



Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 2

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Capa

AYA Editora

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharias

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

Universidade Estadual de Londrina

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Me. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria De Genaro Chirolí

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Me. Jorge Soistak

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.º Me. José Henrique de Goes

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues

Universidade Norte do Paraná

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa

Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Me. Myller Augusto Santos Gomes

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Me. Pedro Fauth Manhães Miranda

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

*Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus
Pauapebas*

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

Instituto Federal do Acre

Prof.ª Ma. Rosângela de França Bail

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

Universidade Federal do Piauí

Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros

Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda

Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

Instituto Federal de Santa Catarina

Prof.º Dr. Valdoir Pedro Wathier

*Fundo Nacional de Desenvolvimento Educacional,
FNDE*

© 2022 - AYA Editora - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). As ilustrações e demais informações contidas nos capítulos deste Livro, bem como as opiniões nele emitidas são de inteira responsabilidade de seus autores e não representam necessariamente a opinião desta editora.

T757 Tópicos especiais em engenharia inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2022. 147 p.
v.2

Inclui biografia
Inclui índice
Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
ISBN: 978-65-5379-085-8
DOI: 10.47573/aya.5379.2.104

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Segurança do trabalho. 3. Acidentes - Prevenção. 4. Construção civil - Medidas de segurança. 5. Automação industrial. 6. Inteligência competitiva (Administração). I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 620.007

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora EIRELI

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53
Fone: +55 42 3086-3131
E-mail: contato@ayaeditora.com.br
Site: <https://ayaeditora.com.br>
Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação.....8

01

Uso do PMBOK e a nova conceituação BIM para gestão de riscos na construção civil.....9

Thiago Lopes de Lucena

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.1

02

**Simulação computacional para avaliação da eficiência energética de um telhado verde: estudo de caso em uma residência unifamiliar...
.....27**

Wanderley dos Santos Figueiredo

Francisca Valdeiza de Souza Tavares

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.2

03

Bibliometric Analysis of Supermarket Chains.47

Bibiana Porto da Silva

Taís Oliveira da Silva Alfonso

Barbara Lopes

Michele Ines de Barros

Ricardo Augusto Cassel

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.3

04

Competências necessárias para suportar a Indústria 4.067

Michele Ines de Barros

Ricardo Augusto Cassel

Bibiana Porto da Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.4

05

Análise comparativa de ferramentas líderes de Business Intelligence.....81

Ravenna Lins Rodrigues
Cecir Barbosa de Almeida Farias
João Vitor da Silva Alves
Rodrigo Silva de Moura
Pedro Florêncio Almeida Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.5

06

Abordagem teórica de materiais cerâmicos e compósitos cerâmicos: estrutura, propriedades e aplicações94

Aimée Giovanna Jerônimo de Brito
Jéssica Micaelli Mendes da Silva
Breno César Cabral de Oliveira
Mayara Suellen da Silva Nascimento
Renata Arcelino da Silva
Kallyandra Maria Silva de Souza Amorim
Jair Dantas Nacre Junior
Verônica Cristhina de Souza Diniz

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.6

07

Alocação e dimensionamento otimizado de geração distribuída utilizando algoritmo genético.....108

Brenda Leal Mota Santos
Renato Santos Freire Ferraz

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.7

08

Campos girantes e a sua atuação nas máquinas elétricas rotativas.....117

Brenda Leal Mota Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.8

09

Análise transitório e regime permanente de um sistema realimentado.....132

Brenda Leal Mota Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.9

Organizador144

Índice Remissivo145

Apresentação

A publicação de um texto técnico ou científico é uma das formas mais utilizadas para transmitir à comunidade o conhecimento adquirido durante o desenvolvimento de um projeto ou de uma pesquisa. O compartilhamento de conhecimento promove o acelerado desenvolvimento da sociedade, além de um crescimento pessoal e profissional através das trocas de aprendizados.

Portanto, neste livro intitulado “**Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 2**” são compartilhados conhecimentos interdisciplinares adquiridos por cada autor durante o desenvolvimento de seus estudos. A abrangência deste volume envolve diversos temas voltados as engenharias, onde os pesquisadores apresentam os resultados obtidos através da aplicação de diferentes técnicas e tecnologias.

