).

Nos cursos de graduação em Engenharia, inclui-se a disciplina de análise estrutural e que devido à complexidade de alguns tópicos envolvidos, o uso de softwares em sala de aula se torna indispensável para a eficácia em sua compreensão. Diversos softwares comerciais envolvendo análises de estruturas podem ser destacados, tais como Altair HyperWorks, ANSYS, ABAQUS, NASTRAN e SAP. No ambiente educacional, existem softwares desenvolvidos baseados no Método dos Deslocamentos que possibilitam a análise de estruturas reticuladas lineares, não-lineares, planas e espaciais, muitas vezes com o código fonte disponibilizados gratuitamente. Dentre eles podemos citar: FTOOL, TRAME, Mastan2, VISUALBARRAS.

Para que um software seja considerado educacional, ele deve ser preferencialmente livre, permitir o desenvolvimento continuado por meio de uma documentação do código fonte, estar disponível e bem documentado (ORMONDE, 2013). Assim segundo a definição, podemos destacar o TRAME, onde foi desenvolvido um software livre com o código fonte em Delphi 4.0 documentado, e, Mastan2 que foi desenvolvido em MATLAB e tem seu código fonte disponibilizado em paralelo a publicação de um livro texto Matrix Structural Analysis, 2ª edição, por McGuire, Gallagher, e Ziemian (disponível gratuitamente para download).

Em se tratando da formulação do Método dos Deslocamentos, utilizado no desenvolvimento dos programas, os discentes enfrentam certas dificuldades em sua compreensão pois envolve teoria das estruturas, álgebra matricial e lógica de programação. Por parte do docente o desenvolvimento dos exercícios no quadro negro se torna muito exaustivo e consome enorme parte da aula, pois demanda a formulação de grandes matrizes durante a solução do problema. Os softwares educacionais disponíveis auxiliam na modelagem do problema, mas não demonstram as etapas processadas pelo método dos deslocamentos, sendo assim a utilização do quadro para a formalização das matrizes se torna necessário.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional formalizada em Visual Basic for Applications (VBA), se apresentando como um código aberto, onde a interface entre algoritmo e usuário utiliza-se a plataforma do Microsoft Excel, sendo um programa disponível na

maioria dos computadores pessoais facilitando a utilização tanto por parte do docente quanto dos discentes dentro da sala de aula. A aplicação fornece uma apresentação didática das etapas de cálculo, com representação gráfica das estruturas. Uma apostila relacionando a teoria de estruturas com o código computacional foi desenvolvida para auxiliar no ensino e servir como base para adicionais intervenções no código.

### **O Método dos Deslocamentos**

O método dos deslocamentos consiste em subdividir a estrutura em uma série de elementos finitos discretos e identificar seus pontos das extremidades como nós. As relações entre força e deslocamento dos elementos são determinadas e através da superposição as equações de equilíbrio nos nós são definidas. Essas relações são agrupadas no que é chamado de matriz de rigidez da estrutura **K**. Uma vez estabelecida, os deslocamentos nos nós são determinados e utilizam-se as relações de força-deslocamentos para determinar as forças internas da estrutura (Hibbeler, 2013).

O método consiste na solução do sistema formado pelas equações de equilíbrio nodais, que na forma matricial é dada por:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}\mathbf{D} \quad (1)$$

Onde:

**F** = Vetor de forças nodais

**K** = matriz de rigidez da estrutura

**D** = Vetor de deslocamentos nodais globais

A matriz de rigidez global não restringida é formada pela combinação das matrizes de rigidez globais dos elementos, **k**, que são formuladas em função de suas coordenadas locais **x'**, **y'** e **z'** e transformadas em coordenadas globais **x**, **y**, **z** (Hibbeler, 2013), como demonstrado nas Figuras 1a e 1b, da seguinte forma:

$$\mathbf{k} = \mathbf{T}\mathbf{k}'\mathbf{T}^T \quad (2)$$

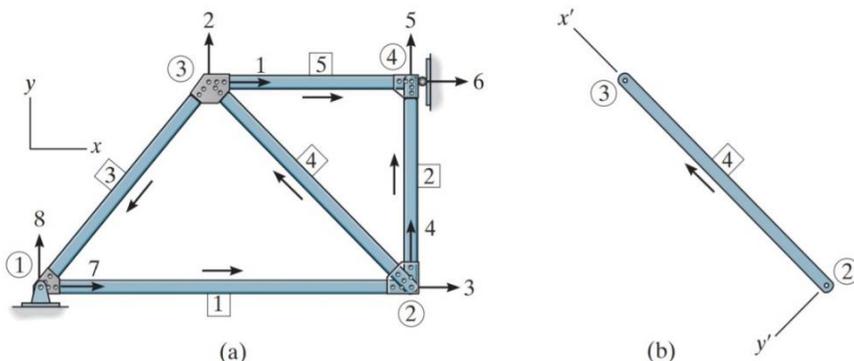
Onde:

**k'** = Matriz de rigidez local do membro

**T** = Matriz de transformação de deslocamentos

**T<sup>T</sup>** = Matriz de transformação de deslocamentos transposta

Figura 1 - Sistema de coordenadas local e global do elemento



Fonte: Hibbeler (2013).

O vetor de forças nodais equivalentes,  $\mathbf{F}$ , é formado pelas cargas externas aplicadas aos nós da estrutura subtraídos as cargas nodais dos esforços de membro dos elementos (esforços de extremidade fixa):

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{\text{ireal}} - \mathbf{F}_{i0} \quad \therefore \quad \mathbf{F}_{i0}^e = \mathbf{T}^T \mathbf{f}_{i0} \quad (3)$$

Onde:

$\mathbf{F}$  = Vetor de forças nodais

$\mathbf{F}_{\text{ireal}}$  = Vetor de forças externas aplicadas aos nós da estrutura no sistema global

$\mathbf{F}_{i0}^e$  = Vetor de forças nodais equivalentes do elemento no sistema global

$\mathbf{F}_{i0}$  = Combinação dos vetores de forças nodais equivalentes no sistema global

$\mathbf{f}_{i0}$  = Vetor de forças nodais equivalentes do elemento no sistema local

Após determinação das condições de contorno, que consiste em aplicar a técnica dos “zeros e uns” na matriz de rigidez da estrutura e no vetor de forças nodais, os deslocamentos globais são determinados. Essa técnica consiste em zerar a linha e coluna do respectivo grau de liberdade, GL, onde o deslocamento já é determinado (com restrição de deslocamento ou com recalque) e do vetor de forças nodais resultantes e colocar o valor unitário da respectiva posição da diagonal principal deste grau de liberdade. Um sistema linear, como apresentado na Equação 1, pode também ser representado matricialmente:

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & \dots & K_{1j} & K_{1(3NN)} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & K_{2j} & K_{2(3NN)} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & \dots & K_{3j} & K_{2(3NN)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{j1} & K_{j2} & K_{j3} & \dots & K_{jj} & K_{j(3NN)} \\ K_{(3NN)1} & K_{(3NN)2} & K_{(3NN)3} & \dots & K_{(3NN)j} & K_{1(3NN)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ \dots \\ D_j \\ D_{3NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \dots \\ F_j \\ F_{3NN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Suponha-se que os GLs, sendo deslocamento ou rotação, da posição “2” e “j” sejam nulos, ou seja,  $D_2 = 0$  e  $D_j = 0$ . Assim, pela técnica de “zeros e uns”, as matrizes do sistema linear ficam:

$$\begin{bmatrix} K_{11} & \boxed{0} & K_{13} & \dots & \boxed{0} & K_{1(3NN)} \\ \boxed{0} & \boxed{1} & 0 & \dots & \boxed{0} & 0 \\ K_{31} & 0 & K_{33} & \dots & 0 & K_{2(3NN)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{0} & \dots & \boxed{1} & 0 \\ K_{(3NN)1} & 0 & K_{(3NN)3} & \dots & 0 & K_{1(3NN)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ \dots \\ D_j \\ D_{3NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ 0 \\ F_3 \\ \dots \\ 0 \\ F_{3NN} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Este sistema linear restrito é agora resolvido da seguinte forma:

$$\mathbf{D} = \mathbf{K}_c^{-1} \mathbf{F}_c \quad (6)$$

Onde:

$\mathbf{K}_c$  = matriz de rigidez da estrutura com as condições de contorno (após técnica dos zeros e uns)

$\mathbf{F}_c$  = vetor de forças nodais com as condições de contorno

Determinados os deslocamentos nodais no sistema global é possível calcular os esforços internos da estrutura,  $\mathbf{q}$ :

$$\mathbf{q} = \mathbf{k}' \boldsymbol{\delta} + \mathbf{f}_{i0} \quad \therefore \quad \boldsymbol{\delta} = \mathbf{T} \mathbf{D} \quad (7)$$

Onde:

$\mathbf{q}$  = vetor de esforços internos nas extremidades do elemento no sistema local.

$\boldsymbol{\delta}$  = vetor de deslocamento nodal no sistema local

É importante destacar que o método calcula as respostas de deslocamento e força apenas em pontos nodais estabelecidos na modelagem do problema, sendo as respostas de esforço cortante, momento fletor e deslocamento ao longo do elemento determinados pelo método da superposição.

## **Metodologia**

### **Linguagem VBA**

Por definição, VBA é uma ferramenta que pode ser usada no Microsoft Excel para dar mais opções de controle e edição de uma planilha. De acordo com Bertolo (2019), o VBA atua como uma linguagem de programação à serviço do usuário, permitindo a criação de macros e a automatização de diversos processos dentro das planilhas desenvolvidas no Excel, sendo uma evolução da linguagem BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), criada com fins didáticos, pelos professores John George Kemeny, Thomas Eugene Kurtz e Mary Kenneth Keller em 1964 no Dartmouth College.

A solução de um problema utilizando o Método dos Deslocamentos necessita de manipulações matemáticas dinâmicas e armazenamento sequencial dos dados adquiridos. A plataforma do Microsoft Excel é muito eficiente para manipulações matemáticas, permitindo o usuário criar planilhas dinâmicas e ressaltando dados específicos, mas quando se necessita a resolução dos cálculos repetidamente e armazenamento dos dados, os chamados loops em programação, se torna um programa ineficiente, mas em VBA é um comando comum e de fácil caracterização. Portanto a associação entre as plataformas se torna ideal para a caracterização do método.

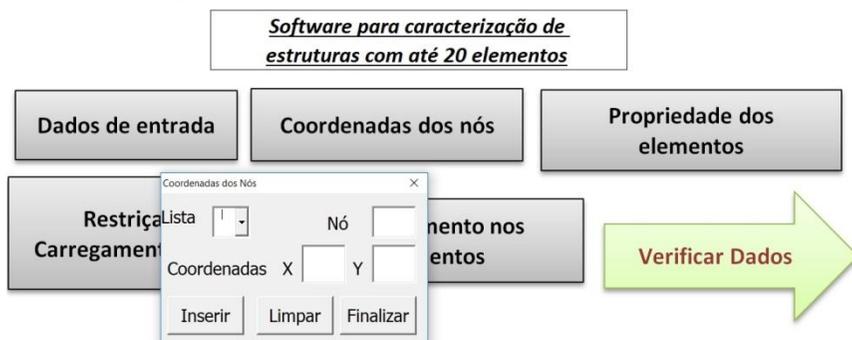
### **Implementação computacional**

De acordo com Soriano (2009) todo programa de cálculo baseado no método dos deslocamentos é dividido em três partes principais. O pré-processamento que é a parte destinada a entrada de dados para geração do modelo discreto do problema. Nela são determinadas as propriedades dos elementos, a geometria do problema, forças atuantes e condições de contorno. O processamento que realiza o cálculo propriamente dito. Ela é geralmente oculta ao usuário nos softwares educacionais e é disponibilizada para visualização no presente trabalho. O pós-processamento que prepara as soluções nodais, com o objetivo de apresentar de forma gráfica a estrutura deformada e em forma de relatório e gráficos os resultados.

## Pré-processamento

Estabeleceu-se a plataforma do Excel como a interface gráfica do programa. Nela a entrada de dados referentes à estrutura em análise, a caracterização de cada etapa de cálculo e as soluções geradas pelo método, foram inseridas e demonstradas dentro de oito planilhas do ambiente gráfico do software.

Figura 2 – Visualização da planilha de entrada de dados

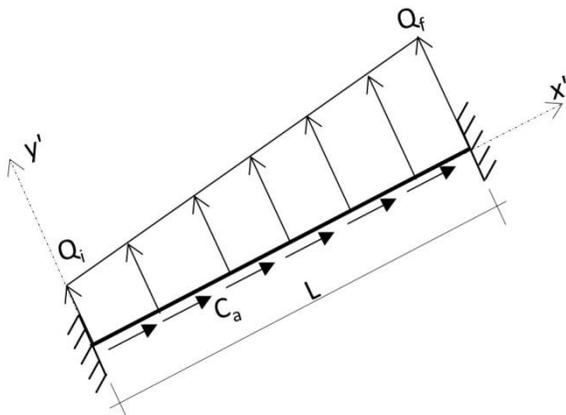


Fonte: Autores.

A etapa de pré-processamento é caracterizada com a entrada de dados necessários para o desenvolvimento do programa. O formulário principal para entrada de dados da estrutura é apresentado na Figura 2, sendo a primeira parte da interação do usuário. A partir dos links alocados nessa planilha são disponibilizados formulários específicos, dos quais solicitará ao usuário dados necessários para a efetivação e apresentação do método dos deslocamentos.

Acessando os links é solicitado ao usuário as características da estrutura, tais como: o número de elementos, o número de nós, carregamentos, coordenadas e restrições nodais. Em relação às propriedades dos elementos são solicitados: nó inicial, nó final, módulo de elasticidade, momento de inércia e área da seção transversal. Nesta etapa é possível também determinar o carregamento no elemento que terão as características ilustradas na Figura 3 a seguir, ou seja, é possível determinar um carregamento distribuído axial ( $C_a$ ) e um carregamento trapezoidal transversal ( $Q_i$  e  $Q_f$ ).

Figura 3 - Configuração de carregamento no membro



Fonte: Autores.

Após a finalização do preenchimento dos formulários específicos, o programa estará apto a realizar as operações necessárias. Para verificar os dados inseridos o usuário deverá acessar o link “Verificar dados”, o acesso disponibilizará todos os dados inseridos dentro de uma planilha. Caso os dados estejam corretos o botão **Atualizar** efetuará o comando ao programa para executar código do algoritmo, caso necessite de alguma correção o usuário poderá voltar à planilha de entrada de dados e fazer as modificações necessárias.

### Processamento

O processamento, ou funções de processamento, deverá ser responsável por analisar os dados do pré-processamento da estrutura e armazenar as informações dos resultados. A estratégia numérica generalizada para análise linear estática do método dos deslocamentos, descrito anteriormente no artigo, é apresentada na tabela a seguir:

Tabela 1 – Estratégia numérica generalizada para análise linear estática do método dos deslocamentos

1. Entrada de dados: coordenadas dos nós **coord**, incidência dos elementos  $i_{ele}$  (determinação do nó inicial e final), área da seção transversal **A**, módulo de elasticidade **E**, forças de membro **f<sub>m</sub>**, forças nodais externas **F<sub>ireal</sub>**, condições de contorno **C<sub>0</sub>**.
2. Cálculo das matrizes de rigidez local do elemento **k'**, matrizes de rotação **T**, matriz de rigidez global do elemento **k**, vetor de forças nodais equivalente no sistema local **f<sub>10</sub>** (reações de extremidade fixa), vetor de forças nodais equivalente no sistema global **F<sub>10</sub><sup>e</sup>**.
3. Monta-se a matriz de rigidez global da estrutura: **K**
4. Monta-se o vetor de forças nodais da estrutura: **F = F<sub>ireal</sub> - F<sub>10</sub>**
5. Aplica-se a técnica de zeros e uns, determinando **K<sub>c</sub>** e **F<sub>c</sub>**
6. Resolve-se o sistema: **D=K<sub>c</sub><sup>-1</sup>F<sub>c</sub>**
7. Determinam-se os deslocamentos nodais no sistema local de cada elemento: **δ = TD**
8. Determinam-se as cargas internas no sistema local de cada elemento: **q = k'δ + f<sub>10</sub>**
9. FIM

Nesta etapa foram implementados ambientes didáticos do programa (planilhas da Pasta de Trabalho do Excel) para visualização dos: cálculos realizados para a criação das matrizes de rigidez dos elementos, no sistema local e global, que consiste nos cálculos dos cossenos diretores, matrizes de rotação e matriz de rigidez do elemento; incidência dos coeficientes de rigidez dos membros para criação da matriz de rigidez global da estrutura; matriz de rigidez global e vetores de força com as condições de contorno aplicadas após técnica dos “zeros e uns”; vetores de deslocamento global, cálculos dos deslocamentos e cargas internas do elemento no sistema local.

Um ambiente importante do programa é a visualização da montagem dos coeficientes de rigidez  $k_{ij}$  de cada elemento na matriz de rigidez global da estrutura. O termo  $k_{ij}$  refere-se ao coeficiente de rigidez do elemento na linha “i” e coluna “j” que são relacionadas as linhas e colunas da matriz **K** em função no número de nó inicial e final de cada elemento. Quando dois elementos são conectados ao mesmo nó, os mesmos terão coeficientes que estarão na mesma posição na matriz de rigidez **K**, sendo necessário somar algebricamente seus valores. A incidência dos coeficientes de cada elemento na matriz **K** pode ser verificada pelo usuário através de cores diferenciadas dentro da matriz da estrutura, sendo cada cor correspondente aos coeficientes de um elemento. Quando a cor apresentada é vermelha significa que a matriz nesse ponto está somando algebricamente coeficientes de 2 ou mais elementos, enumerados por um comentário atribuído a célula em questão, Figura 4.

Figura 4 -Ilustração do coeficiente de rigidez  $K_{46}$  da matriz de rigidez global sendo formado pela soma dos coeficientes  $k_{13}$  do elemento 2 e  $k_{46}$  do elemento 1

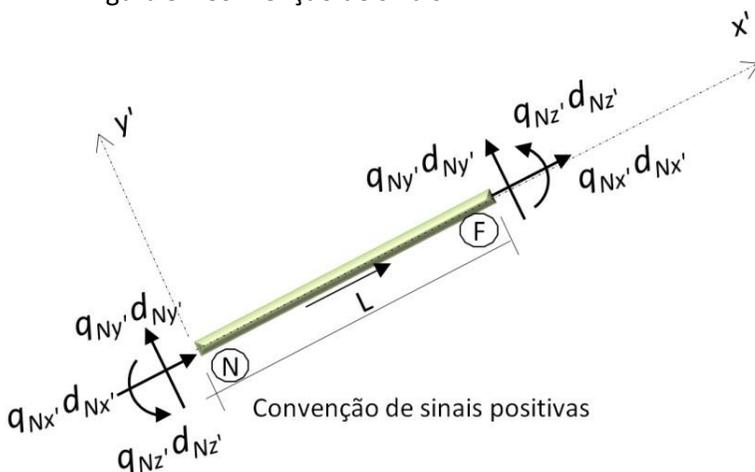
Matriz de Rigidez da Estrutura								
Elemento1	Elemento2	Multiplos						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
128460,8	95385,6	-2880	-128461	-95385,6	-2880	0	0	0
95385,6	72819,2	3840	-95385,6	-72819,2	3840	0	0	0
-2880	3840	24000	2880	-3840	12000	0	0	0
-128460,8	-95385,6	2880	378460,8	95385,6	2880	2k <sub>13</sub> +1k <sub>46</sub>		0
-95385,6	-72819,2	-3840	95385,6	75319,2	3660			7500
-2880	3840	12000	2880	3660	54000			15000
0	0	0	-250000	0	0			0
0	0	0	0	-2500	-7500	0	2500	-7500
0	0	0	0	7500	15000	0	-7500	30000

Fonte: Autores.

### Pós-processamento

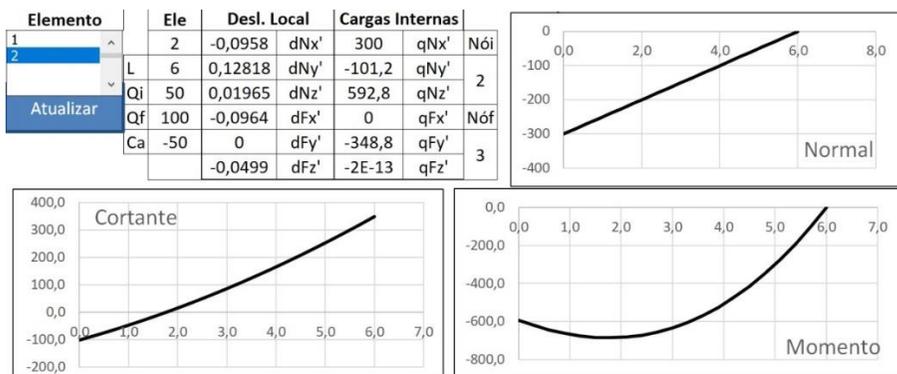
Seguindo o método e aplicando os conceitos de álgebra matricial (equação 7), é possível calcular os esforços internos e os deslocamentos locais nos nós do elemento. As respostas obedecem a convenção de sinais ilustrada na Figura 5. Estes resultados juntamente com os diagramas de esforço normal, esforço cortante e momento fletor são apresentadas em uma aba específica na interface do programa como ilustrado na Figura 6.

Figura 5 - Convenção de sinais.



Fonte: Autores.

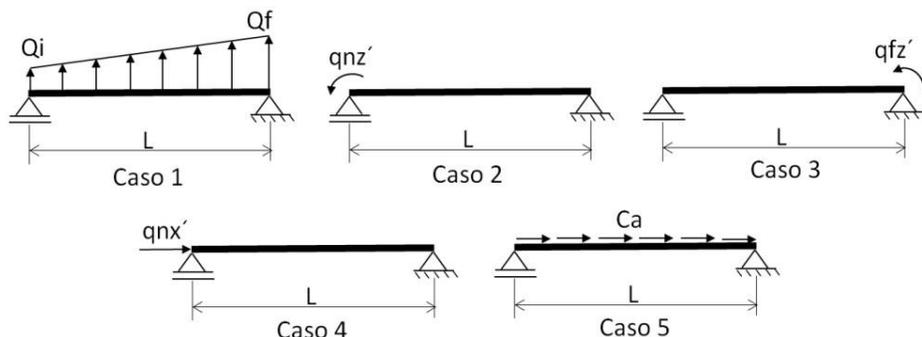
Figura 6 - Planilha de visualização das respostas do elemento



Fonte: Autores.

Estes gráficos foram construídos pelo método da superposição (Hibbeler, 2013). O método consiste tratar o elemento como uma viga bi-apoiada e somar algebricamente os resultados desejados de cada uma das cargas atuantes no elemento separadamente (carga distribuídas ao longo do membro, momentos atuantes nos nós das extremidades, força normal e carga distribuída axialmente, como ilustrado na Figura 7:

Figura 7 – Casos de superposição de carregamentos para determinação das cargas internas



Fonte: Autores.

A equação do esforço cortante em um elemento, após a superposição dos casos 1 ao 3 é dada por:

$$V(x') = Q_i \left( x' - \frac{L}{2} \right) + (Q_f - Q_i) \left( \frac{x'^2}{2L} - \frac{L}{6} \right) + \frac{q_{nz'}}{L} + \frac{q_{fz'}}{L} \quad (8)$$

A equação do momento fletor atuante no elemento, após a superposição dos casos 1 ao 3 é dada por:

$$M(x') = Q_i \left( \frac{x'^2}{2} - \frac{Lx'}{2} \right) + (Q_f - Q_i) \left( \frac{x'^3}{6L} - \frac{Lx'}{6} \right) + q_{nz} \left( \frac{x'}{L} - 1 \right) + q_{fz} \frac{x'}{L} \quad (9)$$

Onde:

$x'$  = distância até o nó inicial do elemento

$q_{nz}$  = momento atuante no nó inicial do elemento

$q_{fz}$  = momento atuante no nó final do elemento

$L$  = comprimento do elemento

$Q_i$  = Carga cortante no nó inicial do elemento

$Q_f$  = Carga cortante no nó final do elemento

Como a teoria de viga utilizada no modelo matemático é a de Euler Bernouli, as cargas normais ao comprimento da viga não modificam o comprimento, assim ao superpor os casos 4 e 5, temos a equação do esforço normal no elemento:

$$N(x') = -q_{nx'} - C_a x' \quad (10)$$

Onde:

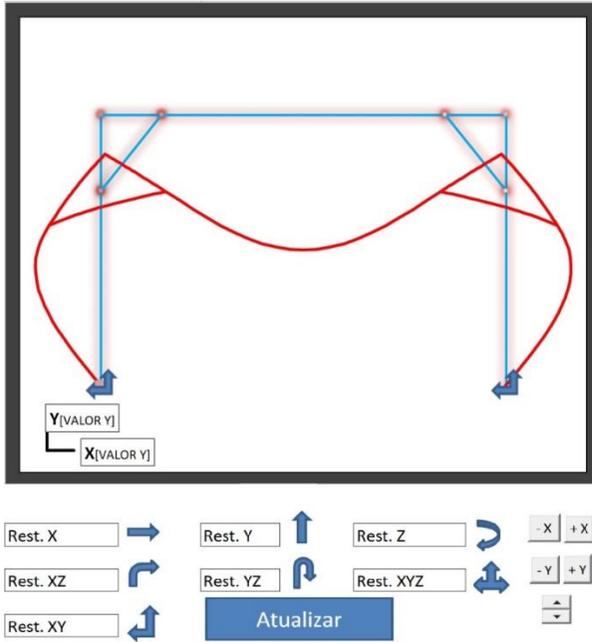
$x'$  = distância até o nó inicial do elemento

$q_{nx'}$  = Carga axial nó inicial do elemento

$C_a$  = Carregamento axial ao longo do elemento

No intuito de enfatizar o didatismo do programa é apresentado na interface o esboço da estrutura. O usuário poderá verificar o perfil estabelecido da estrutura não deformada, em azul, e da estrutura deformada após as solicitações impostas a ela, em vermelho (a escala das deformações é determinada pelo usuário). São também caracterizadas as restrições da estrutura, indicadas pelas setas nos pontos restringidos como ilustrado na Figura 8. Para melhor visualização o usuário se disponibilizará de “zoom”, movimentações da estrutura no plano cartesiano, localizados ao lado esquerdo do esboço. Para a criação de todos os gráficos das respostas foi utilizado os gráficos de dispersão de linhas retas do Excel.

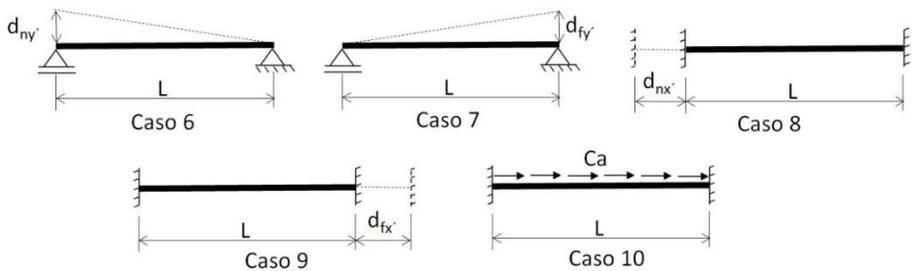
Figura 8 - Exemplo de visualização da estrutura deformada e indeformada



Fonte: Autores.

Para representar graficamente a deformação da estrutura, primeiro é necessário determinar os deslocamentos no sistema local do elemento. Visto que as repostas do método dos deslocamentos são dadas apenas nos nós do elemento, é necessária uma superposição dos deslocamentos gerados no elemento em diversos casos de deslocamento e carga, ilustrados na Figura 9, além dos casos da figura 7:

Figura 9 – Casos de superposição de carregamentos e deslocamentos para determinação das deformações



Fonte: Autores.

A equação da linha elástica, que determina o deslocamento em relação ao eixo  $y'$  é dada após a superposição dos casos 1 ao 3, 6 e 7, é:

$$\vartheta(x') = \frac{Q_i x'}{24EI} (L^3 - 2Lx'^2 + x'^3) + \frac{(Q_f - Q_i)x'}{360LEI} (7L^4 - 10L^2x'^2 + 3x'^4) + d_{ny'} \left(1 - \frac{x'}{L}\right) + \frac{d_{fy'}x'}{L} + \frac{q_{nz'}x'}{6EI} \left(2L - 3x' + \frac{x'^2}{L}\right) + \frac{q_{fz'}}{6EI} \left(\frac{x'^3}{L} - x'L\right) \quad (11)$$

Onde:

$d_{nz}$  = recalque atuante no nó inicial do elemento

$d_{fz}$  = recalque atuante no nó final do elemento

$E$  = módulo de elasticidade do elemento

$I$  = momento de inércia do elemento

O deslocamento em relação ao eixo  $x'$ , ou seja, deslocamento axial do elemento é dada pela superposição dos casos 8 ao 10:

$$\delta(x') = d_{ny'} \left(1 - \frac{x'}{L}\right) + \frac{d_{fy'}x'}{L} + \frac{C_a(Lx' - x'^2)}{2AE} \quad (12)$$

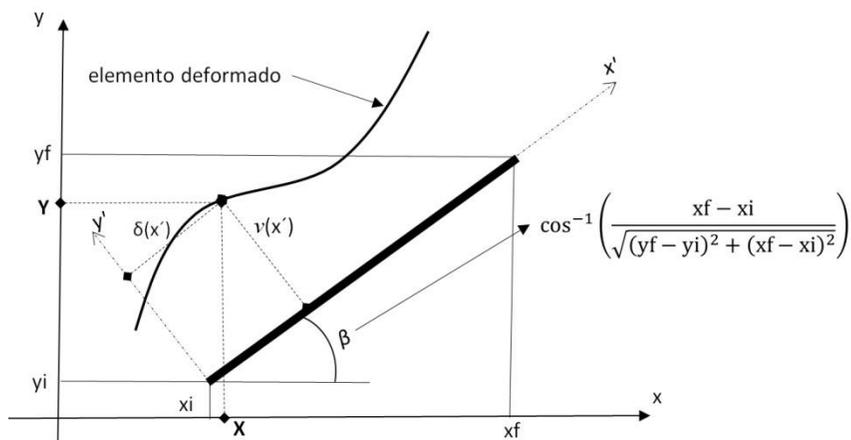
Onde:

$A$  = área da secção transversal do elemento

$C_a$  = Carregamento axial ao longo do elemento

Determinados os deslocamentos finais dos elementos no sistema de coordenada local, é necessário transformar os deslocamentos locais  $x'$  e  $y'$  em deslocamentos no sistema de coordenadas global  $x$  e  $y$ . Essa transformação é realizada com as equações 13 e 14, que representam as coordenadas globais dos elementos deformados, sendo a coordenada  $X$  e coordenada  $Y$  respectivamente. É necessário determinar a posição do elemento no sistema global e o ângulo formado pelo eixo  $x'$  local e o eixo  $x$  global, como ilustrado na figura 10.

Figura 10 – Projeção do elemento deformado



Fonte: Autores.

$$X = x_i + \cos \beta [x' + \gamma \cdot \delta(x')] - \gamma \cdot \vartheta(x') \cdot \sin \beta \quad (13)$$

$$Y = y_i + \sin \beta [x' + \gamma \cdot \delta(x')] - \gamma \cdot \vartheta(x') \cdot \cos \beta \quad (14)$$

Onde:

$X$  = coordenada global  $x$  de um elemento deformado no sistema global

$Y$  = coordenada global  $y$  de um elemento deformado no sistema global

$x_i$  = coordenada  $x$  do nó inicial do elemento

$y_i$  = coordenada  $y$  do nó inicial do elemento

$\beta$  = ângulo formado entre eixo  $x'$  local e eixo  $x$  global

$\gamma$  = fator de ampliação da estrutura deformada

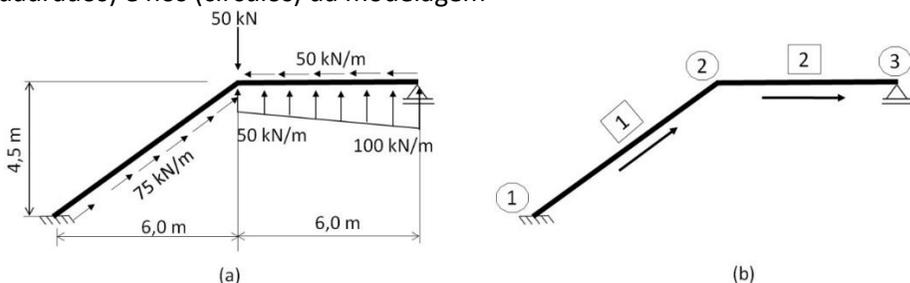
## Resultados

A utilização da ferramenta didática para ensino do método dos ainda não foi realizada até a presente data. Dessa forma, ainda não é possível relatar eficiência da ferramenta em sala de aula. É importante, todavia, destacar a grande evolução no aprendizado na disciplina em questão (análise matricial computacional) que o aluno de iniciação científica apresentou ao elaborar a ferramenta proposta, sobretudo sendo um software voltado ao ensino.

Para averiguar as respostas dos cálculos apresentados pelo presente trabalho foi efetuado uma análise de um problema estrutural, ilustrado na Figura 11a, e os resultados foram confrontados com os resultados obtidos pelo Software FTOOL. Observe que o pórtico em análise apresenta um apoio de 3°

gênero a esquerda (nó 1) e um de 1° gênero a direita (nó 2). A barra inclinada (elemento 1) está sujeita a um carregamento distribuído axialmente no valor de 75 kN/m no sentido da barra horizontal (elemento 2); possui área de seção transversal  $9,0 \text{ E-3 m}^2$  e momento de inércia  $4,5 \text{ E-4 m}^4$ . A barra horizontal está sujeita a um carregamento trapezoidal positivo com valor inicial de 50 kN/m e final de 100 kN/m; um carregamento distribuído axialmente no valor de 50 kN/m no sentido negativo global; área de seção transversal  $7,5 \text{ E-3 m}^2$  e momento de inércia  $2,25 \text{ E-4 m}^4$ . Ambos elementos do pórtico possuem módulo de Elasticidade igual a 200 GPa. Um carregamento concentrado de 50 kN no sentido vertical negativo está atuando no nó 2 que une os dois elementos.

Figura 11 - Pórtico analisado: (a) problema real; (b) Elementos (quadrados) e nós (círculos) da modelagem



Fonte: Autores.

A modelagem do problema foi realizada com 3 nós e 2 elementos e seus sentidos vistos na Figura 11b. Todos dados de entrada utilizados na ferramenta computacional estão apresentados na Figura 12 da mesma forma que é visualizada na ferramenta computacional elaborada neste trabalho. Nela se verifica as propriedades dos elementos, geometria e carregamentos considerados na análise.

Figura 12: Dados de entrada

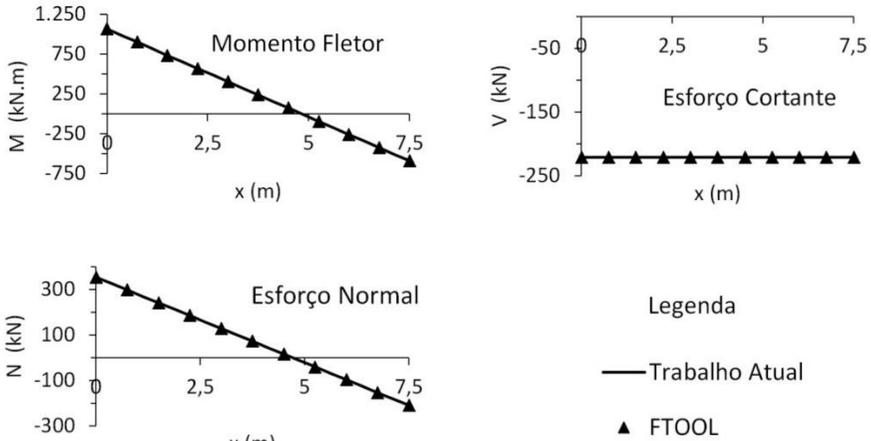
Nós	Coord.		Carga Nodal			Restrição			Elem	Propriedade					Carr. Elemento		
	x	y	Fx	Fy	Mz	Dx	Dy	Rz		Nó inicial	Nó final	Área	I	E	Qi	Qf	Ca
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0,009	4,50E-04	2E+08	0	0	75
2	6	4,5	0	-50	0	0	0	0	2	2	3	0,0075	2,25E-04	2E+08	50	100	-50
3	12	4,5	0	0	0	0	0	1	0								

Fonte: Autores.

Os resultados dos carregamentos internos e deformação da estrutura foram idênticos os obtidos no software FTOOL. Após várias análises como esta apresentada o software está apto a resolver vários tipos de problemas de pórticos planos simples. A Figura 13 e 14 apresentam os resultados dos diagramas de esforço cortante, momento fletor e esforço normal dos elementos 1 e 2 do

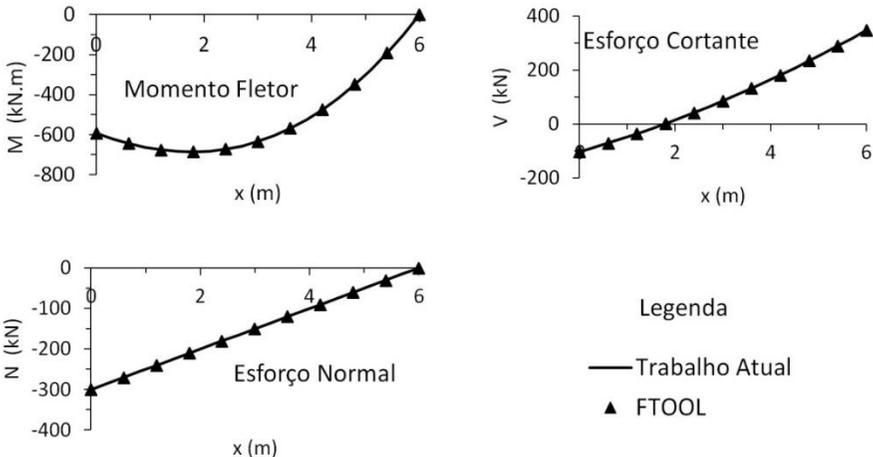
problema analisado. Nela podemos perceber ótica convergência dos valores obtido no presente trabalho comparando com a literatura. A Figura 15 apresenta graficamente a estrutura deformada, onde os valores de deslocamento foram multiplicados em 10 vezes para melhor visualização dos resultados.

Figura 13 - Diagramas de esforço cortante, momento fletor e normal do elemento 1



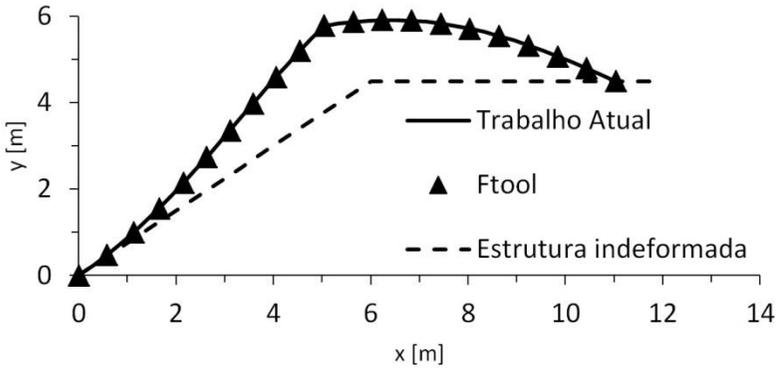
Fonte: Autores

Figura 14 - Diagramas de esforço cortante, momento fletor e normal do elemento 2



Fonte: Autores.

Figura 15: Estrutura deformada (ampliada em 10 vezes)



Fonte: Autores.

### Conclusão

O presente trabalho desenvolveu com sucesso um software de cálculo de estruturas porticadas 2D em uma Pasta do Microsoft Excel. Seus resultados foram comparados com a literatura demonstrando ser um software confiável para ser utilizado pelos discentes em atividades dos cursos de graduação. O mesmo atendeu aos requisitos referentes ao didatismo para aplicação do método, uma vez que a demonstração de cada etapa de cálculo foi apresentada de forma clara pela referência em figuras e gráficos. Tal condição estabeleceu também o diferencial para os softwares de aplicação do método disponíveis, dos quais apresentam em sua maioria apenas os dados de resposta. Porém, é importante como educador sempre incentivar o uso em sala de aula de diversos softwares e metodologias em paralelo para solução de problemas, principalmente em cursos de engenharia. Isso reforça o método estudado tratando-o de formas variadas, levando ao discente o maior domínio do assunto e também o prepara para o mercado de trabalho onde possivelmente terá contato com diferentes softwares ao longo de sua carreira.

Com a formalização do código aberto ressalta-se a possibilidade de desenvolvimentos posteriores tais como: implementação de recalques nos apoios da estrutura; aplicação dos efeitos de temperatura e demonstração das solicitações imposta à estrutura no esboço da mesma. Uma alternativa possível é mudar a plataforma utilizada para planilhas eletrônicas armazenadas em nuvens, tais como o Google Planilhas, pois o mesmo facilita a interação entre educador e discente na modificação e utilização dos softwares.

## Referências

CHAMBERLAIN, Zacarias; PASQUETTI, Eduardo. Visual Barras: Um programa para o ensino de análise matricial de estruturas. **Revista do CRICTE, CDROM**, Rio Grande - RS, 2000.

EMILIANO, Maxuel. O uso de softwares educacionais para o ensino de matemática na educação superior: Relato de uma experiência de Pesquisa. **Colóquio internacional de pesquisa em educação superior**, Paraíba, 2015.

HIBBLER, R. C. **Análise de estruturas**. 8ª. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

JUCÁ, Sandro. A relevância de softwares educativos para a educação profissional. **Ciências & Cognição**, Fortaleza, 2006.

ROVERE, Hanriette; SCHNEIDER, Alizeu. ANEST - Programa educacional para análises de estruturas reticuladas. **XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – NCE**. Florianópolis, 2003.

ORMONDE, Paulo. **Software Educacional Livre para análise não linear de pórticos planos em estruturas metálicas**. (Dissertação mestrado). UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, São Carlos: 2013.

RODRIGUES, Amilton; DRUMOND, Paula. Desenvolvimento de um software para análise estrutural de sistemas reticulados espaciais usando o método dos deslocamentos. **Exacta**, São Paulo, vol. 10, núm. 3, 2012, pp. 309-324.

TOLEDO, Bruno. **O uso de softwares como ferramenta de ensino-aprendizagem na educação do ensino médio/técnico no Instituto Federal de Minas Gerais**. (Dissertação mestrado). Universidade FUMEC. Belo Horizonte: 2015.

BERTOLO. **Notas de aula**. Disponível em: <http://www.bertolo.pro.br/FinEst/TutoriaisVBA/ApresentacaoSobreVBA.pdf>. Acesso em 26/09/2019.

ZIEMIAN, Ronald; MCGUIRE, Willian. **Software Mastan2**. Disponível em: <http://www.mastan2.com>. Acesso em 26/09/2019.

# Parametrização do chassi estrutural tipo BAJA-SAE

João Pedro Silveira Barros (joaopedrosilveira48@gmail.com)

Lincow César Corrêa Silva (lincowcorrea@gmail.com)

Felipe Vieira Maciel (felipe.maciel@ifmg.edu.br)

## Resumo

Nesse artigo mostramos como construímos uma planilha eletrônica para verificar as principais condições imposta pelo Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL – RATBSB de forma parametrizada. Com isso, é possível gerar um código dentro da mesma planilha, contendo o algoritmo capaz de realizar a análise pelo método dos elementos finitos utilizando o Software ANSYS Mechanical APDL. Também foi realizada uma análise de convergência para determinar a quantidade de elementos utilizados durante o ensaio, com esse valor aplicado ao código, realizaram-se as análises no Software e obtivemos os resultados de Tensão máxima de Von Mises e o deslocamento máximo da estrutura devido a um impacto frontal.

**Palavras-chave:** MEF, ANSYS APDL, BEAM188.

## Introdução

O programa Baja SAE foi criado nos Estados Unidos, Universidade da Carolina do Sul, e a primeira competição o envolvendo ocorreu em 1976. No Brasil, a primeira competição ocorreu em 1994, após início das atividades da SAE BRASIL em 1991. O programa Baja SAE BRASIL consiste em um desafio lançado aos estudantes de Engenharia, no qual é necessário que projetem e construam um veículo monoposto, fora-de-estrada, esportivo, cuja estrutura contenha o condutor. O objetivo de cada equipe é ter seu projeto aceito por um fabricante fictício que visa comercializar o veículo a um público entusiasta e não profissional. O projeto do veículo deve levar em conta uma produção de até 4 mil unidades por ano, sendo necessário desenvolver planos de fabricação, venda, marketing e distribuição. O sucesso dos carros, medido através de provas da competição, irá demonstrar a qualidade em manobrabilidade, ergonomia, robustez em terreno acidentado e condições fora-de-estrada. Um fator muito interessante que estimula a participação dos alunos é que as equipes vencedoras são convidadas a participar da competição internacional, nos Estados Unidos.

O presente trabalho relata o início do projeto de dimensionamento do chassi tubular do veículo Baja SAE da Equipe BAJAÇO, formada por alunos da Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Congonhas*. Diversos artigos que realizam análise estrutural da gaiola do veículo Baja SAE utilizam MEF, tais como (OWENS ET AL,2006; SAINI ET AL,2018; SELMER ET AL, 2017; Abhinav, 2014), porém nenhum deles cita uma metodologia paramétrica de checagem das condições geométricas. Em OTURKAR E GUJARATHI (2013) somente o modelamento em elementos finitos da estrutura foi parametrizado utilizando ANSYS APDL. Já em DEVI E DILIP (2014) foi realizado um estudo paramétrico para determinar a geometria da gaiola em função dos parâmetros de projeto, porém não foi especificado o algoritmo e o software utilizado.

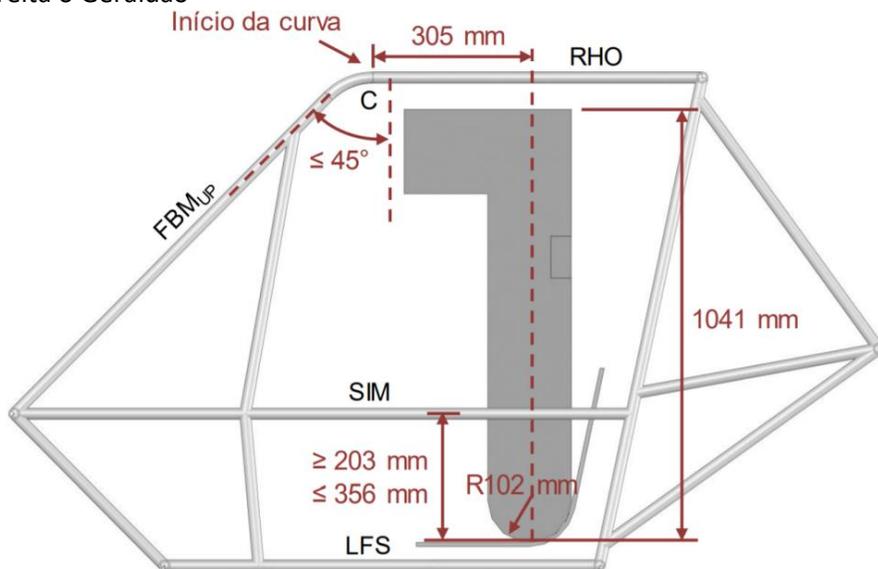
A determinação da geometria da gaiola é um processo iterativo que depende das normas da competição, cálculo estrutural, cálculos dinâmicos (força de frenagem, distribuição de peso, aceleração) e geometria de direção. Devido à complexidade, é de fundamental importância gerar um algoritmo que analise a geometria da gaiola escolhida atende primeiramente o regulamento da competição, reduzindo drasticamente o tempo no dimensionamento da gaiola. Para a verificação das normas do projeto e geração de arquivos paramétricos para análise estrutural do chassi, pelo Métodos dos Elementos Finitos (MEF) por meio do *ANSYS Mechanical APDL*, foi utilizado o software Microsoft Excel juntamente com o Visual Basic for Applications (VBA).

## Dimensionamento do chassi

Chassis automotivos podem ter diferentes características de fabricação (monobloco, carroceria sobre chassis, tubular e monocoque) e estão sujeitos a cargas internas (passageiros, bagagem e as forças de reação da suspensão do sistema de potência do veículo) e externas (interação piso e pneu e forças aerodinâmicas), segundo referência clássica BOSH (2004) e algumas mais atuais como GENTA e MORELLO (2009) e BROWN et al (2002).

O veículo Baja SAE é formado por um chassi monobloco tubular, onde a carroceria não tem papel estrutural. Sua geometria básica é definida pelo RATBSB. Nela temos restrições tanto das dimensões gerais do veículo, como a largura máxima de 1,62m no ponto mais largo (item B1.2 do RATBSB) e nos comprimentos e ângulos de certos membros da gaiola. Na competição utiliza-se um gabarito chamado de Geraldão para garantir que algumas das dimensões e distâncias predeterminadas estão dentro do padrão, como podemos ver à direita na Figura 1.

Figura 1- Exemplos limitações das dimensões segundo a RATBSB, a direita o Geraldão



Fonte: Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB) 2018.

As condições de dimensionamento da estrutura estão aliadas a rigidez e capacidade de absorver impactos frontal, lateral e superior (capotagem). Existem referências para as cargas a serem aplicadas para simular essas condições

de carregamento dinâmico em uma análise estática, como visto em (BARBOSA, 2015; SAINI ET AL, 2018, SELMER ET AL, 2017). Visto que o veículo deve suportar impactos, é de extrema importância realizar análises transientes que, por considerarem as cargas inerciais, podem diferenciar reais posições e valores de alta tensão do veículo como relatado por em ABHINAV (2014). Em

OWENS et al (2006), realizou-se uma validação completa do dimensionamento da gaiola contemplando análise experimental da rigidez torcional, frequência de vibração e resposta ao impacto transiente ao se utilizar dados de uma célula de carga acoplada à suspensão. Já em BARBOSA (2015), é descrito de forma detalhada o experimento para determinação da rigidez torcional para validação do modelo numérico.

De acordo com o RATBSB, o material dos membros primários da gaiola deve ser no mínimo aço com 0,18% de carbono, diâmetro externo de 25,4mm e parede de 3,05mm. Os membros secundários devem ter parede mínima de 0,89mm. É possível utilizar diferentes materiais e dimensões dos membros desde que ele apresente rigidez flexural e resistência ao momento maiores que o membro de referência. Conforme o item B6.3.3.2.5 do regulamento, a rigidez à flexão é proporcional a

$$E * I \quad (1)$$

onde E é o módulo de elasticidade (205 GPa para qualquer aço) e I o momento de inércia de área da seção transversal do membro. Já no item B6.3.3.2.6 da norma, a resistência a flexão é dada por

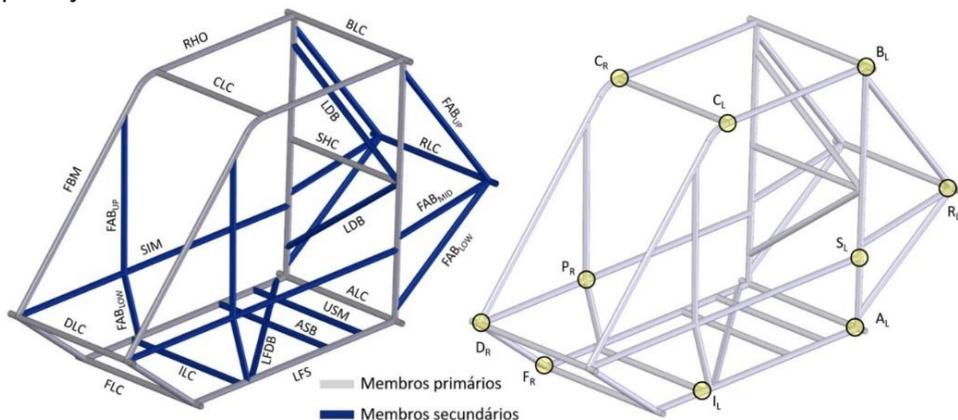
$$\frac{S_y * I}{c} \quad (2)$$

onde  $S_y$  é a tensão de escoamento (para SAE 1018 considerar  $S_y = 370\text{MPa}$ ) e c é a distância da linha neutra até a extremidade da fibra mais externa.

### **Parametrização e análise numérica**

Na Figura 2 ilustram-se os nomes das barras e pontos denominados que são utilizados como referência para a determinação geométrica da gaiola de proteção do RATBSB. São determinadas dessa forma, várias condições de dimensão máxima e mínima de barras, ângulos entre elementos, distâncias entre barras e pontos e o condutor. Juntamente com dimensões globais da estrutura, como largura e ergonomia do motorista.

Figura 2 – Membros e Pontos chave denominados da gaiola de proteção



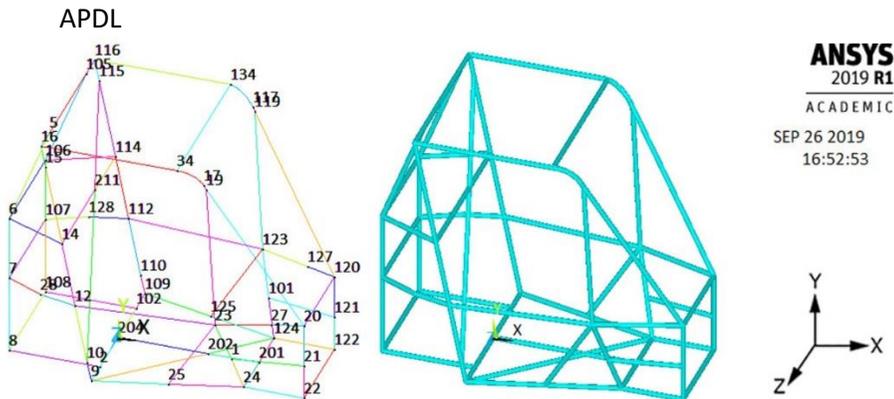
Fonte: Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB) 2018.