A fim de proporcionar uma experiência de leitura agradável, esta obra encontra-se organizada em nove (9) capítulos abordando diversas temáticas e discussões, demonstrando a evolução proporcionada através do compartilhamento do conhecimento técnico e científico nas áreas da engenharia. Os estudos abordam discussões como: PMBOK e a nova conceituação BIM para gestão de riscos na construção civil; Simulação computacional para avaliação da eficiência energética; Bibliometric analysis of supermarket chains; Indústria 4.0; Business Intelligence; materiais cerâmicos e compósitos cerâmicos; algoritmo genético; máquinas elétricas rotativas e por fim, um estudo sobre uma análise transitório e regime permanente de um sistema realimentado.

Espero que através deste livro você possa aprender novas técnicas e tecnologias para seu desenvolvimento pessoal e profissional e que também promova o compartilhamento destes conhecimentos com todos ao seu redor, impulsionando assim o desenvolvimento de nossa sociedade.

Boa leitura!

Prof.º Dr.º Adriano Mesquita Soares
(Editor Chefe)

01

Uso do PMBOK e a nova conceituação BIM para gestão de riscos na construção civil

Thiago Lopes de Lucena

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.1

RESUMO

A construção civil, por ser um mercado bastante competitivo, vem buscando nas últimas décadas implantar as metodologias do gerenciamento de projetos para seus empreendimentos, nela destaca-se o PMBOK. O mercado exige um maior controle das obras construtivas, devendo a empresa possuir a gestão financeira, afim de se conseguir atingir a lucratividade do planejamento inicial e prever os riscos de forma que os custos não fiquem além do estimado. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar como o gerenciamento de riscos pode ser utilizado em obras de construção civil, utilizando um dos grupos de processos do PMBOK, e os novos conceitos da metodologia BIM, aliados a utilização de planilhas em extensão “.xlsx”. A partir da análise dos resultados, verificou-se que o gerenciamento de riscos pode ser realizado através de uma planilha que compara o planejado e o que está sendo executado, podendo de tal forma acompanhar a cada atualização do cronograma físico-financeiro se a obra está “caminhando” da forma planejada, podendo assim corrigir o seu andamento para que no final o resultado financeiro estimado seja atingido.

Palavras-chave: gerenciamento de riscos. BIM. planejamento. construção civil, “xlsx”.

INTRODUÇÃO

O mercado construtivo tem buscado implantar as metodologias do gerenciamento de projetos para seus empreendimentos. Dentre as áreas do gerenciamento de projeto do PMBok, destaca-se o gerenciamento de riscos, no qual aborda os processos de planejamento, identificação, análise, planejamento de respostas e controle de riscos de um determinado projeto (SAMARINO; SILVA, 2018).

De acordo com Corrêa (2019), essa implementação acarreta 6 vantagens principais: 1) Identificam suas necessidades, de forma que, os pontos fracos sejam apresentados, por exemplo, atrasos nas obras, obras entregadas com o custo acima do orçado, serviços construtivos com a qualidade inferior ao esperado, não atingindo a expectativa financeira dos investidores, além das falhas de comunicação; 2) Verificar o nível de desenvolvimento da gestão de projetos, através de uma análise técnica, por exemplo o OPM3 e instituir um plano de melhorias; 3) Investir na capacitação dos colaboradores, através de visitas de orientação técnica, utilizando multiplicadores que consigam repassar as informações recebidas, impedindo que os processos sejam iniciados com falhas na forma de trabalho ou no uso das ferramentas gerenciais; 4) Determinam o método gerencial a ser aproveitado, sempre alinhado com a realidade da empresa e sua estratégia; 5) Com o processo implantado, as empresas devem fazer a avaliação crítica dos processos adotados, levantando as falhas e promovendo as ações corretivas; 6) Promovem e incentivam o benchmarking em empresas do mesmo ramo, pois, assim a construtora pode se aprimorar cada vez mais, buscando desenvolvimento da equipe e a melhoria contínua dos processos de gestão, crescendo na escala de maturidade.