A geometria da gaiola de proteção será representada por linhas que passam pelo centróide da seção transversal das barras tubulares que a formam. Essas linhas são geradas após se determinar seus *keypoints* (pontos de referência geométrica). Cada linha é formada por dois *keypoints* e linhas unidas por um vértice compartilham um. Note que ao alterar a posição geométrica de um ponto chave localizado em um vértice, automaticamente temos a alteração no comprimento das barras ligadas nesse ponto em comum.

Utilizando-se equações básicas da geometria analítica pode-se verificar por meio de um algoritmo se a geometria da estrutura está dentro das restrições impostas pelo regulamento. Caso a estrutura atenda a restrições ela estará apta a ser modelada pelo MEF e ter calculadas suas tensões equivalentes nas diversas condições de carregamento, rigidez torcional e centro de massa.

O modelo MEF da gaiola terá sua malha de elementos finitos gerada tendo como referência a geometria de linhas e *keypoints*. Na Figura 3 a esquerda, podemos ver um exemplo de geometria da gaiola onde os números identificam seus *keypoints* e ao lado direito sua discretização em elementos de viga, BEAM188. O modelo apresentado foi elaborado pelo setor de Chassi da equipe BAJAÇO. É importante enfatizar que a linguagem de programação do ANSYS APDL é a ferramenta ideal para que se possa automatizar o design da gaiola e fazer a análise em MEF das diferentes configurações. O código é escrito em um arquivo (ASCII) e posteriormente é carregado no ambiente do software.

Figura 3 – Geometria e malha de elementos finitos no ANSYS



Fonte: Autores.

## Metodologia

### *Verificação e visualização da geometria*

A partir de uma referência geométrica inicial, retirado do RATBSB (SAE,2018) como ilustrado na Figura 2, determinou-se as coordenadas de todos os *keypoints* do chassi estrutural. Definiu-se que toda estrutura iria se modificar em relação a barra X e o veículo tem sua dianteira voltada para o eixo X positivo sendo simétrico em relação ao plano *xy* como ilustrado na Figura 2. Sabendo que para se determinar a posição de cada ponto no espaço são necessárias três coordenadas (*x*, *y*, *z*), analisaram-se então, em função do regulamento, relações de dependência entre os *keypoints*. Constatou-se que dos 109 *keypoints*, com seus 327 graus de liberdade, apenas 38 são independentes. Essas relações foram inseridas na planilha do Excel com 327 células contendo as coordenadas, das quais apenas 38 são editáveis.

Figura 4 - Tabela de Keypoints

	A	B	C	D	E	F
1						
2		Descrição	Numero	X	Y	Z
3			1	0,633	0,180	0,281
4			2	0,000	0,000	0,270
5			3	-0,253	0,200	0,339
6			5	-0,250	1,240	0,270
7		R	6	-0,450	0,730	0,270
8			7	-0,450	0,400	0,270

	Célula Editável
	Célula Dependente
	Resultado de uma equação

Fonte: Autores.

A Figura 4 ilustra a tabela de coordenadas da planilha “Keypoints”. Nesta tabela os campos de coordenadas em branco são os campos editáveis da geometria. Devido a simetria do veículo estes campos editáveis representam apenas o lado direito do carro, coordenadas *z* positivas. Estes *keypoints* foram numerado de 1 a 99. Os *keypoints* relativos ao lado esquerdo do veículo são numerados de 101 a 199. Dessa forma, o *keypoint* 105 teria suas coordenadas *x*, e *y* iguais ao ponto 5 e a coordenada *z* de igual módulo, porém com sinal invertido ao *keypoint* 5. Os pontos assimétricos na estrutura devido a barras de contraventamento são numerados de 201 a 299. Entre os *keypoints* gerados na planilha estão presentes pontos não enumerados pelo regulamento, que foram necessários para determinação correta da geometria.

Para determinar as linhas que unem os *keypoints* uma nova planilha “Barras” é adicionada ao arquivo Excel, Figura 5. Nesta planilha foi programado um sistema de endereçamento, que após a definição dos *keypoints* inicial e final de cada barra, utilizou-se da função PROCV para buscar na planilha “Keypoints” suas perspectivas coordenadas. As equações 1 a 7 realizam a busca automática e calculam o tamanho de cada barra do veículo.

Figura 5 - Tabela de barras

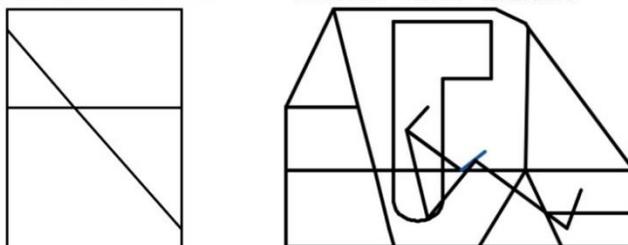
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1								Início			Fim		
2		cod	Nome da Barra	Início	Fim	Tamanho	Tipo	X	Y	Z	X	Y	Z
3		CÓDIGO	NOME	Nº KEY	Nº KEY	EQ7	TIPO	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
4		003	RHO	34	16	0,675	primaria	0,425	1,240	0,400	-0,250	1,240	0,400

Fonte: Autores.

$PROCV(\$D3;Keypoints!\$C\$6:\$F\$5001;2;0)$	(3)
$PROCV(\$D3;Keypoints!\$C\$6:\$F\$5001;3;0)$	(4)
$PROCV(\$D3;Keypoints!\$C\$6:\$F\$5001;4;0)$	(5)
$PROCV(\$E3;Keypoints!\$C\$6:\$F\$5001;2;0)$	(6)
$PROCV(\$E3;Keypoints!\$C\$6:\$F\$5001;3;0)$	(7)
$PROCV(\$E3;Keypoints!\$C\$6:\$F\$5001;4;0)$	(8)
$RAIZ((H3-K3)^2+(I3-L3)^2+(J3-M3)^2)$	(9)

Neste momento já é possível gerar gráficos de diferentes planos da estrutura que facilitam a visualização durante o dimensionamento, sendo eles: o assoalho, a vista lateral, frontal, superior, posição do piloto, posição do gabarito. A Figura 6 apresenta dois desses gráfico. Eles foram gerados utilizando o gráfico de dispersão do Excel, sendo cada barra da estrutura inserida como uma série diferente do gráfico.

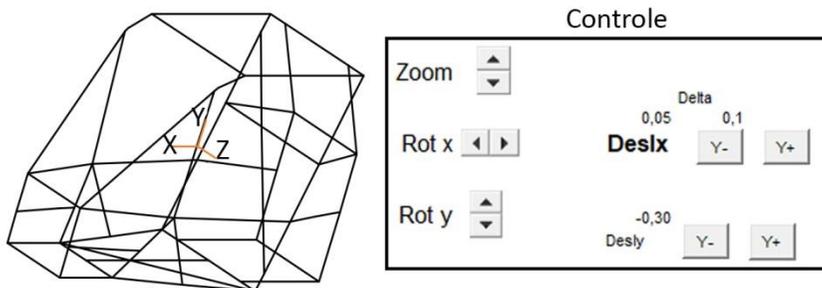
Figura 6 - Ilustração da geometria dentro da planilha.  
 PLANO PAREDE CORTA FOGO      PLANO XY + PILOTO + GABARITO



Fonte: Autores.

Para analisar a geometria final foi adicionado um recurso que é possível plotar um gráfico 3D dentro do Excel. É necessário a projeção ortogonal das coordenadas **x**, **y**, **z** dos *keypoints* do veículo em um plano denominado de coordenadas **Xp** e **Yp**, que são utilizadas para gerar o gráfico de forma análoga ao já mencionado. Para simplificar os comandos de visualização, as manipulações foram as rotações dos eixos **x** e **y**, deslocamento dos eixos **Xp** e **Yp** e aplicação de uma ampliação/redução da imagem. A Figura 7 apresenta o gráfico na planilha com seus botões de manipulação implementados via VBA.

Figura 7 - Ilustração e painel de controle implementado da planilha



Fonte: Autores.

Para realizar a projeção, apresentamos a simples manipulação matemática para transformar as três coordenadas geométricas  $x, y, z$  em duas  $X_p, Y_p$ . As novas coordenadas são utilizadas para se gerar o gráfico tridimensional do veículo:

$$X_p = \frac{(x \cos \beta - z \cos \alpha * \text{sen } \beta + y \text{ sen } \alpha * \text{sen } \beta - \delta)}{P} \quad (10)$$

$$Y_p = \frac{(z \text{ sen } \alpha + y \cos \alpha - v)}{P} \quad (11)$$

Onde:

$x, y$  e  $z$  = coordenadas dos keypoints

$\alpha$  = rotação do eixo  $x$  em radianos

$\beta$  = rotação do eixo  $y$  em radianos

$\delta$  = deslocamento em  $X_p$  (manipulação do gráfico)

$v$  = deslocamento em  $Y_p$  (manipulação do gráfico)

$X_p$  = coordenada X do keypoint no plano de projeção

$Y_p$  = coordenada Y do keypoint no plano de projeção

$P$  = fator de ampliação da imagem (1 = sem ampliação/redução)

Seguimos então para a o estudo das restrições do Regulamento (Ementa 2, 2018) correspondentes ao chassi tubular. Verificou-se no capítulo B6 - Gaiola de Proteção - que temos 27 condições geométricas para obedecer. Outras condições contidas no regulamento em relação ao chassi são de inspeção visual e referentes ao processo de fabricação. Para verificação dessas regras, apresentamos as equações 10, 11 e 12 que respectivamente calcula a distância entre dois pontos, distância entre um ponto e uma reta e ângulo entre duas retas.

$$D_{ab} = \sqrt{(X_i - X_f)^2 + (Y_i - Y_f)^2 + (Z_i - Z_f)^2} \quad (12)$$

Onde:

$D_{ab}$  = Distância do ponto A ao ponto B

$X_i$  = Coordenada X do Keypoint inicial

$Y_i$  = Coordenada Y do Keypoint inicial

$Z_i$  = Coordenada Z do Keypoint inicial

$X_f$  = Coordenada X do Keypoint final

$Y_f$  = Coordenada Y do Keypoint final

$Z_f$  = Coordenada Z do Keypoint final

$$D_{P,s} = \frac{|ax + bx + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (13)$$

Onde:

a, b e c = coeficientes da equação da reta s

x = coordenada x do ponto P

y = coordenada y do ponto P

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} * \left| \frac{m_s - m_r}{1 + m_s * m_r} \right| \quad (14)$$

Onde:

$m_s$  = coeficiente angular da retas s

$m_r$  = coeficiente angular da retas r

$\alpha$  = ângulo formado entre duas retas

Dos 27 itens do regulamento, serão apresentados 10 para exemplificar como as três equações são usadas de forma independente ou associadas para a checagem das condições geométricas exigidas. Primeiro, apresentamos condições que podem ser checados com apenas uma equação. O item B6.2.2.5.3, que determina que nenhuma barra deva medir mais que 1,016 metros, pode ser verificado com o auxílio da Equação 8. Já o item B6.1.3.1 da norma é verificado com a equação 11, nele mede-se a distância mínima exigida do capacete até as barras que compõem o habitáculo. O itens (B6.2.13.5, B6.2.14.3.3, B6.2.14.3.4) da norma são verificados com a equação 12, as restrições desses itens tratam de determinar um ângulo máximo/mínimo em relação a outra barra ou a um determinado eixo principal do veículo. Os itens (B6.1.4.3, B61.4.1) da norma são verificados com as equações 10 e 11, nestes itens, diz que os membros do piloto devem respeitar a distância mínima até uma reta aplicada no habitáculo de proteção. O item B6.2.2.5.4 da norma é verificado com as equações 10 e 11, onde as barras não podem possuir uma dobra maior que 30° e ser maior que 0,838 metros fora dos pontos de referência.

As 27 verificações foram compiladas na planilha “Condições” de tal forma que indicam com “OK ou “NOK” quando a verificação está dentro da norma ou fora da norma. A Figura 8 mostra um exemplo de item verificado pela planilha.

Figura 8 - Verificação da condição B6.2.4.3 na planilha

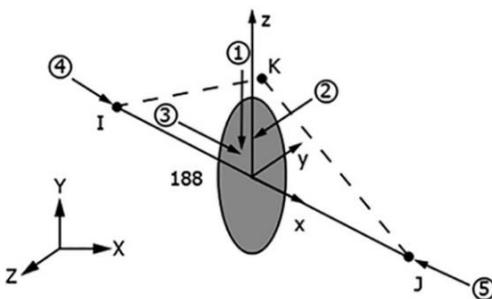
B6.2.4.3		Situação		OK			
Barras							
cod	descrição	Xi	Yi	Zi	Xf	Yf	Zf
006	RRH	-0,25	1,24	0,4	-0,22877	1,134705681	0,4
007	RRH	-0,2287713	1,134706	0,4	-0,14708	0,7295	0,4
008	RRH	-0,1470766	0,7295	0,4	-0,08065	0,4	0,4
009	RRH	-0,0806452	0,4	0,4	-0,02016	0,1	0,4
010	RRH	-0,0201613	0,1	0,4	0	0	0,4
A largura no ponto		686 mm é:		800 mm			

Fonte: Autores.

### **Análise paramétrica em MEF**

Determinada a geometria da gaiola estrutural, a modelagem numérica em Elementos Finitos da estrutura pode ser realizada. Como citado anteriormente, o modelo MEF da gaiola terá sua malha de elementos finitos gerada tendo como referência a geometria de linhas e keypoints. Utilizamos o elemento BEAM188 por incluir translações nas direções x, y e z e rotações sobre as direções x, y e z, com um total de seis graus de liberdade. O elemento é baseado na teoria de Timoshenko e inclui efeitos de deformações axiais. O nó k do elemento define a referência da seção transversal, os nós i e j são o inicial e final respectivamente. Dentre as opções de função de forma, foi escolhido o elemento BEAM188 linear, pois em análises futuras serão incluídos na modelagem elementos de casca, de amortecimento e contato. A seguir, podemos visualizar o elemento BEAM188:

Figura 9 - Geometria BEAM188



Extraído de: ANSYS Help.

Uma análise de convergência de malha foi realizada para se determinar o tamanho ideal do elemento. Por meio da linguagem ANSYS APDL foi criado um algoritmo de análise de convergência de malha, Tabela 1, que salvo como um arquivo ASCII deve ser executado no aplicativo em modo *Batch* (onde o programa roda em segundo plano, sem interface gráfica). O problema idealizado para a convergência foi uma viga tubular de aço biengastada com carregamento distribuído, onde as condições são descritas abaixo:

- Diâmetro Externo = 25,4 mm
- Espessura de Parede = 1,6 mm
- Módulo de Elasticidade = 205 GPa
- Tamanho da Viga = 1m
- Valor da Carga = 10 kN/m

Tabela 1: Código de análise de convergência

```

/TITLE,Análise de convergência BEAM 188
*CFOPEN,'SAIDA','txt',' ' !Criando arquivo de saída
*VWRITE,'VONMISES','CritConv','ITERACAO','ELESIZE' !Escrevendo cabeçalho
(4X,A,3X,A,3X,A,4X,A)
*SET,CONV,.01 !Fator de convergência em %
*SET,AUX,1e-9 !Variável auxiliar
*SET,LIMITE,5000 !Número máximo de iterações
*SET,DIM_INI,1 !Dimensão inicial do elemento
  *DO,i,1,LIMITE
  /PREP7
  [INSERIR PROPRIEDADES DO ELEMENTO]
  [INSERIR GEOMETRIA]
  [INSERIR MALHA]
  [INSERIR CARREGAMENTO]
  FINISH
  /SOL ! Abrindo ambiente de solution
  ANTYPE,0 !Análise Linear
  SOLVE
  *GET,MAXVON,SECR, ,S,EQV,MAX !Salvando maior Tensão Von Mises
  aux=((maxvon/aux) -1)*100 !Variação percentual entre análises
  *VWRITE,MAXVON,abs(aux),i,(1/i) !Escreve saída de dados
  (E12.5,1X,E10.3,1X,F10.0,1X,E10.3)
  *IF,abs(aux),LE,(CONV),Exit !Teste de convergência
  aux=maxvon
  PARSAV, all,qq !Salvando variáveis antes de limpar memória
  FINISH
  /CLEAR,NOSTART
  PARRES, new, qq, !Restaurando váriáveis

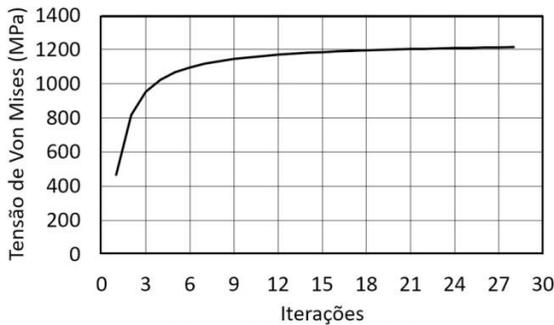
```

```
*enddo  
FINISH  
/CLEAR,NOSTART  
*CFELOS Fechando arquivo de saída
```

Fonte: Autores.

Realizada a análise de convergência linear com fator de 0,01%, podemos visualizar a progressão da convergência da tensão máxima no gráfico a seguir. O tamanho de elemento calculado foi de 0,0357m.

Figura 10 - Gráfico de convergência linear

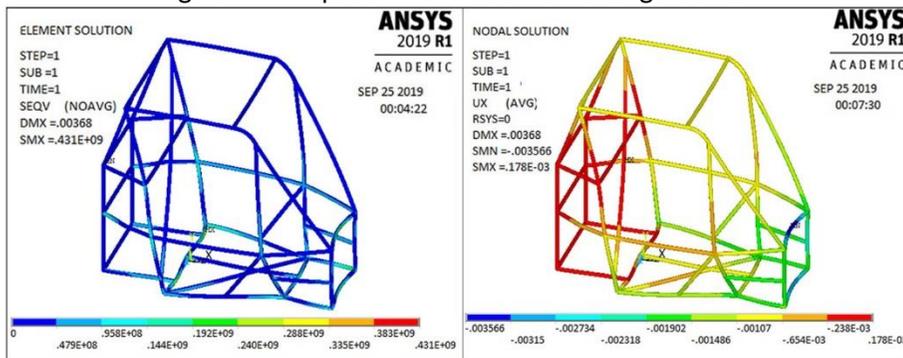


Fonte: Autores.

Determinando-se o tamanho a malha, foi elaborado na Planilha “Início” a geração automática de um algoritmo em ANSYS APDL para análise de impacto frontal, lateral e capotamento. A geração das análises em MEF ainda está em desenvolvimento, assim resultados significativos e análise das respostas não foram realizadas. Diversos outros casos de carregamento ainda devem ser implementado. Podemos citar: aterrissagem de roda única, queda, análise transiente de impacto, análise modal e análise de vibração.

Como exemplo parcial, obtemos o resultado de uma análise linear simulando um impacto frontal, com carga de 4G. A deformação máxima e a tensão Equivalente de Von Mises calculados foram 3,56 mm e 431 MPa.

Figura 11 - Impacto Frontal com uma carga de 4G



Fonte: Autores.

## Resultados

A parametrização da gaiola estrutural de um veículo fora de estrada tipo mini BAJA foi realizado com sucesso. A planilha implementada é capaz de verificar todas as condições geométricas requeridas, possibilitando a visualização de planos principais e tridimensionais do veículo. Como o objetivo da parametrização é facilitar o dimensionamento estrutural, que é um processo iterativo, foi dado início a uma geração de arquivos de entrada do software ANSYS APDL para análises em Elementos Finitos. Um algoritmo de análise de convergência foi desenvolvido e executado com sucesso para determinar o tamanho da malha a ser utilizado em posteriores análises.

Em relação às análises numéricas do chassi, ainda devem ser feitos o modelo numérico da suspensão, análises não-lineares e análise modal. Além disso, a planilha requer um manual de instruções que ainda não foi confeccionado.

## Agradecimentos

Agradecemos a empresa Engineering Simulation and Scientific Software (ESSS) por patrocinar a equipe BAJAÇO com a licença do software ANSYS.

## Referências

ABHINAV, A.V.S. **Simulation of Roll cage of an All-Terrain Vehicle considering inertia, using Transient Multi-body analysis.** IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, [S. l.], v. 11, p. 23-26, 1 set. 2014.

ANSYS Help. [S. l.], 2019. Disponível em: [https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/main\\_page.html?v=193](https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/main_page.html?v=193). Acesso em: 24 set. 2019

BARROS, J. P. S. **Manual de utilização das Planilhas Miqueias\_TD e Miqueias\_TT**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2019. 8 p. v. 1. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1VXfXKIAQ-nRzmVLh5Ewpjemq6kT32aAH/view>. Acesso em: 25 set. 2019.

DEVI, P.; DILIP, A. **Design and Optimisation of Sae Mini Baja Chassis**. A. Dilip Int. Journal of Engineering Research and Applications, [S. l.], p. 93-97, 9 set. 2014.

OTURKAR, Sanika; GUJARATHI, Karan. **An Introduction to Computational Frontal Static Stress Analysis of a Baja Car**. International Journal of Scientific and Research Publications, [S. l.], p. 430-436, 8 ago. 2013.

OWENS, A.T. Structural Considerations of a Baja SAE Frame. SAE International by Univ of Nottingham, [S. l.], p. 1-11, 10 ago. 2018.

SAE (BRASIL). **REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO BAJA SAE BRASIL - RATBSB**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 2018. 127 p. Disponível em: [http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/Users/223/39/28639/RATBSB\\_emenda\\_02.pdf](http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/Users/223/39/28639/RATBSB_emenda_02.pdf). Acesso em: 25 set. 2019.

SAINI, Dr. V.K. **Design and Analysis of BAJA ATV (All-Terrain Vehicle) Frame**. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), [S. l.], v. 5, p. 2550-2553, 4 abr. 2018

SELMER, H. **Design and Optimization of a SAE Baja Chassis**. 2017. Major Qualifying (Bachelor of Science Degree in Mechanical Engineering) - WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE, [S. l.], 2017.

# ***Trade-offs* de Custos logísticos e aplicação do custeio ABC – *Activity Based Cost* no segmento de mineração de pequeno porte**

Renata Veloso Santos Policarpo (renataveloso@ifmg.edu.br)  
Rômulo Augusto Modesto Oliveira (romulo.amo@outlook.com)  
Ana Luiza Cordeiro Pereira (analuizacordeiro96@gmail.com)  
Clárison Gonçalves Gamarano (clarisongoncalves@gmail.com)  
Luciano Wallace Gonçalves Barbosa (luciano.wallace@hotmail.com)

## **Resumo**

A gestão logística pertencente a Cadeia de Suprimentos visa planejar, implantar e controlar a eficiência, a efetividade do escoamento e do estoque, e o fluxo reverso de bens, serviços e informações. Apesar de os custos logísticos serem significativos, o foco de interesse não está na contenção dos custos, mas na competência logística necessária para a criação de vantagens competitivas. Assim, surge a necessidade da análise dos *trade-offs* de custos logísticos. Este artigo objetiva entender o processo logístico de uma empresa mineradora de pequeno porte de Minas Gerais, objeto de estudo desta pesquisa, bem como identificar potenciais *trade-offs* entre os custos envolvidos, além de realizar o rateio de tais custos pelo método ABC. A terceirização da frota logística se mostrou uma escolha viável para a empresa e o método de custeio adotado indicou a escavação do ROM com uma composição majoritária dos custos das atividades logísticas.

**Palavras-chave:** *Trade-offs* de custos logísticos, desempenho econômico-financeiro, custos industriais, Custeio ABC, logística empresarial.

## Introdução

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professional* (CSCMP, 2007), a gestão logística refere-se a parte da gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*) que planeja, implanta e controla a eficiência, efetividade do escoamento e do estoque e fluxo reverso de bens, serviços e informações relacionados com o ponto de origem e o ponto de consumo a fim de atender as restrições de serviço. Ballou (2006) afirma que o principal objetivo da logística é disponibilizar o produto ou serviço certo, no lugar certo, no tempo certo e com as condições combinadas, o que agrega valor ao produto ou serviço e influencia no desempenho da organização.

Faria (2003) ressalta a importância da gestão dos custos referentes às atividades logísticas, uma vez que apresentam grande representatividade diante dos custos totais das empresas. Bowersox *et. al.* (2014), por sua vez, afirmam que apesar dos custos logísticos serem significativos, o foco de interesse não está na contenção dos custos, mas na competência logística necessária para criação de vantagens competitivas. Assim, surge a necessidade da análise dos *trade-offs* de custos logísticos, que se referem as trocas compensatórias entre o aumento em algum custo logístico e a diminuição em outro custo logístico e/ou o aumento no nível de serviço ao cliente (AMARAL; GUERREIRO, 2014).

Frente a isso, este trabalho tem por objetivos entender o processo logístico de uma mineradora de pequeno porte localizada em Minas Gerais, identificar potenciais *trade-offs* entre os custos envolvidos em tal processo, bem como, realizar o rateio de tais custos pelo método ABC. Foram feitos estudos na empresa entre 2015 e 2017 por meio de pesquisas acadêmicas, visitas técnicas, relatórios executivos e entrevistas com um de seus diretores. A empresa é uma mineradora de pequeno porte localizada na região central de Minas Gerais atuante na produção de minério de ferro.

## Metodologia

De forma a atingir os objetivos propostos, foi desenvolvida uma pesquisa predominantemente quantitativa. A abordagem quantitativa pressupõe uma caracterização objetiva, uma vez que utiliza critérios bem definidos em relação a amostragem e aos demais processos de análise de dados. Com o intuito de atender aos objetivos deste estudo, foi utilizada a perspectiva de Hair *et al.* (2005) para a análise quantitativa.

Considerando os métodos propostos por Cooper e Shindler (1995) e por Matar (2001) e Gil (2006) que descreveram várias formas de se classificar uma pesquisa, esta, no que se refere aos objetivos, foi caracterizada como uma pesquisa de natureza explicativa e descritiva. A pesquisa descritiva objetiva

observar, registrar e correlacionar fatos ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los.

Em relação à dimensão tempo, esta pesquisa foi realizada como sendo *cross-sectorial*, ou seja, ocasional única, pois as informações foram obtidas somente uma vez no tempo. Quanto aos meios de investigação, foram utilizados dados primários por meio da pesquisa de campo e secundários obtidos por meio de pesquisa documental. Quanto à natureza da pesquisa, esta foi classificada como aplicada, pois contribui para fins práticos voltados a solução de problemas específicos.

Quanto ao meio de investigação, o método utilizado foi o estudo de caso. Este método foi escolhido com o objetivo de se conhecer e compreender o fenômeno estudado, por meio de um intensivo exame, tanto em amplitude como em profundidade, do contexto estudado, podendo ser considerado uma metodologia particularmente apropriada para determinados tipos de problema, como aqueles em que a pesquisa e a teoria estão em estágio de formação ou aqueles baseados na prática, quando a experiência dos atores é importante (YIN, 2005). O mesmo autor apresenta três justificativas para o uso do estudo de caso como estratégia de pesquisa: i) a possibilidade de estudar sistemas de informação no ambiente natural e de gerar teorias a partir de práticas; ii) compreender a natureza e a complexidade dos fenômenos pesquisados e, iii) a possibilidade de pesquisar uma área em que poucos estudos prévios tenham sido realizados.

A aplicação do estudo de caso ocorreu com a análise dos *trade-offs* entre o transporte e a manutenção de inventários nas atividades de mineração de uma empresa de pequeno porte. A seleção dessas duas atividades deve-se aos seguintes motivos: i) Os custos de transporte e de manutenção de inventários são os maiores componentes dos custos logísticos; ii) O custo de manutenção de inventários é um dos custos logísticos que mais tem crescido ao longo dos anos (KATOR, 2007); iii) Os *trade-offs* entre ambas as atividades são um dos principais fatores analisados no desenho das redes logísticas (CHOW, 2008); e, iv) Duas dentre as cinco habilidades logísticas mais requeridas dos gestores da área são o gerenciamento de inventários e de transportes (MURPHY; POIST, 2007).

Adicionalmente, para análise dos dados coletados por meio do estudo de caso, os dados primários quantitativos foram tratados utilizando-se o Microsoft Excel. Com o auxílio desse software e dos fundamentos da gestão de custos por meio do método ABC, foi realizada a elaboração de uma base de dados que auxiliará na compreensão estatística da composição dos custos logísticos nos custos totais e seu impacto no desempenho econômico financeiro.

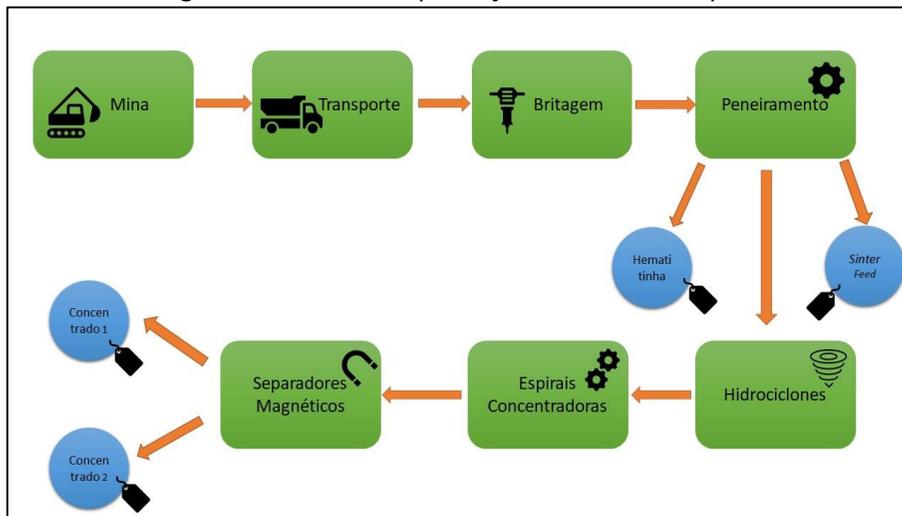
## Apresentação e Discussão de Resultados

### O processo produtivo e logístico

De forma simplificada, a Figura 1 apresenta as atividades do processo de produção da empresa. O beneficiamento mineral se inicia com o recebimento do material oriundo diretamente da mina, denominado ROM (*Run of mine*). O ROM é depositado com o auxílio de escavadeiras e caminhões em um alimentador do britador. O objetivo principal da britagem é, justamente, fragmentar tais materiais de modo a reduzir sua granulometria (LUZ *et. al.*, 2010). O material que sai do britador é levado a um transportador de correia para alimentar uma peneira. A função da peneira é promover a separação do material de acordo com seu tamanho geométrico (LUZ *et. al.*, 2010). O material retido nessas peneiras irá formar a pilha de Hematitinha e *Sinter Feed*, dois produtos que já estão prontos para serem comercializados.

O material particulado fino que passa na peneira segue até uma espiral concentradora, um equipamento que se utiliza da diferença de densidade das partículas para efetuar a separação do material, um processo denominado concentração gravítica (LUZ *et. al.*, 2010). O concentrado dessa espiral segue rumo a um hidrociclone, utilizado para separar materiais sólidos de líquidos por meio de força centrífuga (LUZ *et. al.*, 2010). Após todo esse processo, mais dois tipos de concentrados estão prontos para serem comercializados. Eles possuem basicamente o mesmo teor de ferro, só se diferenciam por suas densidades.

Figura 1: Processo de produção mineral da empresa.



Fonte: Dados da pesquisa.

O processo logístico da empresa é terceirizado por um operador logístico responsável pela extração, pela movimentação e pelo transporte do material em processo, do estéril e dos rejeitos. A única exceção ao processo de terceirização diz respeito a atividade de carregamento que é de responsabilidade da própria empresa. Nos últimos 5 anos, a mineradora adquiriu 5 carregadeiras que foram distribuídas na operação, ou seja, essa parcela do contrato foi primarizada.

Com relação aos processos inerentes a logística interna, destaca-se a escavação do ROM. Para isso, são necessários escavadeiras e caminhões de carga, que executam a atividade de extração, a separação bruta do ROM e do estéril, a remoção do estéril, além do transporte do material até a entrada do processo de beneficiamento mineral e consequentes movimentações internas. Antes do material ser despejado na moega, é possível que seja executada a blendagem mineral, a partir do ROM recolhido de diferentes frentes de escavação. Nessa etapa, observa-se a utilização de escavadeiras e caminhões.

Nenhuma das etapas do beneficiamento apresenta a influência de equipamentos externos. Neste sentido, a sequência se inicia no britador primário, em seguida, o material é movimentado até a peneira por um transportador de correia, que pode ser retido em um dos dois *decks* que compõem a peneira, retornar ao britador, caso apresente granulometria insuficiente para passar na peneira, ou até mesmo passar direto pelos dois *decks*. Dessa etapa inicial, resultam-se dois tipos de produtos finais: a Hematitinha e o *Sinter Feed*. Esses minérios são despejados diretamente ao silo.

O particulado fino, aquele que passou diretamente pela peneira, segue até a bomba de polpa, onde passa por uma nova peneira, responsável por reter o material com maior granulometria. O passante segue pela espiral concentradora e consequentemente ao hidrociclone. Nessa etapa, há três caminhos possíveis ao material, aquele de menor granulometria passa pela repolpagem; o de maior granulometria é encaminhado para uma peneira; e, por fim, o material retido, denominado Concentrado CE, é estocado em um silo. Esse material corresponde ao terceiro tipo de produto comercializado pela empresa.

O quarto produto comercializado também passa por uma sequência de hidrociclones, quando o material pode retornar ao processo ou ser concentrado em dois possíveis separadores magnéticos. O material resultante dessa etapa pode ser considerado rejeito, ou passar por um novo hidrociclone, gerando o Concentrado C1, ou o material que deve retornar ao processo a fim de adequar suas granulometrias ao padrão de mercado. O Concentrado C1 também cai em um silo.

Além do processo produtivo, como atividade logística incluem-se as parcerias que a empresa organiza com outras empresas: Vale S.A e Gerdau S.A. Para a execução dessa atividade, incluem a utilização de caminhões de carga empregados na execução do transporte de rejeito recolhido em barragens das

respectivas mineradoras. Esses mesmos caminhões são utilizados para o transporte de minérios comprados pela empresa.

No que diz respeito ao carregamento de produtos, todo o minério vendido pela empresa é carregado a partir do despejo do produto final armazenado em silos diretamente nos caminhões que se posicionam abaixo desse equipamento. O próprio motorista aciona o dispositivo de abertura do silo, que despeja o volume necessário para completar a carga do veículo.

Posteriormente, essa carga precisa ser pesada e inspecionada. É realizada a validação das características da carga, quando inspetores de qualidade confirmam a especificação. Além disso, para a expedição, gera-se a nota de despacho, realizam-se a pesagem da carga na balança e a autorização para saída do produto das dependências da empresa.

Todo o combustível consumido no processo logístico é comprado pela empresa e repassado ao operador logístico conforme a quantidade demandada. Diariamente é realizada a medição, na qual levanta-se a quantidade de combustível consumida por cada equipamento. Posteriormente, o valor empregado pela empresa para aquisição de combustíveis é descontado, mediante análise dos dados auferidos na planilha de medição.

Além das atividades ligadas ao processo produtivo, o operador logístico é responsável por fazer a umidificação das vias no entorno da mina. Essa medida é necessária para controlar a poeira gerada pela produção e operação da planta e depende da utilização de caminhões pipas. Nesse sentido são utilizados 6 caminhões pipas que atuam tanto na mina quanto nas vias que circundam a operação.

Finalmente, há a necessidade de locação de veículos para o transporte de executivos e de funcionários. Para isto, existe um contrato com uma empresa terceirizada por meio de um contrato do tipo verba-fixo relativo à quilometragem rodada. Nesse fretamento, são disponibilizados alguns ônibus para atendimento dos horários de turnos e do horário administrativo.

Há de se considerar também que, para a execução de todas essas atividades logísticas, determinados funcionários compartilham funções. Sendo assim, deve-se ponderar que parte do tempo e atuação destes são dispendidos atuando para o funcionamento da logística. Pode-se destacar o engenheiro da mina, o supervisor de qualidade, o técnico de qualidade, responsáveis pela TI, dentre outros.

### **Trade-offs identificados como relevantes**

Tendo em vista os estudos de Pereira *et al.* (2018) levantaram-se alguns *trade-offs* de custos logísticos que podem ser considerados relevantes. São eles: nível de serviço *versus* custo de transporte, custo de processamento de pedidos *versus* custos de previsão de demanda, custo de manutenção de

inventários *versus* custo de armazenagem ou custos de previsão de demanda, custos de previsão de demanda *versus* custos de manutenção de inventários ou custos de armazenagem, custos de transporte *versus* custo de manutenção de inventários, custos de armazenagem *versus* custos de previsão de demanda, custos de aquisição *versus* custo de armazenagem, custos de embalagem *versus* custos de aquisição e custos de logística reversa *versus* custos de embalagem.

Buscou-se então identificar dentre os *trade-offs* supracitados os que se relacionam e geram impactos sobre os custos logísticos da mineradora de pequeno porte, enfatizada no presente estudo, podendo-se destacar duas dessas trocas compensatórias. São elas: custos de transporte *versus* nível de serviço, e custos de transportes *versus* custos de manutenção de inventários. Sobre a troca compensatória entre o nível de serviço e os custos com transportes, pode-se dizer que para manutenção da parceria da empresa com Vale S.A e Gerdau S.A, há utilização de caminhões de carga, os quais são empregados tanto na execução do transporte de rejeito recolhido em barragens das respectivas mineradoras como para o transporte de minérios comprados pelas empresas. Logo, pode-se inferir que a geração de custos com os transportes, inclusive rodoviário, que de acordo com Ballou (2012) caracteriza-se como um modal oneroso, é compensada pela garantia do nível de serviço aos clientes, que inclusive possuem grande representatividade na geração de receita da empresa enfatizada.

No que diz respeito ao *trade-off* entre o custo de transporte e o custo de manutenção de inventários, constata-se que em relação ao carregamento de minério, todo o produto vendido é carregado a partir do despejo do produto final armazenado em silos diretamente nos caminhões que se posicionam abaixo destes, o que tem por consequência o custo de transporte, mas em contrapartida a redução de espaço físico na própria empresa para armazenagem, bem como custos para manutenção dos inventários, como mão de obra e equipamentos.

Os demais *trade-offs* não apresentam tamanha significância ao considerar que com relação a previsão de demanda, toda a produção é vendida não requerendo grandes esforços quanto a tal atividade logística. Os custos com armazenagem de insumos também não apresentam relevância, sendo que um insumo a ser destacado, que seria o combustível, não gera custos consideráveis quanto a sua armazenagem, uma vez que são depositados em tambores que não demandam custos de manutenção significativos. Com relação aos custos de aquisição, também não apresentam relevância, sendo que a compra de grandes quantidades de insumos e/ou matérias-primas que poderiam gerar descontos não se aplica ao principal insumo a ser considerado, que é o combustível, uma vez que o dispêndio referente ao mesmo é descontado do valor total pago aos terceiros. Por fim, os custos com embalagem e logística reversa também não são aplicáveis ao produto característico do setor enfatizado, logo não apresenta relevância quanto a presente análise.

### ***Rateio dos gastos pelo método de custeio abc***

Após estudo de todo sistema operacional e produtivo da empresa, definiram-se cinco principais atividades logísticas desenvolvidas pela empresa: escavação do ROM, remoção do estéril, movimentação do material em transporte, carregamento dos silos e manutenção dos acessos. Em seguida, foi possível fazer o rateio desses gastos utilizando o método de custeio ABC para quantificar cada uma das atividades envolvidas na operação.

A Tabela 1 mostra os gastos da empresa no ano de 2017 que foram utilizados para o rateio. Foram selecionados somente aqueles gastos envolvidos diretamente nas atividades logísticas descritas acima. Contudo, os dois grupos de gastos em destaque na imagem (“TI” e “Administrativa”), por se tratarem de funções compartilhadas com os demais setores da empresa, foram considerados em apenas 30% do gasto total aferido nessas atividades. Essa estimativa foi especificada, durante as entrevistas, pelo Diretor Executivo-Financeiro da empresa como percentual médio de composição dos custos logísticos envolvidos no somatório de custos da empresa. Assim, o valor total de gastos após esses ajustes foi de R\$ (mil) 71.839,30.

Tabela 1: Gastos totais da empresa no ano de 2017 sem ajustes

	(R\$ mil)
Pessoal	16.667,00
Manutenção	7.133,00
Combustíveis e Lubrificantes	15.770,00
TI	281,00
Administrativa	5.600,00
Locação (máquinas e equipamentos)	14.151,00
Vendas	13.335,00
Frete Vale	3.019,00
<b>TOTAL</b>	<b>75.956,00</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

Para o rateio dos gastos das atividades, foram consideradas a proporção de material movimentado em cada uma das atividades, visto que essa variável foi a de maior controle por parte da empresa e de maior relevância, em virtude dos contratos de prestação de serviço assinados. Portanto, cada uma das atividades recebeu a porcentagem de gastos correspondente à proporção de material movimentado dentro da mina no período de janeiro de 2016 a março de 2017. A Tabela 2 mostra tal proporção de movimentação de materiais. As exceções foram as funções compartilhadas, mencionadas anteriormente, pois tiveram uma

distribuição equitativa entre todas as atividades, uma vez que não foi possível estabelecer uma relação entre quaisquer outras variáveis que proporcionassem uma melhor distribuição desses gastos.

Tabela 2: Quantidade e material movimentado dentro da mina

Jan/16-Mar/17	Material movimentado (t)	Material movimentado (%)
Escavação do ROM	2.133.814,04	65,63
Remoção Estéril	807.711,91	24,84
Movimentação Material em Transporte	63.016,79	1,94
Carregamento silo	188.394,10	5,79
Manutenção acessos	58.393,70	1,80
<b>TOTAL</b>	<b>3.251.330,55</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

Por fim, obteve-se o valor final de cada atividade, baseado na distribuição dos gastos ligados à logística da empresa, como mostra a Tabela 3. A atividade com maior impacto econômico para a empresa foi a de Escavação do ROM, totalizando mais de 60% do custo total, e a de menor impacto econômico foi a de Manutenção de acessos, totalizando pouco mais de 2% do custo total. O custo total das atividades foi de R\$ 71.839,30, valor que é exatamente igual ao do somatório dos gastos envolvidos.

Tabela 3: Custo de cada atividade, após o rateio dos gastos

	R\$ mil	%
Escavação do ROM	46.342,35	64,51
Remoção Estéril	17.761,24	24,72
Movimentação Material em Transporte	1.711,04	2,38
Carregamento silo	4.413,26	6,14
Manutenção acessos	1.611,40	2,24
<b>TOTAL</b>	<b>71.839,30</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

## Conclusão

Ao considerar os processos de produção e melhoramento do minério, a empresa utiliza como estratégia o investimento em tecnologia, com o objetivo de recuperar a maior quantidade possível deste. Já no aspecto logístico, faz-se uso de serviços terceirizados, que reduzem custos com manutenção e mão de obra e buscam otimizar os processos de carregamento e transporte. Outro aspecto importante é a proposta de construção de uma balança entre a organização e seu principal cliente que reduziria seus custos logísticos, uma vez que o transporte é a atividade logística com maior absorção de gastos.

O modelo de terceirização de transportes por contratos pagos por tonelagem de material transportado, adotado pela empresa do estudo, se mostrou bastante eficiente para esse modelo de negócio, considerando-se o porte da empresa, a quantidade de material produzido e a finalidade da produção. Ao fixar os contratos baseados na quantidade de material transportado, ao invés da quilometragem percorrida por cada veículo contratado, a contratante passou a desconsiderar questões de rotas otimizadas, quantidades de veículos operando simultaneamente, e demais aspectos relacionados à eficiência da operação logística.

Além disso, a terceirização da frota evita gastos com manutenção, depreciação, contratação de mão de obra especializada, entre outras questões relativas a aquisição própria de veículos com essa finalidade, e que, nesse contexto, se mostraram mais práticas, vantajosas e eficientes economicamente. Em virtude desse modelo de estruturação logística empregada, no que tange ao levantamento de custos das atividades logísticas pelo método de custeio ABC, pôde-se observar que mais de 60% dos custos totais das atividades se concentram na atividade de escavação do ROM. Logo, é fundamental garantir a eficiência dessa atividade no processo de extração mineral, devido a seu significativo impacto nos custos da empresa.

## Referências

- AMARAL, J. V.; GUERREIRO, R. O custo total e as soluções logísticas. **Revista Ambiente Contábil** - UFRN. Natal-RN, v. 6, n. 1, p. 64-82, jan./jun 2014.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5ªed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- \_\_\_\_\_. **Logística Empresarial: Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 2012.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B.; BOWERSOX, J. C. **Gestão e Logística da Cadeia de Suprimentos**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2014.

CHOW, G. Getting back to basics. **Canadian Transportation Logistics**. Don Mills, v. 111, n. 10, p. 40, 10/2008.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Business Research Methods**. Irwin: McGraw-Hill, 1995.

CSCMP - Council of Supply Chain Management Professionals. **Definitions**, 2007. Disponível em: <http://www.cscmp.org/Website/AboutCSCMP/Definitions/Definitions.asp>. Acesso em: 13 de abril de 2016.

FARIA, C. A. P. Idéias, conhecimento e políticas públicas: um inventário sucinto das principais vertentes analíticas recentes. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 18, n. 51, p. 21-29, fev. 2003.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

HAIR, J. F.; TATHAM, R. L.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna; Anselmo Chaves Neto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

KATOR, C. Inventory costs rise dramatically. **Modern Materials Handling: Warehousing Management Edition**. Framingham, v. 62, n. 07, p. 09, 2007.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**. 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932p.

MATAR, F. N. **Pesquisa de Marketing**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MURPHY, P.R.; POIST, R.F. Skill requirements of senior-level logistics executives: a longitudinal assessment. **Supply Chain Management**. Bradford, v. 12, n. 06, p. 423-31, 2007.

PEREIRA, A. L. C.; MARTINS, A. M. N. A. S.; POLICARPO, R. V. S.; PEREIRA, M. T. R. Knowledge Analysis on Logistics Cost Trade-Offs: a Study With Portuguese Food Sector' Professionals. **International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIE)**, v.9, n. 3, p. 155-166, 2018.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

# Desenvolvimento de um Braço Robótico Acionado por Músculos Artificiais Pneumáticos

Marcelo Henrique Souza Bomfim<sup>6</sup> (Marcelo.bomfim@ifmg.edu.br)  
Eduardo José Lima II<sup>7</sup> (eduardo@demec.ufmg.br)  
Victor Mendes Pinto<sup>8</sup> (mpvictormp@hotmail.com)

## Resumo

A busca por melhoria na execução do trabalho, otimização de tempo e competitividade de mercado são os principais motivos pelos quais às empresas de tecnologia buscam desenvolver máquinas e dispositivos. Com isso, cada dia surgem novos modelos de dispositivos mais competitivos e otimizados. O trabalho a seguir busca modelar e desenvolver um manipulador mecânico capaz de realizar atividades de elevação de carga baseado nos modelos atuais, sendo detalhados os desenhos técnicos, o critério de escolha de material e cálculos necessários para a construção do dispositivo e seus componentes auxiliares. Para isso, utiliza-se da metodologia FEL, dividindo o projeto em etapas distintas e necessárias em sua execução. No presente trabalho o manipulador é concebido para operar na configuração antagonista, de forma a garantir estabilidade ao sistema, e o atuador utilizado é o músculo de Mckibben, um tipo de músculo artificial pneumático ou MAP.

**Palavras-chave:** Manipulador mecânico, elevação de carga, músculo de Mckibben

---

<sup>6</sup> Aluno de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais (PPGMEC/UFMG) / Docente do Curso de Engenharia Mecânica do IFMG campus Congonhas

<sup>7</sup> Professor do PPGMEC/UFMG

<sup>8</sup> Aluno do curso de Engenharia Mecânica do IFMG Campus Congonhas

## Introdução

Com o avanço da tecnologia, o ser humano foi capaz de realizar certas atividades sem, necessariamente, ter que atuar de forma direta sobre elas. Tal fato só foi possível devido ao avanço do setor de robôs e braços mecânicos, capazes de fazer movimentos e ações semelhantes às desenvolvidas pelo homem.

A palavra robô foi utilizada em 1921 por um escritor e novelista chamado Karel Capek, em uma de suas peças teatrais. Esta é uma derivação da palavra “robota” que significa serviço compulsório (BOUTEILLE, 1997).

No começo de sua criação, os robôs eram utilizados para realizar atividades em que o homem não tinha capacidade ou força e, também, para atividades em que uma pessoa fosse exposta de maneira a comprometer sua integridade física.

Após o surgimento dos computadores, foi possível fazer com que um robô fosse capaz de executar uma atividade pré-programada. Atualmente, os robôs são capazes de “pensar” e desenvolver tarefas que não haviam realizado antes (DE MASI, 1999).

Na atualidade, existem pesquisas e desenvolvimentos de robôs intitulados humanoides ou antropomórficos, ou seja, são criados com a semelhança humana e capacidade de interação com o ambiente, como o Asimo construído pela montadora japonesa Honda Motor Company.

No que tange o assunto, pode-se citar também os robôs industriais. Após a implantação em grandes indústrias, tornou possível a otimização e elevação da produção a um patamar antes considerado impossível. Grandes montadoras automobilísticas inovaram ao implantar robôs pré-programados em sua linha de produção. Em sua grande parte, são voltados para a parte de pintura e soldagem a ponto dos chassis dos automóveis (SCHIAVICCO e SICILIANO, 1995).

Com a chegada da quarta revolução industrial ou Indústria 4.0, máquinas e operadores passaram a ocupar o mesmo espaço de trabalho no chão-de-fábrica. Assim, torna-se cada vez mais rotineiro a cooperação entre homem e máquina.

Uma das principais preocupações da robótica cooperativa é criar robôs e dispositivos complacentes, isto é, em caso de uma colisão catastrófica a máquinas e capaz de suavizar impactos, por exemplo. Dessa forma, é uma tendência mundial o desenvolvimento de mecanismos atuados por MAPs, pois esses robôs podem variar sua rigidez de junta. Nesse contexto, esse artigo propõe o desenvolvimento de um mecanismo robótico de dois graus de liberdade (GDL) a ser aplicado em atividades de elevação de carga ou pick and place.

Segundo HOŠOVSKÝ (2016) a construção de um manipulador tipo cotovelo com 2 GDL deve ser realizada de forma a garantir o equilíbrio estável do mecanismo. Dessa forma, o robô proposto será projetado de forma a garantir esse equilíbrio.

## Metodologia

Para a elaboração do projeto foi utilizado um método muito conhecido de gerenciamento de projetos: A Metodologia FEL (Front-End Loading). Esta metodologia baseia-se na premissa de que a melhoria nas atividades de definição do projeto reduz o número de alterações que podem ocorrer durante a execução, quando os custos para tal são elevados.

Nesse método, um projeto complexo é analisado a partir de três estágios básicos de aprovação, chamados de FEL-1, FEL-2 e FEL-3. As três etapas são descritas abaixo.

FEL-1: estudo de viabilidade técnica e econômica em que, ao final, define-se a oportunidade de investimento;

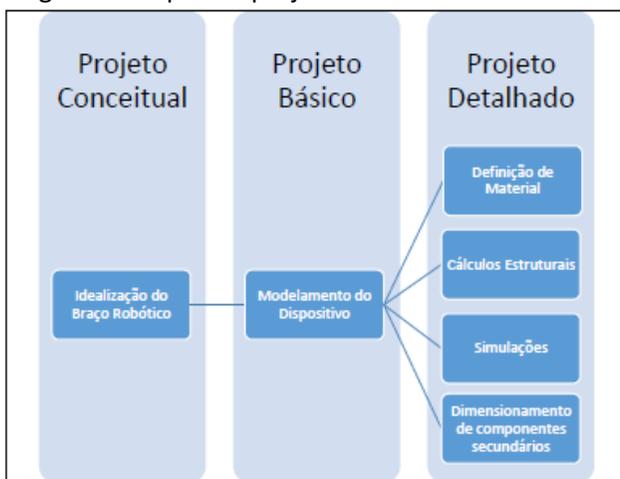
FEL-2: projeto conceitual de engenharia em que se define o escopo a ser construído e seleciona a melhor alternativa locacional e tecnológica;

FEL-3: projeto básico de engenharia em que se realiza o detalhamento do escopo definido em FEL-2.

Em cada portão são apresentadas as questões críticas que podem causar algum impacto em relação ao objetivo daquela fase. Estes portões servem como um instrumento de controle da qualidade do projeto ao garantir a evolução da maturidade dos entregáveis em cada fase do projeto.

O trabalho em questão utilizou apenas dos 3 primeiros portões da metodologia FEL, visto que o objetivo principal será o desenvolvimento da parte conceitual do dispositivo. A Figura 1 apresenta os três primeiros portões da metodologia FEL.

Figura 1: Etapas do projeto



Fonte: Autoria própria.

A etapa de Projeto Conceitual é a etapa inicial do processo de elaboração do mecanismo. Nesse momento, foi idealizado um dispositivo de elevação de carga e a confirmação de uma solução para atender à determinada necessidade. Definida a morfologia do dispositivo, algumas especificações foram levadas em questão para o desenvolvimento do projeto, como, por exemplo, capacidade de elevação de carga e peso máximo do dispositivo. Também, utilizou-se de modelos de dispositivos de elevação de carga já existentes no mercado para idealizar um novo mecanismo.

Assim, neste primeiro momento, buscou-se reunir o máximo de informações possíveis para descrever claramente o dispositivo a fim de formular o problema. Foram coletadas informações para determinar as necessidades do público e, também, buscar informações sobre sistemas construtivos, tecnologias e materiais que podem ser adotados.

Após o dispositivo ser idealizado na etapa de Projeto Conceitual, inicia-se a segunda etapa. Nesse momento, utiliza-se de softwares de modelamento 3D para desenvolver um braço mecânico que atenda as especificações de projeto. São apresentados os componentes principais do dispositivo bem com os auxiliares, que são necessários para o funcionamento do mesmo.