O esperado com a implantação dessa metodologia gerencial, é alçar as metas mínimas para qualquer obra de engenharia que são prazos, custos e qualidade. Além de melhorar a comunicação interna e externa, diminuindo a quantidade substancial de conflitos, melhorando a gestão dos contratos e aquisições, desenvolvendo constantemente a equipe, diminuindo as surpresas e realizando análise prévia dos riscos (FONTE, 2019).

De acordo com Fe, Isis e Tanaka (2018), além de autorizar o progresso ininterrupto das atividades de execução e controle dos serviços, a essência desses métodos apurados com as melhores técnicas em gerenciamento de projetos faz com que a tecnologia utilizada pela empresa se sustente atualizada e afinadas com as necessidades de construtivas solicitadas pelo mercado.

O BIM é um novo conceito de emprego da tecnologia da informação na AEC, de acordo com Schmitz (2014), produto do crescente interesse dos envolvidos em tornar mais eficaz o uso de TI (tecnologia da informação) na indústria construtiva. A ideia abarca não somente novas soluções para projetos, mas novas maneiras de se olhar todo o processo no qual um determinado empreendimento está envolvido.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar como o gerenciamento de riscos pode ser utilizado em obras de construção civil, utilizando um dos grupos de processos do PMBOK e planilhas em extensão “.xlsx”. O presente estudo foi realizado baseado na obra no DF-495 na altura do KM 6, Cidade Ocidental-GO. O empreendimento tem 1290 lotes, dos quais 1197 são residenciais e 93 são comerciais. A escolha do tema do presente estudo justifica-se pela necessidade de fomentar essa temática pouco abordada na literatura, visto que é um tema escasso no meio científico, especialmente no Gerenciamento de Projetos.

METODOLOGIA

Conforme caracterizam Pereira *et al.* (2018), do ponto de vista da natureza, esse trabalho trata-se de uma pesquisa básica. Pelas perspectivas de abordagem, é uma pesquisa quantitativa. Analisando os objetivos essa pesquisa é exploratória. Em relação aos procedimentos técnicos é do tipo estudo de caso.

Para a efetivação desse experimento, o primeiro passo foi a organização da situação problema objeto da pesquisa, para posteriormente aferir e aplicar todo o máximo do material bibliográfico disponível, uma vez que o tema deve conter relevância tanto teórica como prática e proporcionar interesse de ser estudado (GIL *et al.*, 2008). Logo, foi necessário iniciar o trabalho com um estudo bibliográfico, antes de apresentar um estudo de caso.

Nesse sentido, o presente estudo consistiu inicialmente em um estudo bibliográfico sobre o tema em questão, no qual foi utilizado a base de dados de literatura científica Google Acadêmico, utilizando-se as publicações de todos os períodos, tendo as seguintes palavras-chave: “Gestão de Projetos”, “Gerenciamento de riscos” e “Construção Civil”. Os dados da etapa bibliográfica foram obtidos através de publicações em revistas, Trabalhos de Conclusão de Curso, Dissertações de Mestrado e Tese de Doutorado.

GERENCIAMENTO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

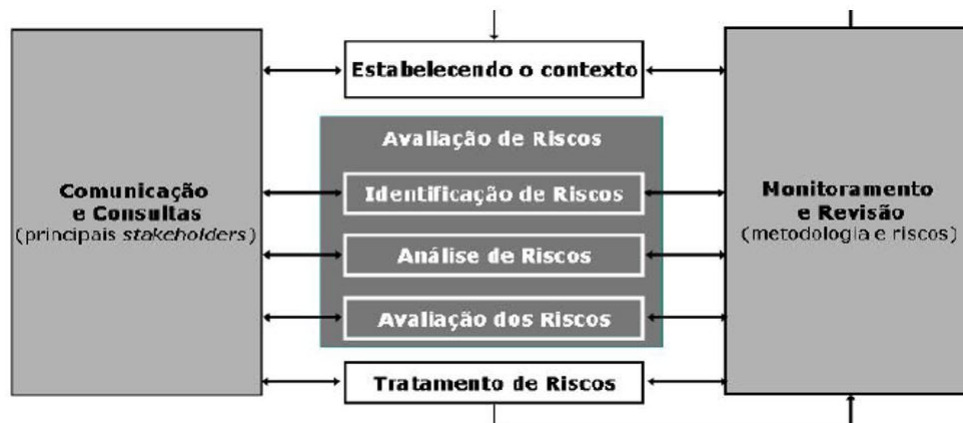
Pela característica da construção civil ser uma atividade que envolve vários processos conjuntos, é necessário um sistema de gerenciamento eficiente, possibilitando controle e aumento de produtividade. A gestão de projetos promoveu um ganho de recursos, seguidos da programação das atividades que possibilita controle da quantidade, dos prazos e dos custos (ALBERICO *et al.*, 2018).