Utiliza-se das ferramentas de engenharia para detalhar o mecanismo. Esse detalhamento é responsável por fornecer as informações técnicas que são essenciais para o funcionamento do dispositivo. Para fornecer estas informações, são realizados cálculos de esforços, simulações através de softwares e dimensionamentos de alguns componentes.

Para dimensionar o diâmetro do eixo, utilizou-se da metodologia por Energia de Deformação (DE), contidos nos critérios de falhas. Dentre os critérios dessa metodologia, optou-se pelo método DE-ASME Elíptico. No método, as tensões são combinadas juntamente aos concentradores de tensão (SHIGLEY e MISCHKE, 2015).

Como forma de dimensionamento do mancal, foi utilizada a metodologia de carga de catálogo. Essa metodologia consiste em determinar valores de projeto para modelar mancais em função de valores tabelados e especificados pela ABMA (American Boiler Manufacturers Association).

Para determinar as solicitações mecânicas em que estava sujeito o braço, utilizou-se dos Métodos Discretos compreendidos nos métodos de análises de estruturas e o auxílio do método computacional executado pelo software SolidEdge 2016.

## Resultados

O desenvolvimento do produto ocorreu em módulos e, dentro destes, há alguns componentes que possuem suas particularidades. Por esse motivo, serão explicados o projeto de cada uma das partes separadamente.

Especificações e premissas de projeto:

Primeiramente, para o desenvolvimento do protótipo, algumas especificações foram levadas em consideração. Essas especificações compreendiam os quesitos geometria, dimensões, capacidade de carga e alguns componentes do braço. São eles:

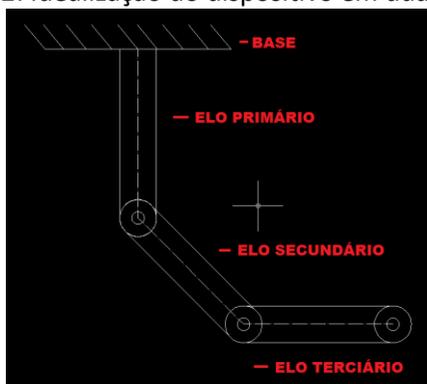
- Conter três elos;
- Comprimento de 300mm entre os centros de suas junções;
- Espessura de 3mm para elos;
- Possuir eixos maciços nas uniões;
- Conter mancais e rolamentos;
- Capacidade para elevar carga de 1kg; e
- Vão máximo de 31,5mm entre elos.

Idealização do mecanismo:

Para construir um mecanismo com geometria e formas mais detalhadas, partiu-se da ideia de um mecanismo simples e de cadeia cinemática aberta, composto por três elos e duas juntas. Cada elo tem um comprimento de 300mm entre suas juntas.

Foi utilizado o software AutoCAD 2016 para modelar no plano um mecanismo. A Figura 2 apresenta o modelo.

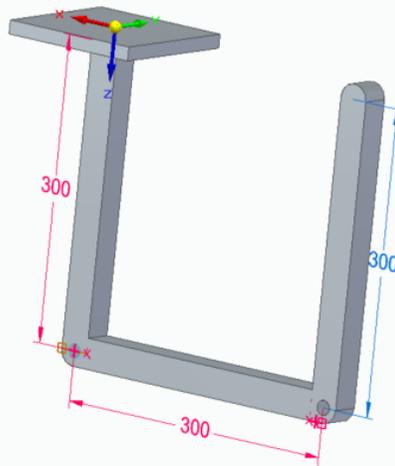
Figura 2: Idealização do dispositivo em duas dimensões



Fonte: Autoria própria.

Também, foi desenvolvido um modelo em 3 dimensões para detalhar melhor as geometrias do dispositivo. Para a construção, foi utilizado o software SolidEdge 2016. A Figura 3 apresenta o resultado do modelamento inicial.

Figura 3: Idealização do dispositivo em três dimensões



Fonte: Autoria própria.

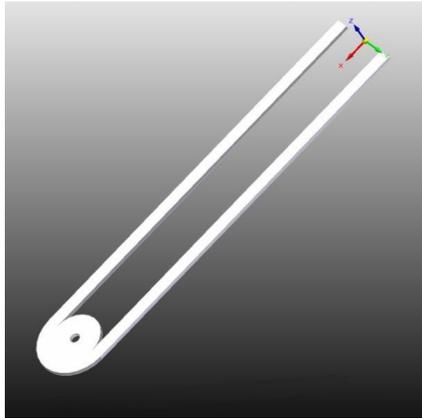
Modelamento 3D:

Para detalhar cada componente do dispositivo, utilizou-se também o software SolidEdge 2016. O modelamento ocorreu em duas grandes etapas: fabricação e montagem. Na etapa de fabricação, cada elemento que compõe o braço foi desenhado e modelado em 3 dimensões, seguindo as dimensões especificadas. Após a fabricação, foi realizada a junção de todos os componentes, resultando no dispositivo montado.

Fabricação dos componentes:

O primeiro passo na fabricação dos componentes se deu através da construção dos elementos principais do dispositivo: os elos de sustentação. Para isso, foi utilizada a geometria idealizada na primeira etapa do projeto. Esta sofreu algumas modificações em que o objetivo foi a redução de massa de cada componente. A Figura 4 apresenta a morfologia utilizada para o projeto dos elos do manipulador.

Figura 4: Elo genérico utilizado para o projeto do manipulador

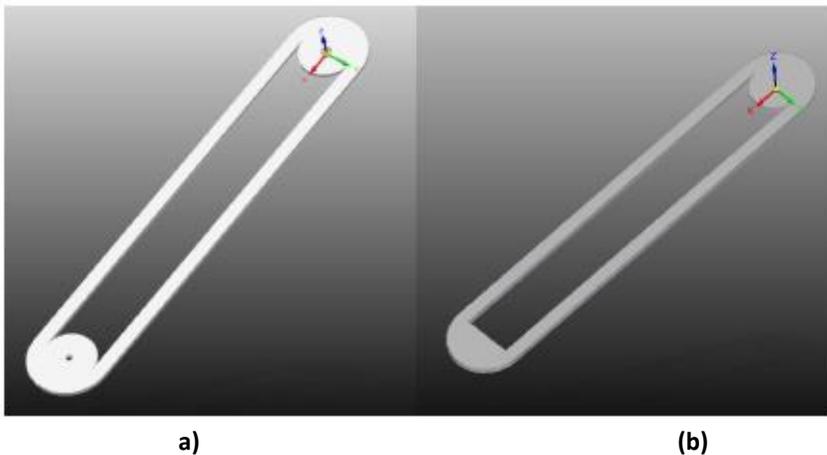


Fonte: Autoria própria.

Após a fabricação do primeiro elo, foram desenvolvidos os elos secundário e terciário. A geometria de ambos foi baseada no primeiro componente sofrendo algumas modificações para atender a funcionalidade de cada um. As Figuras 5 (a) e (b) apresentam suas geometrias.

Para a fabricação dos elos foi utilizada a metodologia de fabricação por perfis ou MFP (BOMFIM et al., 2015). Nessa metodologia, os elos do mecanismo robótico são fabricados a partir de perfis vazados. Dessa forma, o peso do manipulador é reduzido drasticamente, o que representa redução dos torques nas juntas e no consumo energético.

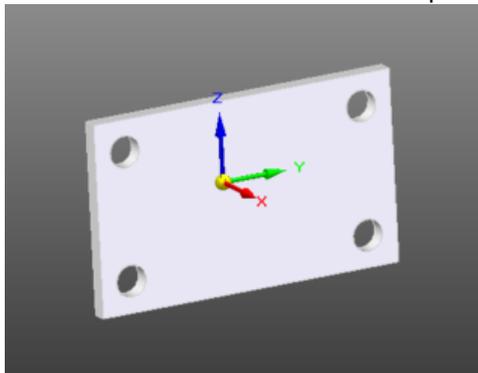
Figura 5: Elos (a) secundário e (b) terciário



Fonte: Autoria própria.

Desenvolveu-se também uma base para o braço. A base foi modelada com quatro furos por onde podem ser utilizados parafusos ou outras formas de fixação para acoplá-la a outros dispositivos. A Figura 6 apresenta o modelamento da base.

Figura 6: Modelamento da base do manipulador



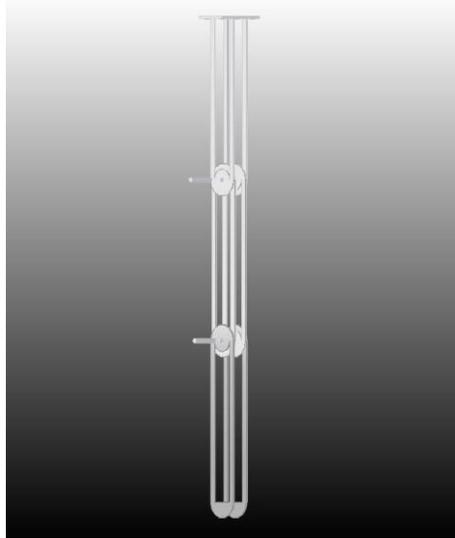
Fonte: Autoria própria.

#### Montagem do braço:

Após fabricados todos os componentes, os mesmos foram combinados e o braço foi montado. Para isso, dividiu-se o braço em quatro partes: base, elo primário, elo secundário e elo terciário. Com exceção da base, cada parte foi composta por dois elos que seriam unidos aos outros dois elos. Para realizar a junção dos braços, foi utilizado um eixo de geometria circular. O dimensionamento do eixo, mancal e rolamentos serão explanados nas próximas etapas do trabalho.

Inicialmente, montou-se o mecanismo responsável por estabilizar o braço. Esse é composto pela base de sustentação e os dois componentes do elo primário. Em uma segunda etapa, foram montados os elos secundário e terciário. Para uni-los, utilizou-se o eixo circular como forma de fixação dos dois mecanismos. A Figura 7 apresenta a montagem.

Figura 7: Montagem dos elos primário, secundário e terciário



Fonte: Autoria própria.

Detalhamento do projeto:

Buscou-se detalhar e dimensionar cada componente do braço, bem como apresentar informações de projeto tais como materiais, características geométricas e estruturais e também os esforços sobre cada componente.

Após terminada a etapa de montagem do braço, inicia-se a etapa de cálculos de esforços e também o dimensionamento de componentes. Para isso, foram utilizadas ferramentas de engenharia em alguns cálculos e, também, o auxílio de tabelas que regulamentam algumas especificações.

Seleção de materiais:

O primeiro passo para detalhar o projeto foi a escolha do material do dispositivo. Realizou-se uma pesquisa de mercado a fim de identificar no cenário atual materiais que fossem compatíveis ao projeto. Durante a pesquisa, foram utilizados alguns critérios para a seleção do material. A seguir, são apresentados os critérios utilizados:

- Dimensionais;
- De forma;
- Peso;
- Resistência mecânica;
- Resistência ao desgaste;
- Facilidade de fabricação;

Disponibilidade do material; e  
Custo.

Após realizar a pesquisa, três materiais se destacaram: aço, fibra de carbono e alumínio liga 2024.

Como forma de determinação do material do braço, utilizou-se de um conceito importante quando se necessita escolher um material para algum projeto. Esse conceito é conhecido na bibliografia como Índice de Mérito (IM) ou Índice de desempenho. O mesmo permite julgar o desempenho dos diversos materiais para uma função específica desejada (CALLISTER, 2002).

Para calcularmos o IM devemos seguir algumas etapas. São elas:  
Estabelecimento da função do produto ou componente;  
Estabelecimento do objetivo principal; e  
Identificação da restrição.

Como principal função do dispositivo, pode-se descrever o mesmo como um componente para elevação de carga. O objetivo principal da seleção é obter um dispositivo com uma maior rigidez elástica, com o menor peso possível e de baixo custo. Como restrição, o dispositivo não poderá sofrer fraturas.

Após identificar o problema, tomando conhecimento das restrições e dos requisitos de projeto, o Índice de Mérito foi determinado. Para cálculo do IM foi utilizada a Equação 1:

$$IM = \frac{E}{\rho} \quad (1)$$

Em que E é o modulo de elasticidade e  $\rho$  é o peso específico do material.

Os valores calculados de IM para o aço comum (1020), fibra de carbono e alumínio foram, respectivamente, 26.05, 130.68 e 27.59.

Após calcular os valores de IM, foi pesquisado o custo total de cada material. Os valores por quilo de material podem oscilar. Por isso, a cotação foi a mais atualizada, compreendendo o período de Março/2019.

O cálculo do custo de material foi realizado de maneira simples. Multiplicou-se o valor do quilograma de cada material pela quantidade gasta. A Equação 2 representa esse cálculo.

$$Ct = M * P \quad (2)$$

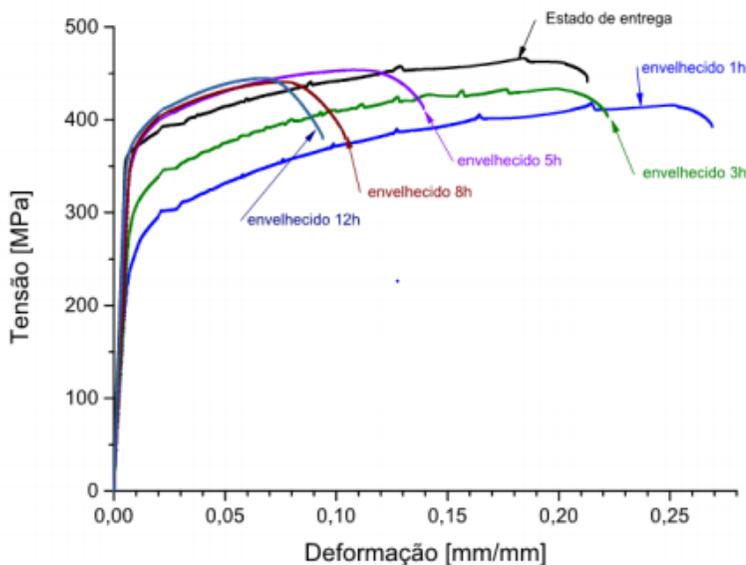
Em que Ct é o custo total, M é a quantidade de massa calculada e P o valor por cada quilo de material.

Para obter o valor da massa de cada um, foi utilizado o software SolidEdge 2016. O custo em material para o aço comum foi de R\$3,62, fibra de carbono R\$150,23 e Alumínio R\$7,17.

Calculados os valores de IM e o valor total do material necessário para a construção do braço, optou-se por utilizar a liga de Alumínio 2024. A escolha do material, além do índice de mérito, se deu por algumas características específicas do mesmo. A liga de alumínio 2024 é largamente utilizada pela indústria aeronáutica e automobilística, devido a sua dureza e baixa densidade.

Quando tratado termicamente este material têm suas propriedades alteradas. O aumento do limite de resistência a tração e dureza são alterações desejáveis quando se submete a liga 2024 a algum tipo de têmpera. Dessa maneira, optou-se pelo material temperado nas condições de têmpera T3. Nesse tipo de processo, o material é solubilizado, trabalhado a frio e envelhecido naturalmente até uma condição substancialmente estável. A Figura 8 apresenta o comportamento da liga em diferentes condições de têmpera.

Figura 8: Curvas características obtidas em ensaios de tração para a liga 2024 em diferentes tempos de envelhecimento



Fonte: CAVALCANTE, 2016.

Dimensionamento do diâmetro do eixo ( $\phi$ ):

Conforme supracitado, foi necessário realizar o dimensionamento do diâmetro do eixo que interliga os elos do braço do manipulador. Como forma de cálculo utilizou-se o critério DE-Asme Elíptico. O mesmo pode ser descrito pela Equação 3 abaixo (NORTON, 2013).

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{Kf.Ma}{Se} \right)^2 + 3 \left( \frac{Kfs.Ta}{Se} \right)^2 + 4 \left( \frac{Kf.Mm}{Sy} \right)^2 + 3 \left( \frac{Kfs.Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

Onde:

d = Diâmetro a ser calculado;

Kf = Fator de concentração de tensão de fadiga para flexão;

Kfs = Fator de concentração de tensão de fadiga para torção;

Ma = Momento flexor alternante;

Mm = Momento flexor médio;

Ta = Torque alternante;

Tm = Torque médio;

Se = Limite de endurance; e

Sy = Tensão de escoamento.

Para solucionar essa equação, alguns valores foram dimensionados e outros consultados em tabelas. Pode-se calcular o valor de Kf e Kfs através das equações que correlacionam o coeficiente de sensibilidade de entalhe “q” aos fatores de concentração de tensão Kt e Kts. As Equações 4 e 5 representam esses cálculos.

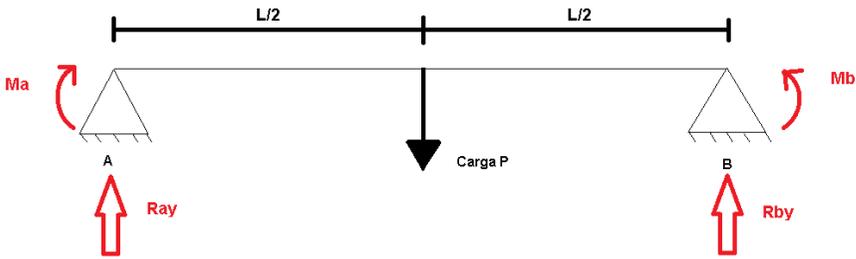
$$Kf = 1 + Q(Kt - 1) \quad (4)$$

$$Kfs = 1 + Qcis(Kts - 1) \quad (5)$$

Como o eixo possui geometria e propriedades físicas constantes ao longo de seu comprimento, não existem entalhes na peça. Por esse motivo, o valor de “q” assumido é 0. Dessa maneira, o valor assumido para Kf será 1. O mesmo ocorre para o valor de cisalhamento, em que o valor de Kfs também assume o valor 1.

O valor para Ta (torque alternante) e Tm (torque médio) foram fornecidos e possuem o valor de 10N.m e 30N.m, respectivamente. A Figura 9 apresenta os esforços atuando em cada elo do manipulador. A situação pode ser descrita como uma barra axial de geometria constante, biapoada e com uma carga simples posicionada na metade de seu comprimento total.

Figura 9: Forças e reações sobre os elos do manipulador



Fonte: Autoria própria.

Foram utilizadas as Equações 6 e 7 para o cálculo dos momentos fletores:

$$Ma = \frac{Pa.L}{2} \quad (6)$$

$$Mb = \frac{Pm.L}{2} \quad (7)$$

Em que L é o valor do comprimento total do eixo, Pa o valor da carga alternante e Pm o valor da carga média.

Solucionadas as equações, obtêm-se os valores dos momentos fletores.

$$Ma = 0.1839 \text{ N/mm}; e$$

$$Mb = 0.5518 \text{ N/mm}.$$

Os valores de Sy (Tensão de escoamento) e Se (limite de endurance ou Limite de resistência a fadiga) puderam ser obtidos através de tabelas de propriedades mecânicas e físicas de algumas ligas de alumínio. Pelas tabelas, os valores para Sy e Se são fornecidos.

$$Sy = 490 \text{ Mpa}; e$$

$$Se = 125 \text{ Mpa}.$$

Estabelecidas todas as variáveis, parte-se para o cálculo do diâmetro do eixo. Como já mencionado anteriormente, é utilizada a Equação 8 estabelecida no critério DE-Asme Elíptico. O valor encontrado para o eixo foi de 0,01006m ou aproximadamente 10mm.

Dimensionamento do mancal e rolamentos:

Após determinado o diâmetro do eixo, partiu-se para o dimensionamento dos mancais e rolamentos. O primeiro passo foi determinar o tipo de rolamento que seria utilizado. Ao realizar consulta de mercado para os rolamentos disponíveis, optou-se por utilizar o rolamento rígido de esferas.

Uma das principais vantagens dos rolamentos rígidos de esferas, além de permitir o trabalho em altas velocidades, está no baixo atrito, com torque pequeno. Por esse motivo, esses componentes apresentam baixo nível de ruído e vibração. Além disso, necessitam de pouca manutenção, mesmo com cargas mais leves, com baixo requisito de cargas mínimas.

Ao consultar o catálogo da marca SKF e fornecer as especificações do eixo e condições de trabalho, foi fornecido o rolamento a ser utilizado. O rolamento selecionado foi o modelo W 6000-2Z.

Determinado o rolamento, parte-se para a determinação do tipo de mancal. O primeiro passo tomado foi o cálculo da classificação do mesmo. Através desse cálculo, foi possível determinar o tipo do mancal a ser usado. Para isto, foi utilizada a metodologia de cálculo para carga de catálogo (C10) (SHIGLEY e MISCHKE, 2015). Para a determinação da carga de catálogo a Equação 9 é utilizada.

$$C10 = FD \left( \frac{Ld.Nd.60}{10^6} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (9)$$

Em que:

C10 = Valor da carga de catálogo;

Fd = Carga radial desejada;

ld = Vida desejada (horas);

nd = Velocidade desejada (rev/min);

lr = Vida nominal (horas);

nr = Velocidade de classificação (rev/min); e

a = Constante tabelada para mancais de esfera.

Como especificações, os valores para solucionar a equação foram fornecidos pela Tabela 1.

Tabela 1: Especificações de projeto para cálculo de mancal

<b>Carga radial desejada (Fd)</b>	<b>6 Newtons</b>
<b>Vida desejada (Ld)</b>	<b>10<sup>3</sup> horas</b>
<b>Velocidade desejada (Nd)</b>	<b>10 rev/min</b>
<b>Constante de confiabilidade (a)</b>	<b>3</b>

Fonte: Autoria própria.

Substituindo os valores, é encontrada a carga de catálogo desejada, em que seu valor é  $C10 = 5,07 \text{ KN}$ .

Obtido o valor de C10, utiliza-se a tabela de “Dimensões e Cargas Nominais de mancais de esfera” para dimensionar os componentes do mancal. A tabela fornece valores já normalizados pela ABMA (American Boiler Manufacturers Association).

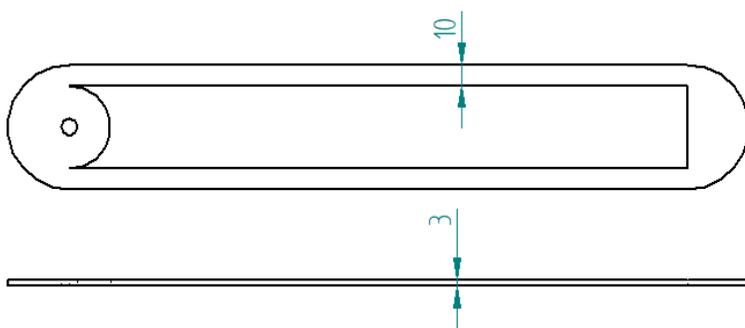
Após consultar alguns modelos de mancais disponíveis no mercado, devido às limitações de forma, optou-se por desenvolver um mancal específico para o dispositivo. O material utilizado para fabricação do mancal é o Alumínio 2024, o mesmo utilizado na fabricação do braço.

#### Estudo dos esforços:

Inicialmente, considerou-se o dispositivo contendo todos os seus elos posicionados no sentido vertical, estando engastados na base. Sendo assim, foi considerado que o dispositivo estaria submetido a um esforço de tração equivalente à soma das massas do dispositivo e seus componentes juntamente com a carga de trabalho do mesmo.

Como o braço possui diferentes valores para as áreas intermediárias dos elos, para realizar o cálculo do valor máximo da tensão, utilizou-se da menor área de seção no cálculo, onde seria o ponto crítico da peça. Sabendo que o elo possui 3 milímetros de espessura, o valor da altura da seção média do elo é de 10 milímetros e que a força atua sobre as duas hastes, o valor da área utilizada para cálculo foi de  $60\text{mm}^2$ . A Figura 10 apresenta as dimensões da seção média do elo.

Figura 10: Dimensões da seção média do elo



Fonte: Autoria própria.

O valor total da massa do dispositivo é de 0.581kg. Além deste valor, inclui-se também o valor da capacidade de carga do dispositivo que é de 1kg. O valor utilizado para a força foi de 1.581kg. Considerando os valores de força, área

e propriedades constantes, utiliza-se a Equação 10 para dimensionar a tensão normal média (AZEVEDO, 1996).

$$Tm = \frac{P}{A} \tag{10}$$

Onde:

Tm = Tensão normal média;

P = Carga atuante; e

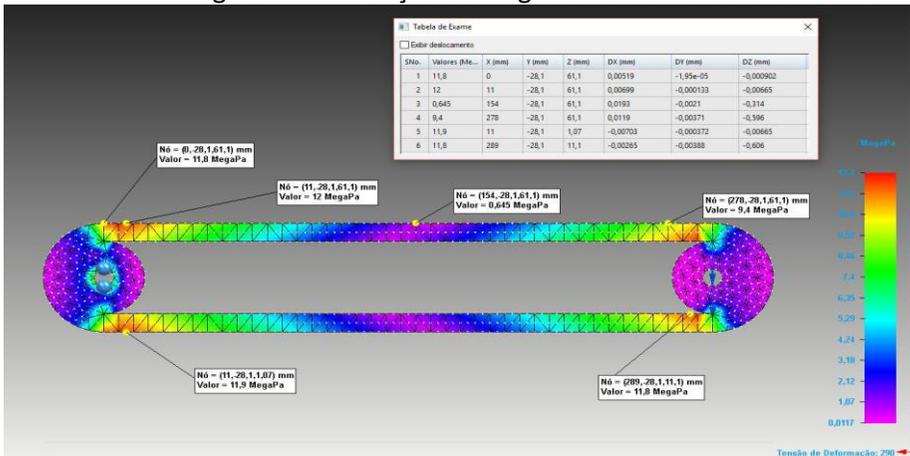
A = Área respectiva de atuação da força.

É obtido o valor de tensão normal igual a 0.1292 MPa.

Também foi realizado uma simulação da distribuição da tensão sobre a geometria do dispositivo. Os elos tiveram suas análises baseadas em duas situações. A primeira situação foi analisada quando é aplicado uma força normal à peça, gerando uma tensão normal na peça. O valor encontrado na simulação foi de 0.13 MPa no ponto mais crítico do componente.

Em um segundo momento, analisou-se o comportamento do elo quando submetido ao mesmo esforço, porém considerou-se a força atuando normalmente ao elo, ou seja, atuando num ângulo de 90º formado entre a peça e o sentido de atuação da força. A Figura 11 apresenta a simulação da aplicação dos esforços via software de elementos finitos.

Figura 11: Simulação de carga de flexão no elo secundário



Fonte: Autoria própria.

Ao realizar a simulação para carga de flexão, foi encontrado um valor máximo de 11.9 Mpa.

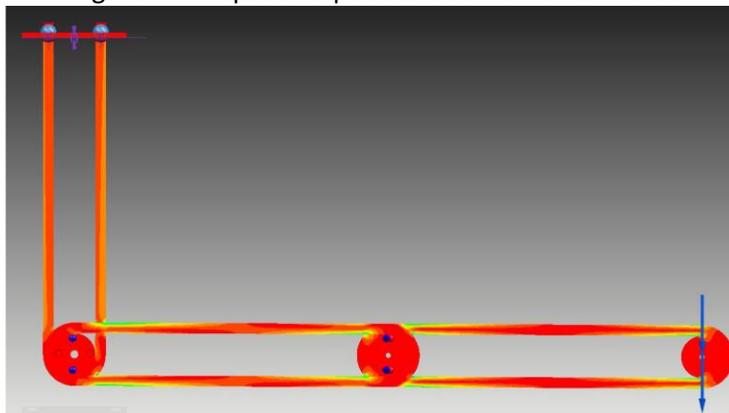
Também foi realizado um estudo do comportamento do eixo quando submetido a um esforço normal. O valor considerado para a força foi de 15.51 Newtons, referente ao esforço máximo exercido sobre o dispositivo. O

resultado encontrado para o esforço normal máximo que atua sobre o eixo foi de 0.314 Mpa.

Estes valores obtidos através das simulações foram essenciais para garantir a total eficiência dos componentes para realizar os trabalhos de elevação de carga (SORIANO, 2005).

Para finalizar, calculou-se a reação de momento gerada na base do dispositivo quando este se encontrava disposto com seus dois elos móveis alinhados horizontalmente, atingindo o maior raio de ação. A Figura 12 apresenta a análise via elementos finitos dos esforços de cada junta.

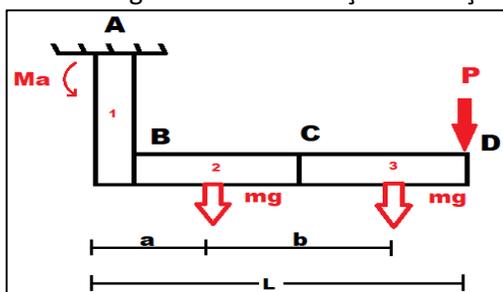
Figura 12: Dispositivo posicionado horizontalmente



Fonte: Autoria própria.

Foi utilizada a equação envolvendo o valor da força  $P$  e a distância  $L$  entre a base e local de aplicação da força, além dos valores de massa e a distância atuante da força peso de cada elo. Desenvolveu-se os cálculos através do somatório de momentos. Para isto, foi considerado cada força atuante sobre o braço. Deste modo, fez-se necessário a divisão do mesmo em 3 partes, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13: Diagrama de distribuição de forças sobre o mecanismo



Fonte: Autoria própria.

Sabendo que a estrutura é estática, que o valor do somatório dos momentos tem que ser igual a zero e que o sentido considerado foi o anti-horário, tem-se que  $\Sigma Ma = 0$ . Assim, o valor encontrado para a reação de momento  $Ma$  foi de 7.59Nm.

A Figura 14 apresenta a versão final do manipulador. Pela figura pode ser verificado que em caso de falta de energia, o robô retorna à sua configuração inicial, o que representa uma situação de equilíbrio estável.

Figura 14: Manipulador robótico atuado por músculos de Mckibben



Fonte: Autoria Própria.

### **Conclusão**

O artigo atingiu seu objetivo de desenvolver um manipulador atuado por músculos de Mckibben. Tal feito foi realizado através da metodologia FEL, em que é possível dividir e organizar o projeto do mecanismo em etapas distintas. Baseando-se nas etapas, também conhecidos como portões, cada passo necessário para a execução do protótipo foi classificado dentre as três subdivisões da metodologia em questão.

No processo de modelamento do protótipo, buscou desenvolver um mecanismo capaz de realizar sua função de forma eficiente visando a redução de massa e, conseqüentemente, um dispositivo mais leve. A geometria do manipulador foi estabelecida para que não houvesse complexidade durante o processo de fabricação, visto que o custo é maior para geometrias complexas e que exijam processos mais tecnológicos.

O uso de ferramentas da engenharia é considerado um importante fator durante a execução do projeto, pois através delas foi possível determinar

dimensões e espessuras de alguns componentes, conferindo a eles eficiência e confiabilidade.

## Referências

AZEVEDO, A. F. M. **Mecânica dos Sólidos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.

BOMFIM, Marcelo Henrique Souza; LIMA II, Eduardo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz; NASCIMENTO, Samy Marcelo; PEIXOTO, Maria Clara. Metodologia de Fabricação por Perfis Aplicada à Fabricação de Mecanismos Robóticos. In: **8 Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, maio, Salvador, 2015.

BOUTEILLE, D. et al. **Les Automatismes Programables**. Toulouse, 1997.

CALLISTER JR, WILLIAM D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CAVALCANTE, Felipe Fernandes. **Comportamento mecânico e tenacidade à fratura de ligas de alumínio 2024 e 7075 submetidas a diferentes tempos de envelhecimento (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)**. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

DE MASI, Domenico. **A sociedade pós-industrial**. Senac, 1999.

HOŠOVSKÝ, A. et al. **Dynamic characterization and simulation of two-link soft robot arm with pneumatic muscles**. Mechanism and Machine Theory, v. 103, p. 98-116, 2016.

NORTON, Robert L. **Projetos de máquinas**. 4ª Edição, Bookman, 2013.

SCHIAVICCO, L.; SICILIANO, B. **Robotica Industriale - Modellistica e Controllo di Manipolatori**. 1 ed., Milano: McGraw-Hill Inc., 1995.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. H. **Mechanical Engineering Design**. 10th. ed., New York: McGraw-Hill, 2015.

SORIANO, H. L. **Análise de Estruturas - Formulação Matricial e Implementação Computacional**. [S.l.]: Ciência Moderna, 2005.

# Design de embalagem: estudo da aplicação da casca de laranja como colorante na produção de descartáveis de amido termoplástico

Mapaulla Moreira Martins (mapaulla19@gmail.com)<sup>9</sup>  
Daphne Lorane Oyarce dos Santos (daphne@gmail.com)<sup>10</sup>  
Artur Caron Mottin (artur.mottin@ifmg.com.br)<sup>11</sup>

## Resumo

O plástico convencional é um material recorrente na vida moderna, pode ser empregado em diversas áreas como alimentício, farmacêutico e industrial, no entanto é um dos grandes causadores da poluição, pela razão de não ser biodegradável. Uma das maneiras de mitigar a poluição é a substituição de matérias que tem menos impacto ambiental. O objetivo da pesquisa é incorporar o corante da casca da laranja em um filme polimérico natural como agente estético, de maneira que atraia os consumidores e, além disso, como embalagem descartável, atendendo principalmente custos e amplificação da utilidade do mesmo. As etapas foram divididas da seguinte forma extração do colorante, inserção, estudo da absorção de água, ensaio mecânico, colorimetria. Os resultados obtidos foram mensurados através dos ensaios de tração e colorimetria e inchamento. Diante dos ensaios, a casca da laranja demonstrou ser um bom colorante.

**Palavras-chave:** polímeros naturais, pegada ambiental, agente estético.

---

<sup>9</sup> Graduanda em Engenharia Mecânica – IFMG campus Congonhas

<sup>10</sup> Graduanda em Engenharia Mecânica – IFMG campus Congonhas

<sup>11</sup> Docente do curso de Engenharia Mecânica do IFMG – Campus Congonhas

## Introdução

Com a mudança de hábitos e a globalização vem-se utilizando mais embalagens plásticas, devido ao aumento da produção de bens de consumo principalmente no segmento alimentício e farmacêutico. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018) um terço do lixo doméstico é composto por embalagens, sendo que aproximadamente 40% são plásticos.

Polímeros convencionais, que na sua maioria são derivados do petróleo, apresentam extensas aplicabilidades, alta durabilidade, baixo custo, propriedades mecânicas e químicas vantajosas, porém possuem tempo de decomposição elevado decorrente da alta massa molar média e da hidrofobicidade dificultando a atividade dos microrganismos e de suas enzimas na parte exterior do mesmo, assim, o uso imoderado e o descarte inadequado na natureza levam a problemas pertinentes como poluição, problemas de saúde e diminuição da vida útil dos lixões. (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

As desvantagens das embalagens tradicionais intensificaram a demanda social e ambiental por materiais biodegradáveis, porém o mercado ainda é tímido, contudo projeções futuras estimam que no continente europeu as utilizações dos bioplásticos cresçam de 2,05 milhões de toneladas em 2017 para aproximadamente 2,44 milhões de toneladas até 2022 (EUROPEAN BIOPLASTIC; NOVE-INSTITUTE, 2017). Os bioplásticos podem ser de fontes naturais ou sintéticas e para a utilização em embalagens são os mais atraentes, pois sua parcela de poluição dentre os demais é menor.

Desse modo, existe uma ampla variedade de filmes poliméricos naturais tais como celulose, carboidratos, proteínas e ácidos nucléicos auxiliados por corantes naturais, por exemplo, a casca da laranja, como agentes estéticos para maior aceitação no mercado, mas quando comparado ao convencional o processo de fabricação dos bioplásticos é mais caro e tem aplicações mais limitadas.

A laranja é uma fruta cítrica comercializada em larga escala no Brasil devido ao baixo custo durante o processo, tornando o país o maior comerciante, responsável por 60% da produção mundial. (FRANCO, 2016). A casca da laranja representa cerca de 20 a 30% do total da massa da laranja, sendo, portanto, uma biomassa barata, abundante e prontamente disponível tendo como fornecedores as indústrias de processamento de sucos, já que cerca de 80% da produção de laranja são destinadas a indústria de bebidas.

Diante disso, o vigente estudo aponta uma alternativa viável para obter um colorante a partir da casca de laranja e incorporá-lo ao amido de milho plastificado com glicerol para produção de um filme de amido plastificado colorido que possa ser usado como embalagem descartável, de tal forma que atenda principalmente custos e amplificação da utilidade do mesmo.

Com a utilização do amido, o plástico apresenta propriedades mecânicas consideráveis, boas propriedades para barreira de oxigênio, ou seja,

uma embalagem que seja capaz de resistir à liberação de gases, uma vez que o oxigênio pode alterar a composição química do produto (CRUZ, 2013). Além disso, é um dos recursos mais abundantes e versáteis para a produção de polímeros, pois pode ser obtido de diversas fontes vegetais. É importante salientar que o ponto de fusão do amido é mais alto que sua temperatura de decomposição térmica, tal impasse é ajustado com a adição de plastificantes com o intuito de diminuir o ponto de fusão, de modo que possui propriedades de engenharia superiores quando comparadas as do amido (OLIVEIRA, 2015).

A primeira parte da presente pesquisa visa estudar as condições de extração do corante da casca de laranja, sua incorporação em um polímero termoplástico, e as condições de processamento do polímero colorido, além das propriedades mecânicas do mesmo. Na etapa final do projeto serão propostas aplicações práticas do material como embalagem descartável.

### **Metodologia**

Esse projeto se caracteriza pela pesquisa básica e aplicada. A pesquisa básica, também chamada de fundamental, consiste em trabalhos e pesquisas para ampliar o conhecimento sobre o mundo que se conhece e tudo o que o constitui, sem aplicações práticas previstas, é motivada pela curiosidade e deve ser divulgada para toda a comunidade a fim de propor discussões e debates. (GALOÁ JOURNAL, 2018; GERHARDT, SILVEIRA, 2009).

Ainda segundo os mesmos autores, a pesquisa aplicada procura utilizar toda a informação disponível e transformá-la em novas tecnologias e métodos, dirigidos para a solução de problemas específicos, gerando resultados mais palpáveis, com o objetivo de melhorar a sociedade como um todo.

Diante disso, a metodologia utilizada para esta pesquisa será dividida em cinco etapas, são elas: extração do corante, inserção, estudo da absorção de água ou inchamento, ensaio mecânico e colorimetria. Os materiais utilizados para o estudo serão: amido de milho (Yoki Alimentos S. A., Paranaíba, Brasil), e as cascas de laranja a serem disponibilizados pelo professor pesquisador / orientador da pesquisa.

#### ***Extração do corante da casca de laranja (OP)***

A extração do corante será baseada na pesquisa de Hou et al. (2013), específica da extração de corante da casca de laranja. Além disso, serão realizados experimentos baseados nos resultados obtidos pelo grupo de pesquisa em experimentos de extração de corantes naturais de fontes diversas utilizando ultrassom. De acordo com os autores supracitados, o corante OP pode ser obtido fazendo-se a extração em água (15:1) a 100°C por 120 min e posterior filtração em peneira de aço inoxidável (400 mesh).

### ***Inserção do colorante no amido termoplástico***

Os filmes serão preparados através da técnica de *casting* / vazamento reportada por Schmidt (2013). A partir de uma suspensão aquosa de amido de mandioca de 4%p (Yoki Alimentos S. A., Paranaíba, Brasil) em água destilada, preparada em agitador magnético de placa aquecida a 70°C. Posteriormente será adicionado 24%p de glicerol em relação à massa de amido utilizada e aquecido até 80°C, onde será mantido por 5 minutos até sua gelatinização. Posteriormente serão vasados em porta amostras e secados em estufa a 50°C por 24h. Os corantes obtidos da casca de laranja serão inseridos em diferentes proporções em substituição de parte da água deionizada utilizada na preparação dos filmes.

### ***Estudo da absorção de água pelo material ou inchamento***

A absorção de água será determinada através da diferença de massa dos filmes antes ( $m_1$ ) e depois ( $m_2$ ) de submerso em água deionizada, com diferentes tempos de exposição 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 e 160 minutos de modo contínuo. As amostras serão pesadas em balança analítica e sua capacidade de absorção será calculada através da equação:

$$MA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

### ***Ensaio mecânico***

As amostras de amido plastificado puro e as amostras coloridas com os diferentes teores de colorantes serão submetidas ao ensaio de tração em máquina Universal de Ensaio modelo EMIC DL 20000 (Figura 1a). Os corpos de prova do tipo IV segundo a norma ASTM D 638, que padroniza o ensaio de tração para polímeros, serão produzidos usando uma faca de corte para estampagem de corpos de prova (Figura 1b). O objetivo da aplicação desse ensaio é avaliar as possíveis mudanças nas propriedades mecânicas do polímero devido à presença do colorante. Serão ensaiadas três amostras de cada corpo de prova.

Figura 1: (a) Máquina Universal de Ensaio modelo EMIC DL 20000 (IFMG - Mecânica) e (b) Faca de corte para estampagem de corpos de prova tipo IV segundo a norma ASTM D638



### **Colorimetria**

Será feita a simulação da exposição das amostras dos polímeros coloridos à luz solar por meio da exposição à duas lâmpadas TL UVA-1 100W-R/10 da marca Philips com o espectro de emissão com comprimento de onda na faixa de 350 nm em uma câmara de alumínio (Figura 2a), seguindo os procedimentos definidos na norma ASTM G154-12A. Serão realizadas medidas da variação dos parâmetros de cor  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  (sistema CieLab) com auxílio de um colorímetro Konica Minolta modelo CR-10 Plus (Figura 2b), apto a medir a variação total de cor ( $\Delta E^*$ ) entre duas amostras. O ensaio colorimetria será feito em parceria com a UEMG – Escola de Design.

Figura 2: (a) Amostras posicionadas no interior da câmara com duas lâmpadas TL UVA-1 100W-R/10(UEMG) e (b) Leitor de cor Konica Minolta (CM-700D) Plus (colorímetro) para medição da diferença de cor entre duas amostras



## Resultados

Os resultados obtidos foram mensurados através dos ensaios de tração e colorimetria e inchamento, os quais serão evidenciados.

### **Ensaio de tração**

Através do ensaio de tração observaram-se diferentes valores do colorido em relação ao puro. Os valores esboçaram que o colorido exibe uma maior resistência, 5,58 MPa, já o puro 3,01 MPa, partindo do pressuposto que quanto maior a resistência menor o alongamento, o polímero colorido apresentou um alongamento de 32,78%, enquanto o material puro apresentou 35,73% de alongamento.

### **Colorimetria**

As diferenças se estendem aos parâmetros obtidos na colorimetria.

A refletância pode ser mensurada através da equação:

$$\text{Refletância} = 0,2125 * R + 0,7154 * G + 0,0721 * B$$

É notável que exista uma diferença entre as amostradas estudadas, o puro exibe um valor mais alto de refletância do que colorido correspondendo respectivamente 0,79068475 e 0,45877465. Com base nisso, pode-se afirmar que a cor influencia o valor da refletância, de tal modo que a adição de cor ao material faz o mesmo refletir menos a luz na região visível em relação ao sem a adição de cor (CASTRO, LABAKI, CARAM, BASSO, FERANDES, 2003).

A intensidade de cor na região visível é dada pela equação Kubelka-Munk:

$$\frac{k}{s} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

O polímero colorido tem uma intensidade maior em relação ao puro, 0,12415024, 0,08275119 respectivamente. Conforme BALIARSINGH (2015) existe uma correlação inversa entre intensidade e refletância, além disso, é diretamente proporcional a quantidade de corante presente na amostra (apud PAGNAN, 2018).

Foram convertidos os resultados RGB para CIELAB, por meio do site [easyrgb.com](http://easyrgb.com). Portando destes valores é capaz de evidenciar as mudanças dos materiais quando são submetidos à radiação UV. A partir das equações:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Sabendo-se que:

$$\Delta l = L_{cor} - L_{puro}$$

$$\Delta a = a_{cor} - a_{puro}$$

$$\Delta b = b_{cor} - b_{puro}$$

Assim foi possível calcular a variação de mudança total de cor ( $\Delta E$ ) e a luminosidade ( $\Delta l$ ) entre os dois polímeros. A grandeza  $L^*$  exibe a luminosidade, ou seja, quanto mais branco o valor é mais próximo de cem e quanto mais preto o valor é próximo de zero. As demais,  $b^*$  e  $a^*$  esta relacionada ao seu comprimento de onda podem esboçar valores negativos ou positivos, para  $a^+$  indica vermelho e  $a^-$  verde, para  $b^+$  amarelo e  $b^-$  azul.

A variação de cor foi 58,6532024, tal valor constata que o uso do corante natural da fruta tem capacidade de mudar a cor do elemento de forma considerável. Como o colorido é mais escuro do que o sem adição de cor, a variação de luminosidade é -29,7393, um valor negativo, evidenciando que a luminosidade variou para mais próximo de zero, ou seja, a cor do colorido é mais escura do que o puro.

### ***Inchamento***

A absorção da água na amostra teve um comportamento exponencial negativa, ao decorrer dos 10 primeiros minutos para o sem corante e 20 para o com corante o peso de ambas foi aumentando gradualmente, com o passar do tempo desencadeou-se a perda de massa através do processo de hidrolise até 120 minutos, depois o processo manteve-se estável. À vista disso, pode-se afirmar que o material é hidrofílico, pois quando imerso inicialmente o mesmo reage ao fluido, ocasionando absorção da água até sua saturação.

O retardamento no processo de inchamento das amostras demonstra que o colorante obtido da casca de laranja pode ter induzido a ligações cruzadas no termoplástico de amido. Segundo Qin et al. (2019), Zou et al. (2016) o ácido cítrico pode induzir ligações cruzadas em polímeros termoplásticos de amido. Não sendo objeto específico do nosso estudo, mas devido a fonte da casca de laranja, pode-se atribuir a tal componente a modificação das propriedades mecânicas e de inchamento no material.

### **Conclusão**

Conclui-se que através da adição de cor, o filme polimérico alterou suas propriedades mecânicas, entretanto, suas propriedades químicas não foram avaliadas. Além disso, sua intensidade e sua variação de cor evidencia que a casca da laranja demonstra ser um ótimo corante para a utilização de embalagens.

Desta forma, a utilização do amido colorido com casca de laranja como material descartável, se alinha aos objetivos da presente pesquisa, sendo satisfatório quanto à agregação estética pela inserção de corante, ao baixo custo devido à utilização de plastificantes naturais e quanto à decomposição decorrente da degradação por hidrólise.

Diante disso, para melhor entendimento do produto seria interessante o estudo da quantidade necessária da casca para uma determinada intensidade de cor, de maneira que o produto não tenha variação da cor em relação ao outro lote de fabricação, e fazer uma pesquisa de mercado para entender se os clientes estão dispostos a consumir embalagens sustentáveis, mesmo que exista algum tipo de desvantagem econômica.

## Referências

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual de educação – consumo sustentável**. 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente.html>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

FRANCHETTI, S. M. M; MARCONATO, J. C. **Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos**. 2006. 6 páginas. 811-816. EUROPEAN BIOPLASTIC; NOVA-INSTITUTE, *Bioplastics facts and figures*, 2017. Disponível em: [https://www.europeanbioplastics.org/wpcontent/uploads/2017/11/Global\\_Production\\_Capacity\\_Total\\_2017-2022\\_en.jpg](https://www.europeanbioplastics.org/wpcontent/uploads/2017/11/Global_Production_Capacity_Total_2017-2022_en.jpg). Acesso em: 10 nov. 2018.

FRANCO, A. S. M. **O suco de laranja brasileiro no mercado mundial**. Análise conjuntural. v.38. n.11-12/nov./dez. 2016.

OLIVEIRA, C. F. P. **Obtenção e caracterização de amido termoplástico e de suas misturas com polipropileno**. 2015. 119 páginas. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

GALOÁ JOURNAL. **Pesquisa básica e pesquisa aplicada: o que são e suas importâncias**. Disponível em: <<https://galoa.com.br/blog/pesquisa-basica-e-pesquisa-aplicada-o-que-sao-e-suas-importancias>>. Acesso em 04 set. 2018.

GERHARDT, Tatiana Engel. SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em 04 set. 2018.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. (2003); **Medidas de reflectância de cores de tintas através de análise espectral**. ANTAC,8. PUC- RIO; Fundamentos teóricos – revisão bibliográfica. 2018, 36f.

PAGNAN, C. S.; **Percepção dos usuários frente a produtos fabricados via impressão 3D em PLA colorido com masterbatch de urucum**. Belo Horizonte, Minas gerais, Brasil. 2008. 158f. Tese – Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ZHOU, J.; TONG, J.; SU, X.; REN, L. **Hydrophobic starch nanocrystals preparations through crosslinking modification using citric acid**. Int. J. Biol. Macromol. 2016, 91, 1186–1193

QIN, Y.; WANG, W.; HUI, Z.; YANGYONG, D.; HANXUE, H.; DONG, H. **Effects of Citric Acid on Structures and Properties of Thermoplastic Hydroxypropyl Amylomaize Starch Films**. Materials, 12, 1565; doi:10.3390/ma12091565, 2019.

# Ensino de Física para surdos

Ana Rachel Carvalho Leão (ana.leao@ifmg.edu.br)

Arilson Paganotti (arilson.paganotti@ifmg.edu.br)

Crislayne Aparecida Modesto Reis (crislaynemodesto@hotmail.com)

## Resumo

Este artigo tem por objetivo apresentar um projeto de extensão que se desenvolveu no Campus Congonhas do Instituto Federal de Minas Gerais durante o ano de 2017. O projeto foi criado para que a comunidade surda da região do Alto Paraopeba tivesse acesso a conhecimentos da área de Física, uma vez que nem todos os surdos da região tiveram a oportunidade de aprender esse conteúdo na época em que cursaram o Ensino Médio. Além disso, outros grandes objetivos do projeto foi oportunizar alunos do curso de Licenciatura em Física a ter contato com alunos surdos e aprender a preparar aulas próprias para esse público e, também, colocar em prática a Libras, disciplina que eles cursam ao final da Licenciatura.

**Palavras-chave:** Libras; Educação; Astronomia.

## Introdução

O projeto de extensão apresentado neste artigo aborda questões sobre o Ensino de Física para surdos em Libras (Língua de Sinais Brasileira). A ideia do projeto surgiu de um trabalho de conclusão de curso (TCC), de autoria de Crislayne Aparecida Modesto Reis, egressa do curso de Licenciatura em Física do campus Congonhas do IFMG. O TCC teve como objetivo a criação de materiais táteis e visuais para o Ensino de Física para surdos e cegos.

Ainda não há no Brasil materiais didáticos desenvolvidos especificamente para alunos surdos, falantes da Libras como primeira língua e da língua portuguesa como segunda língua. Apesar de os surdos já terem sua língua de sinais reconhecida no Brasil desde 2002, pela promulgação da Lei Federal 10.436 de 24 de abril (BRASIL, 2002), ainda não têm acesso a tudo que é ensinado nas escolas por essa língua. Vários são os fatores que levam ao ensino dos surdos somente em língua portuguesa, já que ainda há, na nossa sociedade, um desconhecimento de que os surdos não aprendem em língua portuguesa da mesma forma que os alunos ouvintes.

A comunidade surda sinalizadora, que se comunica na maior parte do tempo por meio da língua de sinais, acredita que a Libras é a língua mais natural para eles, uma vez que é falada com o corpo e percebida pelos olhos. O ensino da Física em Libras garante a acessibilidade das aulas para os surdos que sinalizam. Concordamos com Lacerda (2006) quando afirma que não basta a presença do intérprete para se considerar que o aluno surdo foi efetivamente incluído, mas a escola como um todo precisa se adequar para que a aprendizagem do aluno surdo se dê de forma eficaz. A autora sugere medidas como “adequação curricular, aspectos didáticos e metodológicos, conhecimentos sobre a surdez e sobre a língua de sinais, entre outros” (LACERDA, 2006, p. 177).

De acordo com as falas de estudantes surdos de Ensino Fundamental e Médio, muitas vezes os alunos surdos ficam excluídos do que é ensinado nas escolas devido a falta de intérpretes, perda de conteúdo devido à dificuldade de o aluno realizar a leitura labial durante todas as aulas, falta de materiais didáticos visuais ou adaptados, diferenças linguísticas, entre outros fatores. Apesar de as Políticas Públicas de Inclusão, publicadas no ano de 2008, afirmarem que as pessoas com deficiência têm suas entradas e permanências nas escolas garantidas, fatores como os listados acima acabam atrapalhando e, em alguns casos, até mesmo afastando os alunos surdos das salas de aula.

Sendo assim, além de ministrarmos um curso que foi inclusivo para pessoas surdas, também foram criadas/adaptadas metodologias de ensino e materiais didáticos que puderam realmente promover a aprendizagem para esse público-alvo. Utilizamos como base o trabalho de Hubert (2013), que trata da utilização de materiais visuais na educação de surdos. Segundo o autor, pelo fato de o surdo não compreender os conteúdos da mesma forma que as pessoas

ouvintes, o visual vale mais do que a escrita. Além da criação de materiais didáticos próprios para o Ensino de Física para surdos, este projeto deu a oportunidade para que alunos do curso de Licenciatura em Física pudessem ter contato com pessoas surdas, aprendessem a elaborar aulas para surdos e colocassem em prática a Libras, língua que estavam aprendendo como disciplina curricular.

## **Metodologia**

Para as aulas do curso foram utilizadas metodologias diversas para que pudéssemos refletir quais fossem proveitosas para a aprendizagem do aluno surdo. Por serem sujeitos mais visuais, fizemos bastante uso de materiais que lhes chamassem mais atenção, como imagens, vídeos e fotos, por exemplo.

Nossa equipe de trabalho foi composta levando em consideração servidores e alunos que pudessem contribuir com o trabalho e desenvolvê-lo da melhor forma para os alunos surdos. Sendo assim, integraram o grupo um professor de Física; uma professora de Libras; uma intérprete de Libras/Língua Portuguesa; uma professora de Física, egressa do curso de Licenciatura em Física, que já tinha experiência em desenvolver materiais didáticos visuais e dois alunos voluntários do curso de Licenciatura em Física. O curso, que se desenvolveu durante um ano, foi planejado com aulas semanais de uma hora e meia. Ao todo, foram ministradas trinta aulas, levando-se em consideração os conteúdos previstos para o Ensino Médio de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs).