O PMBOK estrutura o gerenciamento em 42 procedimentos e o Construction Extension adiciona diversos processos, sendo incorporados de forma clara em 5 grupos que são: (1) Iniciação, (2) planejamento, (3) execução, (4) monitoramento e (5) controle e encerramento, discriminados abaixo.

1. Grupo de processos de Iniciação: é a definição de um novo projeto ou através de uma autorização para se iniciar;
2. Grupo de processos de planejamento: os métodos realizados para determinar o escopo do projeto, filtrar os objetivos e desenvolver o planejamento para que o objetivo seja alcançado;
3. Grupo de processos de execução: é o processo realizado para executar o planejamento definido para o projeto;
4. Grupo de processos de monitoramento e controle: processo realizado para acompanhamento, revisão e regulação do progresso e o desempenho do projeto;
5. Grupo de processo de encerramento: os métodos são executados para concluir os procedimentos e concluir formalmente o projeto.

Pode-se destacar no gerenciamento de construção civil a norma ISO 31.000, no qual garante a eficácia do gerenciamento de risco na integração da governança em todas as atividades da organização (OLIMPIO; CAMPOS, 2019). Segundo os autores, essa norma também aponta o papel do alinhamento do gerenciamento ao planejamento operacional e estratégico, fazendo parte das tomadas de decisão em todos os âmbitos, além de trazer a definição do macroprocesso pelo qual uma boa gestão de riscos deve ser baseada, conforme Figura 1.

Figura 1- Macroprocesso definido pela norma ISO 31.000



Fonte: ISO 31.000

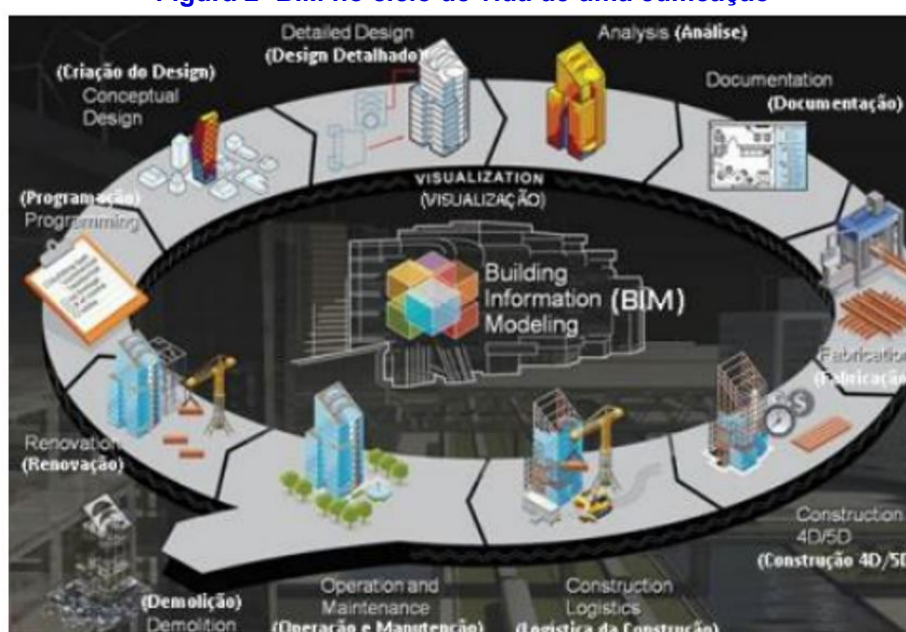
O processo central, de avaliação de riscos, pode ser diferenciado em cada fase dos projetos: FEL1: Realizar análise de riscos do negócio; FEL2: Realizar análise de riscos das alternativas; FEL3: Realizar análise de riscos do projeto e Execução: Realizar análise de riscos do projeto.