Os surdos, por serem pessoas mais visuais (já que utilizam uma língua que é falada com o corpo), precisam de materiais didáticos que levem esse fato em consideração. Devido a essa característica dos nossos alunos, preocupamo-nos em oferecer recursos didáticos que chamassem a atenção dos estudantes. Não foram utilizados, por exemplo, textos que apresentassem somente escrita em língua portuguesa, mas todos os textos trabalhados com os alunos eram textos multimodais. Textos multimodais são aqueles que utilizam textos escritos e imagens, tabelas, gráficos e equações.

Nesse tipo de material, segundo Oliveira (2009, p. 2), não é possível prestar atenção apenas na mensagem escrita, pois essa constitui apenas um dos elementos representacionais que co-ocorrem dentro de um texto, tais como: a formatação, o tipo de letra, a presença de ilustrações e todo tipo de informação advinda de outros modos semióticos embutidos na cultura escolar ou na sociedade em que o escrevente (qualquer pessoa que escreve e não apenas o “escritor”, no sentido literário do termo) se insere.

Além dos textos multimodais, outros materiais de apoio como desenhos, vídeos e jogos são de suma importância para a garantia do processo de aprendizagem e dos conteúdos que são ensinados. Esses materiais possuem a vantagem de auxiliar a forma como o professor ensina ao mesmo tempo em que contribuem para a aprendizagem de todos os alunos, sejam surdos ou não.

Os materiais que consideramos os mais adequados para os alunos surdos são os chamados por Soler (1999) de materiais multissensoriais, que são materiais que podem ajudar os estudantes surdos a reconhecerem os fenômenos estudados em Física utilizando diferentes sentidos humanos. Assim, para o aluno surdo aprender algum conteúdo de Física, é necessário utilizar materiais que levem em consideração a visão e o tato, por exemplo. Ou seja, ao invés de o conteúdo ser ensinado somente por meio do sentido auditivo, como muitas vezes acontece para os alunos ouvintes, para os surdos outros sentidos são priorizados.

De acordo com Hubert (2013), o aluno surdo muitas vezes não consegue aprender da mesma forma que o aluno ouvinte. Assim, o visual vale muito mais do que a escrita e a oralidade. Sobre esse fato, Abreu (2014) faz um alerta sobre o ensino de Física no Ensino Médio se dar, em muitas escolas, por metodologias que se baseiam na oralidade e na escrita do professor. Isso ressalta a importância de os professores terem acesso a recursos didáticos diferenciados, que valorizem a exploração visual dos conteúdos e a interatividade entre alunos e professores. Para Abreu (2014), então, mais importante que o uso de um recurso didático, é o resultado que ele deve proporcionar aos alunos. Assim, “os recursos devem servir para mobilizar as capacidades dos alunos e auxiliá-los no desenvolvimento de competências e habilidades, nas quais a Física é compreendida como cultura necessária à compreensão do mundo contemporâneo” (ABREU, 2014, p. 31). Ainda sobre o Ensino de Física, Silva (2013, p. 84) defende que “as atividades de experimentação possibilitam aos alunos surdos um canal visual de ensino, já que interagindo e observando os fenômenos os alunos poderão aproximar-se ainda mais dos conceitos científicos”.

Reafirmando a importância dos recursos visuais nos processos de aprendizagem de alunos surdos, vários foram os recursos utilizados no nosso projeto para que os alunos aprendessem os conteúdos trabalhados da melhor forma possível. Destacamos algumas atividades que foram criadas pela professora de Física que atuou no projeto para que os alunos aprendessem sobre Astronomia.

Para ensinar os nomes de cada planeta e a ordem correta deles em relação ao Sol, a professora, além de explicar o conteúdo de forma teórica, fez diversas atividades práticas. Para uma delas, ela criou moldes de EVA de cada planeta e os alunos tinham que situá-los no lugar correto. Em outra atividade, ainda para que os alunos entendessem e fixassem a ordem correta dos planetas em relação ao Sol, foram utilizados barbantes coloridos já cortados em tamanhos variados para que os alunos, tendo um local no chão como referência para o Sol, os esticassem no chão utilizando o tamanho correto do barbante que mostrasse a distância de cada planeta (um barbante maior deveria ser utilizado para um planeta que fica mais distante, por exemplo).

## Resultados

Durante o projeto, foram elaborados materiais táteis e com cores chamativas, para que os alunos conseguissem compreender os conteúdos de Física. Abaixo, dissertaremos sobre alguns materiais que foram criados durante o projeto.

A primeira montagem abordou o conceito de Astronomia, uma vez que queríamos trabalhar com o tamanho e a posição dos planetas no Sistema Solar. Dessa forma, utilizando EVA colorido, velcro, criamos “bolinhas” com tamanhos e cores diferentes para que os alunos colocassem no local que acreditavam adequados. Nesse momento, percebemos que os alunos cometiam muitos erros conceituais e que a maior parte dos alunos não sabia, por exemplo, que o Sol era o centro do Universo. Na semana seguinte, após essa atividade, elaboramos um mini-roteiro com perguntas e muitas imagens, abordando o assunto e, para nossa surpresa, a maior parte dos alunos conseguiu compreender o conteúdo, acertando dessa vez a posição correta dos Planetas.

Figura 01: Atividade sobre o Sistema Solar.



Fonte: Acervo dos autores.

Figura 02: Alunos participando da atividade do Sistema Solar.



Fonte: Acervo dos autores.

Na segunda montagem, tínhamos como objetivo mostrar o quão longe se encontrava um planeta em relação ao outro. Para isso, foi utilizada uma corda com marcações (a escala utilizada nessa atividade foi retirada do site Olimpíadas Brasileiras de Astronomia e Astronáutica - OBA), e o objetivo era que os alunos colocassem o nome correto de cada planeta nas marcações. Novamente conseguimos resultados positivos, os alunos se “assustaram” com relação à distância de uns planetas em relação aos outros, sempre perguntando e participando integralmente da atividade.

Em outro encontro, planejamos uma aula completamente diferente. Com a ajuda de um aluno<sup>12</sup> que cursava Licenciatura em Física no IFMG - Campus Congonhas, e que ministrava mini-palestras sobre Astronomia, com a utilização de um telescópio, levamos os nossos alunos para que pudessem observar alguns planetas, como Júpiter e Saturno. Nessa atividade, eles conseguiram perceber muitos dos conceitos que estávamos abordando nos encontros passados.

---

<sup>12</sup> Agradecemos ao aluno Juarez Paula do Rosário pela disponibilidade em montar o telescópio e ministrar duas aulas de Astronomia aos alunos.

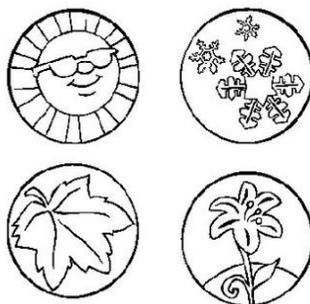
Figura 03: Atividade de observação no telescópio.



Fonte: Acervo dos autores

Outra atividade muito interessante foi a com tema Estações do Ano. Foram disponibilizados desenhos sobre as estações do ano e pedimos aos alunos que os colorissem e colocassem na ordem em que elas ocorriam ao longo do ano. Após essa parte, em que verificamos que os alunos tinham um bom conhecimento prévio sobre o assunto, percebemos que eles não sabiam o que ocasionava as mudanças entre cada estação ou por qual razão ocorria a sucessão do dia e da noite, ou seja, eles não conseguiam ligar esses assuntos ao movimento de translação e rotação da Terra.

Figura 04: Esquema das atividades sobre Estações do Ano.



Fonte: Acervo dos autores.

Após encerrar os assuntos de Astronomia, começamos a trabalhar conteúdos como MRU (Movimento Retilíneo Uniforme) e MRUV (Movimento Retilíneo Uniformemente Variado), utilizando carrinhos e rampas para que os alunos conseguissem observar as características desses movimentos. Trabalhamos também com o tema Força e Leis de Newton, e nessas aulas utilizamos simuladores computacionais para a explicação, com algumas atividades simples e práticas, como, por exemplo, empurrar dois objetos diferentes e analisar em qual deles era necessária uma força maior para entrar em movimento e qual era a justificativa para isso.

Infelizmente, devido ao fim do ano letivo, não conseguimos trabalhar todos os assuntos relacionados ao 1º ano do Ensino Médio, porém conseguimos perceber resultados muito positivos, o que nos mostrou que o uso de materiais táteis é uma boa dinâmica para alunos surdos e que podem ser utilizados em qualquer sala de aula, sem que o professor precise utilizar materiais caros e de difícil acesso.

### **Conclusão**

A inclusão a cada dia ganha mais espaço dentro das escolas, no campo da pesquisa, como também em todos os ramos da sociedade. Por isso, nós pesquisadores precisamos buscar materiais, metodologias e recursos didáticos para atender e tornar a inclusão algo verdadeiro e significativo. Percebemos que no Brasil já ocorreu um desenvolvimento muito grande com relação ao ensino para surdos, mas ainda temos muitos problemas a serem enfrentados, começando pela falta de material apropriado para esses alunos.

Nesse pressuposto, o projeto “Ensino de Física para surdos”, cujos objetivos foram ensinar conteúdos de Física para a comunidade surda da região, preparar futuros professores a ensinar Física para surdos e colocar a Libras em prática, foram utilizados materiais de baixo custo e de fácil acesso. Esse foi nosso objetivo ao criarmos materiais que podem ser adaptados no dia a dia da sala de aula para melhor atender alunos surdos. Acreditamos que atividades experimentais e simuladores computacionais são eficientes para a aprendizagem de todos os alunos, visto que esse tipo de atividade cria uma interação entre pessoas ouvintes e surdos e contribuem para a diminuição da exclusão de alunos surdos.

### **Referências**

ABREU, J. de A. **Ensino de Física e surdez: construindo conceitos e criando sinais**. (Monografia do Curso de Licenciatura em Física). Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, Niterói: 2014.

BRASIL. **Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002.** Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais (Libras) e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/2002/L10436.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10436.htm) (acessado em 11/10/2011).

BRASIL. Código. **Decreto Nº 6.571, de 17 setembro de 2008.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7853.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7853.htm). Acessado em: 08 de março de 2017.

BRASIL. **PCN + Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais.** Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2017.

FIGUEIREDO, L. C.; GUARINELLO, A. C. Literatura infantil e a multimodalidade no contexto de surdez: uma proposta de atuação. In: **Revista Educação Especial**, v. 26, n. 45, 2013. p. 175-193.

HUBERT, Matheus Alles. **Produção de material didático:** tirinhas de física para alunos surdos. X EVIDOSOL e VII CILTEC-Online, 2013.

LACERDA, C. B. F. de. A inclusão escolar de alunos surdos: o que dizem alunos, professores e intérpretes sobre esta experiência. In: **Cad. Cedes**. Campinas: vol. 26, n. 69, 2006. p. 163-184.

REIS, Crislayne A. M. dos. **Uso de materiais táteis para o ensino de Astronomia para deficientes visuais e auditivos.** Trabalho de conclusão de curso. Curso de Licenciatura em Física do campus Congonhas do Instituto Federal de Minas Gerais. Congonhas, 2016.

SOLER, M. A. **Didáctica multisensorial de lãs ciencias:** un nuevo método para alumnos ciegos, deficientes visuales, y también sin problemas de visión. Barcelona: Paidós, 1999.

# MANUFATURA ADITIVA - ANÁLISE DE VALOR E DOS MODOS DE FALHA RELATADOS POR USUÁRIOS

Marcelo Jr Barbosa de S. Baêta do Amaral ([synmarcelo@gmail.com](mailto:synmarcelo@gmail.com))

Camila Gonçalves Castro ([camila.castro@ifmg.edu.br](mailto:camila.castro@ifmg.edu.br))

Thiago Augusto Araújo Moreira ([thiago.moreira@ifmg.edu.br](mailto:thiago.moreira@ifmg.edu.br))

Ítalo Ângelo Oliveira Dias ([italoangelo29@hotmail.com](mailto:italoangelo29@hotmail.com))

## **Resumo:**

O presente artigo trata através de uma análise quantitativa e qualitativa, problemas relatados por usuários em torno da manufatura aditiva, mais especificamente da impressão 3D por deposição de material fundido. É exposto então, através de figuras e textos, a aplicação da análise de valor e FMEA, com o objetivo de relato dos principais problemas enfrentados por usuários da tecnologia. Como resultado obteve-se a priorização de componentes e modos de falhas para tratativas essenciais para um bom funcionamento do equipamento.

**Palavras-chave:** Manufatura aditiva; FMEA; Análise de valor; Impressão 3D.

## Introdução

A manufatura aditiva, conhecida popularmente como impressão 3D, evoluiu a partir da prototipagem rápida e teve seu início em 1981, quando Kodama inventou um modo de produzir peças a partir de polímeros fundidos que seriam solidificados com uma luz ultravioleta e todo o processo evoluiu dessa técnica, sendo inventado dois anos depois um aparato para deposição do material fundido, que ficou conhecido como impressora 3D. O termo de impressão 3D passou a ser substituído por prototipagem rápida quando a técnica teve sua utilização ampliada para este fim, sendo utilizada na criação de sistemas de representação de produtos e peças (protótipos) que seriam produzidas posteriormente por outras formas. Estes protótipos são utilizados essencialmente durante o processo de desenvolvimento de produto, pois permitem avaliar diversos parâmetros antes de iniciar a produção em larga escala.

O crescimento da Manufatura aditiva se deve a vários fatores, entre eles o rápido ciclo de desenvolvimento de produto gerado pela alta competitividade das empresas e pela criação de novos mercados (PRADELLA; FOLLE, 2014). Isto acarreta em uma oportunidade de avanço tecnológico, levando consigo as áreas de desenvolvimento industrial, design, engenharia de materiais e gerenciamento de negócios.

A popularização da impressão 3D deve também a diminuição de custos dos equipamentos e vendas diretas ao consumidor final. Segundo pesquisas do Fórum Econômico Mundial referenciadas pela revista Exame (2019), o mercado tende a um crescimento nos próximos anos. De acordo com o fórum, 41% das empresas mundiais terão a tecnologia a seu dispor. No Brasil esse número chega a 49%.

As impressoras 3D mais populares utilizam filamentos de polímeros, usualmente ABS e PLA, que são aquecidos e depositados sobre uma superfície, formando o produto por camadas. Os sistemas de impressão 3D mais conhecidos na manufatura aditiva, no mercado atual, são (HOTZA, 2009): estereolitografia (SLA ou SL); modelagem de rede a laser; modelação por deposição fundida (FDM); fabricação de objetos por camada (LOM); sinterização seletiva por laser (SLS); impressão tridimensional (TDP ou 3DP).

Com um forte viés ambiental, a manufatura aditiva vem como uma evolução da subtrativa, nesta, o modelo final é obtido pela remoção física do material de um bloco comum, utilizada convencionalmente em fresamento, torneamento e outros tipos de usinagem. Este tipo de manufatura utiliza diversos tipos de matéria-prima como madeira, metais, plásticos e mão de obra relativamente mais baratas (NISHIMURA et al., 2016). Por esse motivo, o principal ponto de melhoria da manufatura aditiva é o da não produção de rejeitos, ou resíduos, para a caracterização do objeto.

Apesar de estar em processo de evolução nos últimos anos, as impressoras 3D's encontradas no mercado ainda trazem muitos problemas não sanados aos usuários, problemas estes que são recorrentes e impactam diretamente a produção de peças, tornando um processo caro e de alta complexidade, com parâmetros como temperatura, velocidade, definição, angulação e vários outros que dificultam o trabalho com a impressora, e estes, variam de acordo com seus fabricantes. A elaboração de uma metodologia que procura padronizar aspectos não trabalhados gerando ideias e um processo estático de alta confiabilidade é de suma importância para desenvolvimento e inovação no setor.

O presente trabalho tem como principal objetivo o levantamento de problemas encontrados por usuários de impressoras 3D, e também possíveis tratativas, utilizando a Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA) e Análise de Valor. Os dados encontrados são a base de requisitos de projetos de melhoria de tecnologias 3D com o foco no cliente. O estudo foi realizado com base em uma impressora 3D de tecnologia FDM, uma vez que é mais difundida no mercado, podendo ser adquirida para diferentes objetivos entre os usuários.

Segundo Holmström et al. (2010), o fato de ser uma tecnologia altamente personalizável, permitindo alterações de diversos parâmetros, inclusive de design, a manufatura aditiva se torna viável nos processos de fabricação, podendo ser inserida na produção em lote e até mesmo em massa. Berman (2012) ressalta que ainda não se tem total certeza da confiabilidade da estrutura dos produtos obtidos nesse tipo de manufatura, além dos equipamentos terem um alto custo de investimento inicial, tendo que ser planejado a obtenção e a inserção do método em uma linha produtiva.

Na deposição de material fundido (FDM), o bico extrusor é movimentado nos eixos X e Y que funcionam paralelamente à mesa de serviço, depositando o material que é fundido a uma alta temperatura. Apesar de muitas vezes a mesa de serviço ser aquecida, a temperatura é inferior ao material que foi trabalhado pelo bico e ao entrar em contato com a plataforma é rapidamente solidificado, formando uma camada que através do trabalho do eixo Z, ortogonal à mesa, servirá de base para a próxima, de maneira sucessiva, formando o objeto final (UPCRAFT; FLETCHER, 2003).

A geometria das peças é um fator limitante do processo, uma vez que necessita de suportes a serem impressos juntamente às peças. Outro aspecto a ser analisado é a baixa velocidade de processamento de extrusão, que dificulta a aplicabilidade da tecnologia em produção em larga escala. No entanto, os equipamentos utilizados nessa tecnologia são de fácil entendimento, além de não necessitar de um espaço físico muito grande, o que possibilita o trabalho em escritórios e fábricas de menor porte (AHRENS et al., 2007; HOPKINSON et al., 2006).

A Análise do Modo e Efeito de Falhas, mais conhecido como FMEA, tem o objetivo aumentar a confiabilidade de um processo ou projeto através da prevenção, diminuição e impedimento de erros, através da mensuração dos parâmetros de ocorrência, detecção e severidade (CERQUEIRA, 2011). Fernandes e Rebelato (2006), expõe as etapas do processo em cinco passos:

- a) Reconhecimento dos modos de falhas e suas conhecidas perdas;
- b) Reconhecimento dos efeitos e gravidade das falhas;
- c) Reconhecimento das causas e ocorrências das falhas;
- d) Reconhecimento dos modos de falhas e sua detecção;
- e) Reconhecimento do risco e as medidas resultantes para a redução ou eliminação.

Sakurada (2000) acrescenta uma perspectiva, que, para todos os modos de falhas sejam determinados numericamente os índices de:

- Ocorrência, um termo probabilístico de uma falha que venha a ocorrer;
- Detecção, capacidade de identificação do modo da falha antes de sua ocorrência;
- Severidade, relacionado a gravidade do modo de falha.

A análise dos três índices juntos dá origem ao Número de Prioridade de Risco (NPR), onde é obtido através do produto entre eles. O NPR permite identificar prioridades para a solução das falhas, ou seja, gerando uma ordem decrescente de necessidades de tratamento. Apesar da análise majoritariamente quantitativa, Puente (2002) diz que, no caso de um modo de falha apresentar um NPR alto, este pode ter primeiramente prioridade exclusiva no tratamento de falhas.

Utilizando o FMEA da maneira correta e efetuando as análises corretas, Braglia (2000) cita alguma das vantagens que a ferramenta pode trazer, como: facilidade de compreensão e utilização; sistematização do problema, gerando resultados organizados; entendimento das fraquezas do processo possibilitando mudanças e melhorias; priorização do processo em partes e não como um todo, mantendo um foco nos detalhes gerando grandes resultados.

Para Braglia, o FMEA apresenta um ponto negativo que deve ser levado em consideração, uma vez que os fatores econômicos não entram em consideração, não obtendo em detalhes os custos de peças e das evoluções de falhas no processo. De acordo com Dong (2007), as falhas e o custo se relacionam de uma forma não linear, Kmenta e Ishii (2000) salientam que através de uma

estimativa de custos somada ao FMEA se torna uma ferramenta poderosa para análise.

Segundo Abreu (1996), a análise de valor ou engenharia de valor é um estudo utilizado em processos e produtos para reduzir custos e aumentar o valor para o usuário, ou seja, uma metodologia de avaliação do valor do produto/processo. Outra definição é a de Possamai (1996), que afirma que a metodologia é um exame detalhado do valor de um objeto, relacionando suas funções e limitações.

A análise de valor tem por objetivo geral a redução de custos, aumento de produtividade e da resolução de problemas, através da aplicação passo a passo da metodologia, por pessoas capacitadas e envolvidas nos setores de análise, objetivando excelência e melhoria dos fatores envolvidos no processo (POSSAMAI, 1996).

Uma definição mais atual e que promove linearidade entre as tendências de pensamentos é: “Engenharia do valor é um esforço organizado, dirigido para analisar as funções de bens e serviços para atingir aquelas funções necessárias e características essenciais da maneira mais rentável” (CSILLAG, 1995).

De acordo com Csillag (1995), analisar as funções é identificar necessidades de mercado e entender o que elas significam. As características essenciais são as triviais de uso e manutenção do produto. Trabalhar para um esforço mais rentável é a de idealização de alternativas de conjuntos, processos, itens, eliminando-os ou combinando-os.

Para a avaliação funcional do produto, deve-se comparar os valores de seus componentes com os já existentes no mercado, similares, concorrentes ou próprio, dessa maneira alternativas são geradas e muitas vezes quantificadas, o que beneficia a análise para diminuição dos custos e melhor aproveitamento na interface com o usuário (CSILLAG, 1995).

A Figura 1 mostra as etapas para a implementação da metodologia bem como sua finalidade e os passos para o atingimento de tal:

Figura 1 - Metodologia de análise de valor.

ETAPAS	FINALIDADE	PASSOS
1 – Fase de Preparação	Medidas preparatórias	1.1 – Escolher o objeto de estudo; 1.2 – Determinar o objetivo; 1.3 – Compor o grupo de trabalho; 1.4 – Planejar as atividades.
2 – Fase de Informação	Conhecer a situação atual	2.1 – Obter as informações; 2.2 – Obter os custos; 2.3 – Descrever as funções
3 – Fase de Análise	Examinar a situação atual	3.1 – Analisar as funções; 3.2 – Determinar funções críticas; 3.3 – Enunciar problemas.
4 – Fase de Criatividade	Obter idéias	4.1 – Obter ideias; 4.2 – Agrupar ideias.
5 – Fase de Desenvolvimento	Formular proposições	5.1 – Formular e desenvolver alternativas; 5.2 – Viabilizar tecnicamente; 5.3 – Viabilizar economicamente; 5.4 – Decidir.
6 – Fase de Implantação	Apresentar e implantar a solução proposta	6.1 – Apresentar a proposta; 6.2 – Planejar a implantação; 6.3 – Implantar a alternativa; 6.4 – Acompanhar a implantação.

Fonte: Pereira Filho (2010, p. 3, apud Novaski, 1994).

## Metodologia

O exposto neste trabalho possui uma abordagem de dados qualitativa, que de acordo com Bogdan e Biklen (1994), trata-se de uma metodologia onde o pesquisador é o instrumento principal, em que o interesse se dá pelo entendimento do processo e não pelos resultados finais. E também quantitativa, onde trabalha-se, de maneira lógica, resultados quantificados de maneira simplificada e objetiva, livres de embasamentos pessoais. Busca-se através da linguagem matemática a relação entre variáveis dado uma causa comum (FONSECA, 2002).

A pesquisa qualitativa descreve uma união entre o mundo objetivo e a subjetividade que não consegue se mostrar de maneira clara através de números. Por tanto, o método qualitativo parte do pressuposto de interpretações pessoais subjetivas, não sendo requerida análises numéricas e estatísticas (TURRIONI; MELLO, 2012). O método aplicado de pesquisa se dá através do método exploratório, que de acordo com Turrioni e Mello (2012):

Visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão (TURRIONI; MELLO, 2012).

O levantamento de dados da pesquisa com usuários para a elaboração do FMEA foi feito através de entrevistas, sem estruturação de perguntas com o intuito de dar familiaridade ao questionado, buscando exemplificações reais de problemas. Os focos de pesquisa foram fóruns e grupos de usuários, onde o direcionamento da entrevista foi livre, com o objetivo de dar mais liberdade ao entrevistado de expor suas dores. O período de coleta foi durante o mês de maio do ano de 2018, onde houve um agrupamento de respostas para criação de macro áreas a serem analisadas. Foram obtidas mais de 50 respostas.

Para melhor entendimento e ênfase nos principais tópicos ressaltados, os componentes foram divididos em: mesa de serviço; bico extrusor; mola extrusora; filamento; motor; eletrônica; engrenagens/correia.

O FMEA foi desenvolvido e adaptado na forma mais usual, em tabela. A primeira coluna foi constituída dos índices, seguida pelos componentes, função primária dos componentes, modo de falha principal, os efeitos decorrentes dessas falhas e pôr fim a avaliação numérica de um a dez para os índices de ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D).

Foi adotada a metodologia mais comum de análise, onde um novo índice chamado risco (R) é formado a partir da multiplicação dos outros três, dando indícios do foco de resolução dos problemas mais agravantes. Na última coluna são inseridas as possíveis ações corretivas para tratamento das falhas.

Assim como discutido anteriormente e defendido por alguns autores, o FMEA em si é uma ferramenta muito poderosa para análise das falhas e desenvolvimento de ações corretivas, objetivando uma maior confiabilidade do processo. Porém, é citado também a defasagem de uma análise de custos, para isso, foi desenvolvida uma análise de valor ou engenharia de valor dos principais equipamentos de impressoras em geral.

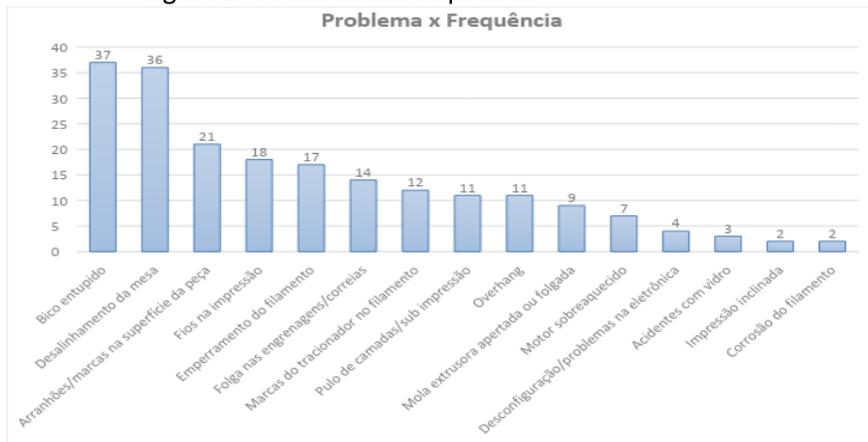
Se tratando de um artigo com carácter de exposição meramente qualitativo e geração de ideias e medidas provisórias ou corretivas para problemas de usuários, é feita uma análise de valor breve e direta, contendo os mesmos itens analisados pelo FMEA. Os valores foram retirados diretamente da empresa do fabricante, para preservação de marca não será divulgado as fontes de valores.