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) é o processo de produção, uso e atualização de um modelo de informações da edificação durante todo o seu ciclo de vida. Esse padrão, além da geometria da construção, contém diversas informações sobre seus diferentes

aspectos, potencialmente abarcando todas as disciplinas envolvidas em um empreendimento. Dessa forma, serve a diferentes propósitos, desde os estudos de viabilidade, passando pelo desenvolvimento de projeto, simulações, orçamentação, planejamento, controle, (pré-) fabricação, construção, visualização, colaboração, representação e registro, até manutenção, reformem e, eventualmente, demolição da edificação (SANTOS, 2012).

Campestrini *et al.* (2015) e Azevedo (2009) conceituam que a amostra é baseada em um modelo paramétrico, objetivando a relação dos envolvidos e a interoperabilidade entre as informações. Eles descrevem o BIM como um modelo para o desenvolvimento dos empreendimentos de construção civil, que envolve desde a concepção do projeto até a demolição, conforme exemplifica a Figura 4 sobre o uso do BIM no ciclo de vida da edificação:

Figura 2- BIM no ciclo de vida de uma edificação



Fonte: Campos, 2010 (adaptado)

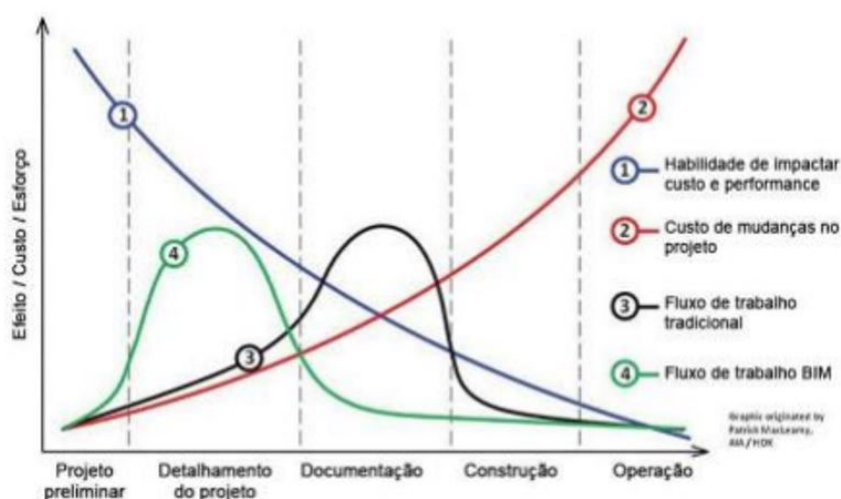
A Figura 2 demonstra como o BIM pode ser utilizado em todas as fases de uma edificação: renovação, programação, criação do design e seu posterior detalhamento, análise, documentação, fabricação, planejamento e orçamento (4D e 5D), logística de construção, operação e manutenção e finalmente, demolição. O impacto potencial do BIM é tão grande devido justamente à amplitude de sua aplicação, abrangendo todo o ciclo de vida — da concepção à demolição — de uma edificação e, portanto, transformando o trabalho de todos os profissionais envolvidos com o empreendimento (SANTOS, 2012).

Ainda de acordo com Santos (2012), BIM significa uma mudança de paradigma na medida em que a edificação deixa de ser concebida e representada abstratamente por símbolos com o CAD em duas dimensões e passa a utilizar ferramentas 3D orientadas a objetos, onde cada componente construtivo inserido no modelo contém semântica, relacionamentos com os demais objetos e outras informações ligadas a componentes reais

Além disso, as limitações da representação 2D são amplas e conhecidas (FERREIRA; SANTOS, 2007) e são a causa de inúmeras dificuldades e erros de projeto. Segundo Eastman *et al.* (2014) as empresas que usam o BIM são beneficiadas, pois o processo de projeto inclui o conhecimento de construção e, além disso, elas conseguem coordenar todas as etapas do projeto.