O método para ajuda na priorização no tratamento de falhas deste estudo foi a multiplicação do valor encontrado nos riscos com o seu respectivo percentual de custo, relacionado ao custo total da impressora, dando uma outra vertente de análise ao usuário.

## **Resultados**

Com o agrupamento das respostas das entrevistas obteve-se o seguinte resultado:

Figura 2 - Problema x Frequência



Fonte: Elaborado pelos autores.

Através da elaboração do FMEA, foi identificado que para a mesa de serviço, que tem por função principal ser base para deposição do filamento, os modos de falhas podem ser o desalinhamento da mesa, ocasionando em um produto com acabamento final ruim e também com inclinação da peça, e o estilhaço do vidro, o que pode ocasionar acidentes com o usuário.

Para o bico extrusor, componente onde ocorre a extrusão do filamento, foi identificado o entupimento do mesmo como modo de falha, ocasionando em um pulo entre as camadas e também em um acabamento ruim. Outro modo de falha apontado é a má configuração do bico, seja em software ou em posição física, o que ocasiona marcas na superfície da peça e deposição de filamento em locais não estabelecidos.

A mola da extrusora, componente responsável pela calibração da passagem do filamento até o extrusor, pode estar apertada demasiadamente ou folgada, ocasionando em subimpressão, descalibragem da extrusora e também na danificação de peças.

A matéria básica do processo de impressão, o filamento, pode sofrer de dois principais modos de falha, a má qualidade do mesmo, o que pode ocasionar na corrosão e quebra, e também de peças desreguladas, ou seja, na não regulagem correta dos dispositivos de impressão, causando em marcas do tracionador e fundição parcial do filamento.

O motor, responsável pela transformação da energia consumida pelo sistema em energia mecânica, pode vir a sobreaquecer ou ao não aquecimento correto, ocasionando também na fundição parcial do filamento, com possibilidade de a matéria estar sólida antes de entrar em contato com a mesa e também problemas na taxa de deposição de material.

Os componentes eletrônicos, que funcionam como uma rede entre as informações do software e hardware, podem estar desatualizados, mal

configurados ou até mesmo com as conexões incorretas e queimadas, promovendo uma dificuldade na leitura correta dos dados.

O último componente, engrenagens e correias, mantém o funcionamento do sistema de transmissão da impressora e a má regulagem das mesmas, pode ocasionar em deslocamento de camadas no eixo Z, danificação de peças e desalinhamento na movimentação entre eixos.

Figura 3 – FMEA

Item	Componente	Função	Modo de falha potencial	Efeitos potenciais de falha	O	S	D	R	Ação corretiva	
1	Mesa de serviço	Base para a deposição do filamento	Desalinhamento	Peça inclinada	9	6	3	162	Fazer um ajuste fino na mesa Verificar no software se a EEPROM está ativada (Z offset ligado) Utilização de EPT's	
				Acabamento final ruim	1	10	1	10		
2	Bico extrusor	Extrusão do filamento finalizado para a mesa	Estilhaçamento do vidro	Enrijecimento/emperreamento	Acidentes(cortes) com o usuário	1	10	1	10	Verificar defeitos aparentes sobre a mesa antes da utilização Verificar o aquecimento e resfriamento do bico Regular o tracionador do filamento Verificar configurações em software Diminuir velocidade de impressão Limpar o bico antes da utilização
					Acabamento final ruim	7	7	1	49	
					Pulo de camadas					
					Marcas na superfície do produto final					
					Filamento depositado em local não estabelecido	5	6	3	90	
3	Mola extrusora	Calibração da passagem do filamento até o extrusor	Bico mal configurado	Subimpressão	Fus na impressão				Ajustar a mola de acordo com as recomendações do fabricante verificando todas as situações possíveis	
					Desalinharem da extrusora	5	5	7		175
					Danificação de peças					
4	Filamento	Ser finalizado durante o processo e produzir peças previamente modeladas	Filamento de má qualidade	Peças desreguladas	Subimpressão				Verificar a emissão a produtos não recomendados trocar de Regular o tracionador do filamento Verificar o aquecimento e resfriamento do bico	
					Corrosão do filamento	2	2	4		16
					Marcas do tracionador no filamento	6	4	5		120
					Filamento fincado parcialmente					
5	Motor	Transformar a energia consumida pelo sistema em energia mecânica	Sobreaquecimento/resfriamento	Problemas na taxa de deposição do filamento	Filamento fincado parcialmente				Calibrar e regular todo o sistema de resfriamento (No caso da persistência, fazer uma análise peça a peça e fazer a troca)	
					Filamento "solto" antes de entrar em contato com a mesa	4	7	7		196
6	Eletrônica	Conexão dos comandos em software para os hardwares/manter a segurança e o bom funcionamento do sistema em geral	Softwares desatualizados/má configurados Hardwares mal conectados/queimados	Problema na leitura dos dados pela impressora					Verificar a atualização de todos os drivers Verificar todos os hardwares envolvidos e suas conexões	
					3	8	6	144		
7	Engrenagens/correias	Manter o funcionamento do sistema de transmissão	Engrenagens e correias não reguladas	Deslocamento das camadas em Z Danificação de peças Desalinhamento da movimentação entre eixos					Fazer uma marcação inicial na correia e na engrenagem antes do uso da impressora. Após o término, verificar se as marcas coincidem, caso negativo, fazer um ajuste nos parâmetros desajustados	
					3	6	8	144		

Fonte: Elaborado pelos autores

Após o cálculo dos índices de ocorrência, severidade e detecção e priorização de ações e determinação dos riscos, os três principais componentes de foco para manutenção do bom funcionamento são: motor; mola extrusora; mesa de serviço. Dentre as principais tratativas está a calibração e regulagem do sistema de resfriamento e em caso de persistir o problema, analisar o funcionamento de peça a peça e fazer a troca do item, ajustar a mola extrusora de acordo com informações providas do fabricante e verificação de todas as possíveis situações de ocorrência e no caso da mesa de serviço, fazer um ajuste fino da mesa sempre antes de iniciar o trabalho no equipamento, além de verificar as configurações do software, por exemplo a EEPROM, que irá modificar a posição da peça na mesa.

Como resultado da análise de valor, tem-se a porcentagem do preço de cada componente analisado sobre o valor total. O elemento que mais impacta no custo total dos produtos analisados é a parte elétrica, com 42% de representatividade de valor, seguida do bico extrusor, com 18% e motor 12%.

A mesa de serviço também obteve um valor representativo, de 11%. Já a mola extrusora obteve apenas 1% do valor total agregado dos componentes. O filamento e engrenagens/correias, obtiveram valores de 8% e 9%, respectivamente.

Figura 4 - Análise de valor impressoras 3D

<b>Item</b>	<b>Componente</b>	<b>Custo</b>	
1	Mesa de serviço	R\$ 100,00	11%
2	Bico extrusor	R\$ 160,00	18%
3	Mola extrusora	R\$ 5,00	1%
4	Filamento	R\$ 70,00	8%
5	Motor	R\$ 110,00	12%
6	Eletrônica	R\$ 380,00	42%
7	Engrenagens/correias	R\$ 80,00	9%
<b>Total</b>		<b>R\$ 905,00</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Os modos de falhas dos componentes foram priorizados através da multiplicação do valor de risco encontrado no FMEA e a porcentagem do componente sobre o valor total.

Os softwares desatualizados, mal configurados ou hardwares queimados obteve o maior índice de priorização entre os modos de falhas, seguido do aquecimento e resfriamento do motor, desalinhamento da mesa, má configuração do bico e engrenagens e correias não reguladas. Esses itens devem ter uma maior atenção pelos usuários no momento de operação da impressora.

Figura 5 - Análise custo X porcentagem sobre custo total

Item	Componente	Modo de falha potencial	Risco	Valor	Porcentagem sobre valor total	Valor X Porcentagem
1	Mesa de serviço	Desalinamento	162	R\$ 100,00	11%	17,90
		Estilhaçamento do vidro	10			1,10
2	Bico extrusor	Entupimento/emperramento	49	R\$ 160,00	18%	8,66
		Bico mal configurado	90			15,91
3	Mola extrusora	Apertada/folgada	175	R\$ 5,00	1%	0,97
4	Filamento	Filamento de má qualidade	16	R\$ 70,00	8%	1,24
		Peças desreguladas	120			9,28
5	Motor	Sobreaquecimento/resfriamento	196	R\$ 110,00	12%	23,82
6	Eletrônica	Softwares desatualizados/má configurados	144	R\$ 380,00	42%	60,46
		Hardwares mal conectados/queimados				
7	Engrenagens/correias	Engrenagens e correias não reguladas	144	R\$ 80,00	9%	12,73

Fonte: Elaborado pelos autores.

## Conclusão

Por fim, este trabalho possibilita ao leitor o entendimento e contextualização da manufatura aditiva e alguns problemas recorrentes aos usuários da mesma.

Foi apresentado o resultado de uma pesquisa junto aos usuários de tecnologia 3D, na forma de uma análise dos modos e efeito das falhas, o FMEA, e também uma análise de valor básica contendo os valores de cada item para auxiliar no processo de tomadas de decisões. Foi analisada a partir das duas ferramentas anteriores citadas, um relacionamento do percentual do custo do componente e o risco, dando ênfase na priorização de medidas corretivas. O resultado obtido, de forma crescente, foi o seguinte: eletrônica; motor; mesa de serviço; bico extrusor; engrenagens/correias; filamento; mola extrusora. Vale ressaltar que a análise não deve ser feita unicamente com base nesses valores, as situações são únicas e outras ferramentas podem ser utilizadas.

Como alternativa para a não ocorrência de problemas referente às ocorrências citadas, há a possibilidade de um controle via checklist, possibilitando ao usuário fazer um pré-uso do equipamento, com inspeções visuais, análise de movimentações simples e parametrização dos componentes mais críticos. A elaboração de projetos alternativos, procurando minimizar ou anular essas possíveis falhas também é uma alternativa, o que desenvolve diretamente essa tecnologia.

O artigo conclui com seu objetivo proposto que é a de um levantamento de problemas ocorrentes e possíveis tratativas com foco no usuário da tecnologia 3D, através da elaboração do FMEA, análise de valor e ponderações feitas ao longo do estudo. Para estudos futuros é deixado como opção a ampliação do estudo na perspectiva quantitativa e aprofundamento da análise de valor, bem como a idealização de medidas corretivas afim de sanar esses problemas definitivamente, uma vez que a alta ocorrência de falhas em impressoras é um fator que prejudica a atração de novos públicos.

## Referências

- ABREU, R. C. L. **Análise de valor: um caminho para a otimização dos custos e do uso dos recursos**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1996.
- AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. B.; PETRUSH, G.; CARVALHO, J. D.; SANTOS, J. R. L. D.; SILVA, J. V. L. D.; VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida – Tecnologias e Aplicações**. 1 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2007.
- BERMAN, B. **3-D printing: the new industrial revolution**. Business Horizons, v. 55, 2012.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Tradução Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Teimo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 336p., 1994.
- BRAGLIA, M.; **MAFMA: multi-attribute failure mode analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management; v. 17, n. 9, p. 1017 – 1033, 2000.
- CERQUEIRA, U. A. S. Métodos QFD e FMEA para o desenvolvimento de novo produto - Conceituação e estudo de caso. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Belo Horizonte - MG, 2011.
- CSILLAG, J. **Análise do valor – Metodologia do valor**. São Paulo, Atlas, 330 p, 1995.
- DONG, C. Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation. **International Journal of Quality and Reliability Management**, 2007.
- EXAME, 2019. **As impressoras 3D vão dominar o mundo e esses setores já estão se adaptando**. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/carreira/as-impressoras-3d-vaio-mudar-o-mundo-e-esses-setores-ja-estao-se-adaptando/>>. Acesso em: 05 de agosto de 2019.
- FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. **Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA**. Revista Gestão & Produção, v. 13, n. 2, p. 245-259, 2006.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.
- HOLMSTRÖM, J.; PARTANEN, J.; TUOMI, J.; WALTER, M. Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2010.
- HOPKINSON, N.; HAGUE, R. J. M.; DICKENS, P. M. **Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age**. Chichester: John Wiley & Sons, 2006.
- HOTZA D. Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido. **Revista Matéria**, v. 14, n. 4, pp. 1101 – 1113, 2009.

KMENTA, S.; Ishii, K. Scenario-based FMEA: a life cycle cost perspective. **Proceedings of Design Engineering Technical Conferences**. Baltimore, Maryland, USA, 2000.

NISHIMURA, P. L. G.; RODRIGUES, O. V.; JÚNIOR, G. B.; SILVA, L. A. Prototipagem rápida: Um comparativo entre uma tecnologia aditiva e uma subtrativa. **12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, Belo Horizonte - MG, 2016.

NOVASKI, O. Uma aplicação da análise de valor em uma empresa de manufatura através da UEP. GEPROS. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas – Ano 5**, nº 1, p. 93-112, jan-mar 2010.

PEREIRA FILHO, R. R. **Análise de Valor: um processo de melhoria contínua**. São Paulo: Nobel, 1998.

POSSAMAI, O. **Apostila Análise do valor**. Florianópolis, UFSC, 1996.

PRADELLA, M. P.; FOLLE, L. F. Análise de mercado sobre tecnologias de prototipagem rápida por adição de material, p. 2286-2298. In: **Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 4. São Paulo: Blucher, 2014.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FUENTE, D. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 19, n. 2, p. 137-150, 2001.

RODRIGUES, V. P.; ZANCUL, E. S.; MANÇANARES, C. G.; GIORDANO, C. M.; SALERNO, M. S. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 12, nº 3, p. 1-34, 2017.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise do Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Florianópolis: Eng. Mecânica/UFSC, 2001.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2012.

UPCRAFT, S.; FLETCHER, R. The rapid prototyping technologies. **Assembly Automation**, v. 23, n. 4, p. 318–330, 2003.

# DESENVOLVIMENTO DE PLUGS PARA LIMPEZA DE TUBULAÇÕES DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Adriel Paz Moreira (adrielpaz9@gmail.com)  
Thiago Leonardo Maria (tlmaria97@gmail.com)  
Lucas do Amaral Faria (lucas.faria@ifmg.edu.br)

## Resumo

A integridade das linhas hidráulicas na irrigação é de extrema importância, pois a precisão na entrega de insumos às mudas, afeta no desenvolvimento e produtividade. O seguinte trabalho propõe a elaboração de um dispositivo para a realização de limpeza em tubulações de sistemas de irrigação agrícola por gotejadores, que corriqueiramente vem a entupir. O desenvolvimento dos estudos se deu com o auxílio de um software de simulação de fluidos, de maneira a tentar prever e entender os fenômenos envolvidos, essa ferramenta foi de suma importância pois possibilitou mudanças e acertos no projeto sem que afete os custos e de certa maneira o tempo, evitando imprevistos maiores para a correção de problemas em fases finais.

**Palavras-chave:** agricultura, fluidodinâmica, solo.

## **Introdução**

A irrigação na agricultura, é de suma importância para os produtores, principalmente em um país de extensões continentais como o Brasil, as condições meteorológicas, climáticas e de solo possuem grande variação de região para região, portanto irrigar a cultura, em casos de locais com baixa disponibilidade de água, garante a segurança da safra, aumentando a produtividade e diminuindo os riscos.

Segundo (BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2006), a irrigação localizada pode ser realizada por diferentes métodos, sendo eles micro aspersão e gotejamento, com a aplicação de cada tipo sendo indicada ao que mais se adapta as condições oferecidas, como disponibilidade e qualidade da água, energia, topografia e tipo de solo, (FARIA, 2011) ressalta, que a uniformidade de aplicação de água é um fator importante a ser considerado na avaliação dos sistemas de irrigação durante o período de aplicação de água.

O sistema de irrigação por gotejamento, tem sido largamente utilizado no meio agrícola, devido sua possibilidade de menor vazão e precisão de aplicação de água, fertilizantes e defensivos via água de irrigação. Porém entupimentos e obstruções são corriqueiros nesse tipo de sistema, devido as pequenas dimensões e sensibilidade dos mecanismos dos gotejadores, sendo uma das causas principais de entupimento a presença de partículas minerais e orgânicas na água de irrigação. (MERRIAM e KELLER, 1978). Em muitos casos os proprietários adotam medidas paliativas, como a realização de furos ao longo da linha, ocasionando no total descontrole dos parâmetros de irrigação (vazão, pressão, etc).

A utilização de uma ferramenta de limpeza, consiste na prevenção e manutenção da rede hidráulica, evitando possíveis danos aos componentes e a distribuição irregular de recursos ao longo da malha, outra razão para limpar o encanamento, em casos de tubulação metálica é para inibir a corrosão durante a operação.

## **Metodologia**

Os trabalhos foram realizados por meio dos softwares de modelagem 3D, SIEMENS SolidEdge e o de simulação computacional de fluidos, CFD da Autodesk®, sendo o primeiro para a elaboração tridimensional do plug planejado e o segundo para simular a interação do dispositivo com a tubulação e o fluido. Os equipamentos alvos do estudo são principalmente os tubos gotejadores com emissores do tipo labirinto, como os demonstrados nas figuras 1 e 2 abaixo, porém não se restringindo apenas a esse sistema, mas podendo atingir uma vasta variedade de tubulações e emissores.

Figura 1 – Tubo gotejador tipo labirinto em corte



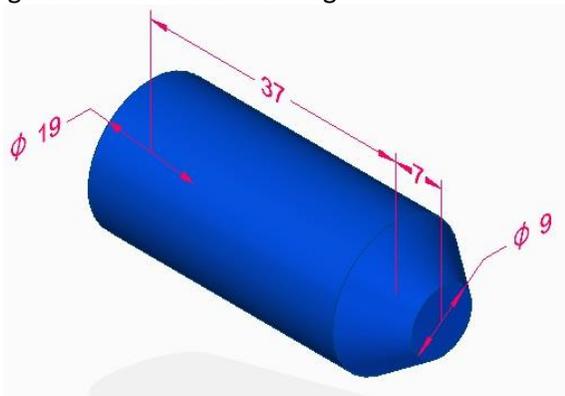
Figura 2 – Tubo gotejador tipo labirinto



Primeiramente foi-se discutido quanto a geometria a se adotar para a construção do plug, tendo em vista as características em que será aplicado, e por se tratar de uma tubulação com seção circular, para que seja possível cobrir toda a seção interna do tubo, foi adotado um perfil cilíndrico para a sua construção, facilitando a colocação e o deslocamento do mesmo ao longo da malha.

Através do software de modelagem, elaborou-se um dispositivo, com o corpo cilíndrico, e uma das extremidades afinada, as dimensões trabalhadas estão expostas na figura 3.

Figura 3 – Modelo 3D do Plug



Fonte: Autores.

As dimensões do plug, podem ser alteradas de acordo com a aplicação destinada, variando conforme o diâmetro da tubulação e o tipo de emissor a esta instalada, as usadas nesse trabalho foram escolhidas pois foram as que melhores se adaptaram para as exigências e parâmetros da simulação.

O material do escolhido para sua fabricação, dever ser maleável ao ponto de conseguir se deformar e passar por curvas ao longo da malha hidráulica, porém deve-se ter uma rigidez que permita realizar a raspagem com uma certa pressão sobre as paredes internas do tubo e sobre os emissores, para que seja executada uma boa limpeza.

Para simulação trabalhou-se com borracha de silicone tendo diversas composições no mercado de acordo com as especificações desejadas, mas as características em comum, são, razoável resistência a abrasão, capacidade de alongamento, material quimicamente estável, resistência ao rasgo, flexão cilíndrica, etc.

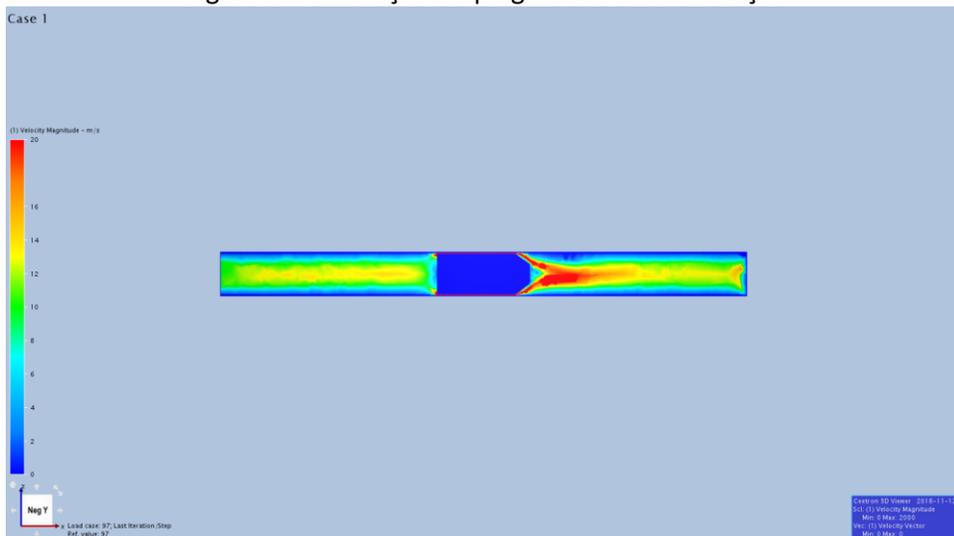
Os parâmetros de simulação utilizados foram, um tubo de PVC, com 20 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento, com água a 25°C e 1atm, com velocidade de escoamento de 20 m/s.

Analizou-se quanto a capacidade de deslocamento do plug pela malha sem causar um estrangulamento total do fluxo, evitando possíveis entupimentos causados pelo próprio dispositivo, também quanto a turbulência gerada ao fluido, fator importante para que se realize uma varredura das impurezas e partículas livres removidas.

## **Resultados**

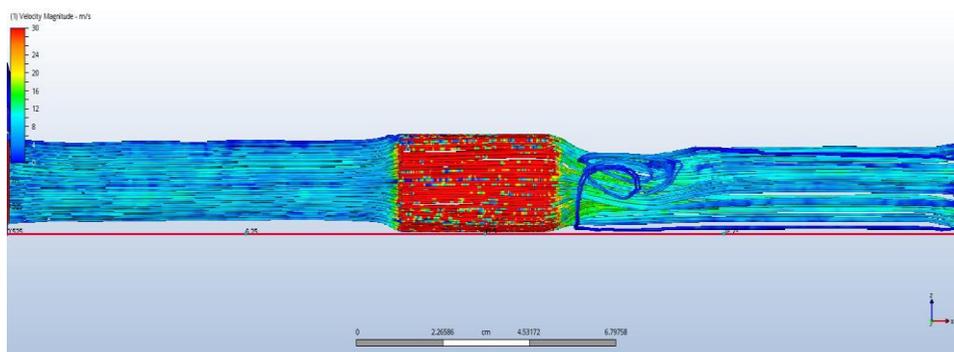
Através das simulações, pode-se observar alguns fenômenos, como o perfil do escoamento, o deslocamento do plug, etc. Conforme (ALLISON MAGNO DE SOUSA OLIVEIRA, 1999), o escoamento característico de tubo gotejadores desse tipo, em condições normais de trabalho é turbulento, porém pode-se observar que o fluxo frente ao movimento do pig tornou-se mais turbulento, contribuindo para o efeito desejado, de varredura e limpeza das paredes internas.

Figura 4 – Simulação do plug inserido na tubulação



Fonte: Autores.

Figura 5 – Simulação do Plug em funcionamento na tubulação



Fonte: Autores.

Os resultados obtidos não foram satisfatórios, pois a rotação do plug é de suma importância para a realização da raspagem do interior da tubulação, contudo, realizou-se uma pequena alteração na geometria do projeto inicial do dispositivo, com a modelagem de sulcos helicoidais, como os exemplificados na figura 6.

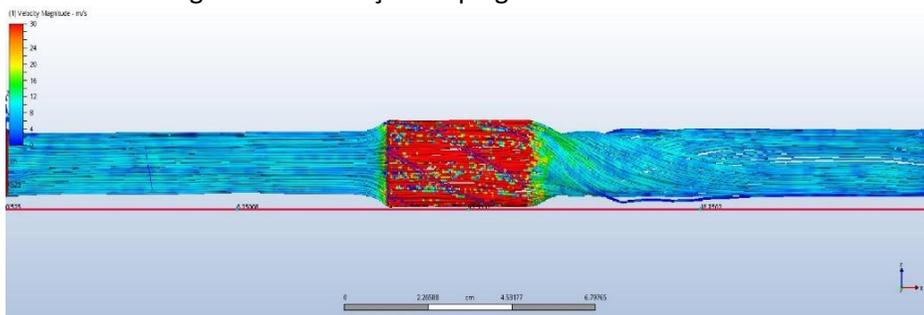
Figura 6 – Modelamento 3D de sulcos helicoidais no plug



Fonte: Autores.

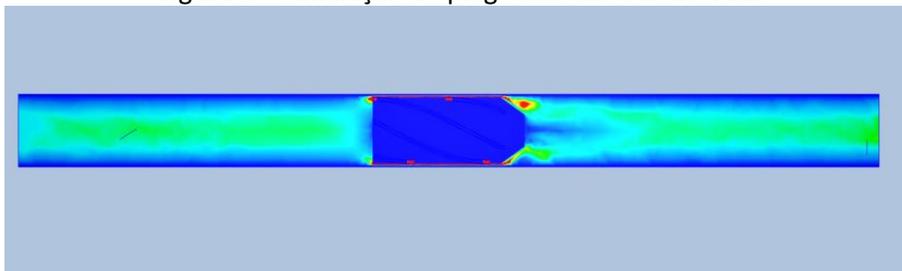
Sujeitou-se novamente a simulações, obtendo resultados mais satisfatório, como observado nas figuras 7 e 8, demonstrando que as alterações realizadas, foram eficazes.

Figura 7 – Simulação do plug com sulcos helicoidais



Fonte: Autores.

Figura 8 – Simulação do plug com sulcos helicoidais



Fonte: Autores.

## Conclusão

Os estudos mostraram que o simulador computacional é uma poderosa ferramenta para engenharia hidráulica e que possibilitou visualizar os fenômenos hidráulicos que ocorrem dentro das tubulações, e desta forma, antecipar alguma falha de projeto. Através das simulações e com um criterioso estudo dos resultados obtidos, pode-se considerar de forma positiva a confecção dos dispositivos de limpezas de tubulações. Mas deve-se ressaltar que não pode negligenciar os estudos in-loco para completar o ciclo de desenvolvimento dos novos modelos dos plugs de limpeza.

## Referências

ALLISON MAGNO DE SOUSA OLIVEIRA, F. D. Q. P. F. J. F. D. M. M. D. C. C. Caracterização hidráulica do tubo gotejador Hidrodrip II. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 486, nov. 1999. ISSN DEAg/UFPB.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. In: BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. p. 625.

FARIA, L. C. Modelagem da aplicação de água de aspersores de tamanho médio em condições de vento. **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 11 mar. 2011. 91.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. In: MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. [S.l.]: Utah State University, 1978. p. 271.

SANTOS, F. L. V. D. et al. UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR. **VI JORNADA ACADÊMICA 2012**, 22 Outubro 2012. 4.