Trazendo tanto no projeto quanto na construção uma elevada de qualidade, pois se possibilita um maior controle e planejamento. A cooperação antecipada de partes interessadas que geralmente só teriam participação em etapas mais avançadas do empreendimento é uma das características que devem ser mais valorizadas no processo suportado pelo BIM. O grande benefício dessa antecipação é ilustrado na curva criada por Patrick MacLeamy da HOK, que observou a seguinte oportunidade na colaboração antecipada: “os clientes que solicitam a colaboração plena através do compartilhamento de informações antecipado no processo de projeto são os que mais provavelmente conseguirão os resultados esperados: obtenção de edifícios de forma rápida, eficiente, eficaz e dentro do orçamento. Tal colaboração desloca a maior parte da análise, projeto e tomada de decisão para o começo do processo de projeto, dando aos colaboradores a máxima chance para tomarem boas decisões” (CURT, 2004). Conforme ilustrado pela Curva MacLeamy (Figura 3), as possibilidades para se tomarem ações que melhorem o custo, cronograma e a funcionalidade do edifício se reduzem rapidamente com o progresso do empreendimento ao passo que o custo de mudanças no projeto aumenta na mesma proporção. Assim, um processo de projeto diferente do tradicional, que antecipe os esforços de análise e projeção, gerenciado os riscos de forma prévia e não corretiva, permitirá alcançar resultados sensivelmente melhores. O BIM é uma ferramenta que apoia e viabiliza tal colaboração antecipada.

Figura 3- Curva MacLeamy



Fonte: Curt, 2004

A adoção de sistemas BIM não se trata somente da implantação de uma nova tecnologia, mas também se refere à adoção de novos fluxos, processos, de trabalho envolvendo ambiente colaborativo e planejamento nas fases iniciais do projeto. O novo padrão de colaboração envolve recursos avançados de visualização, aliados à transferência contínua de conhecimento entre os diversos agentes participantes do processo de projeto (projetistas, construtores, contratantes, consultores, etc.) (COELHO, 2008).

Os modelos BIM podem representar diversas dimensões (nD) de informação de uma edificação. Os modelos nD são uma extensão do modelo de informação da construção, o qual incorpora multi-aspectos de informação de projeto requerida em cada estágio do ciclo de vida de uma edificação (LEE *et al.*, 200 FORMOSO, ISATTO, 2012).

Quando a base de dados 3D é alimentada com informações de tempo, permitindo a

alocação das quantidades extraídas do modelo em um sequenciamento de atividades e junção de taxas de produtividade e dos tamanhos de equipes criando um cronograma da obra, é caracterizado o 4D-BIM (VICO, 2011). Esse modelo também possibilita a criação de animações do sequenciamento de atividades facilitando a visualização e o acompanhamento do gestor quanto ao avanço físico da obra. Associando informações de custos à dimensão BIM 4D, tem-se o 5D-BIM. Agora os elementos do projeto estão atrelados a um custo e a um cronograma, assim quando uma alteração é feita no empreendimento, a mesma pode ser facilmente visualizada no orçamento e no cronograma (VICO, 2011).

A dimensão BIM 6D refere-se ao gerenciamento do ciclo de vida do empreendimento, carregando o modelo com informações como garantia dos equipamentos, planos de manutenção, dados de fabricantes e fornecedores, custos de operações, entre outras (MATTOS, 2010). Quando são atribuídos a dimensão energia ao modelo, quantificando e qualificando a energia utilizada na construção, a energia a ser consumida no seu ciclo de vida e seu custo, junto com aspectos relacionados à sustentabilidade, temos a dimensão 7D (CALVERT, 2013).

Segundo Campestrini (2015), o modelo BIM 3D contém informações sobre a geometria e qualidade do projeto, que pode ser usado na compatibilização, quantitativos e especificações. Quando são acrescentados dados sobre planejamento, o modelo se torna um BIM 4D. O modelo BIM 5D contém informações de custo das atividades e o 6D é focado em informações sobre a operação e manutenção de edificações.

Por fim, o modelo 7D é relacionado à sustentabilidade e controle energético. O foco do presente trabalho é a abordagem do modelo BIM 4D. Para Silveira (2005), o planejamento 4D pode ser definido como o processo de planejamento para um empreendimento da construção civil e visualização do mesmo a nível espacial conforme o planejado, ou seja, consiste em visualizar o andamento da obra em terceira dimensão (3D) ao longo do tempo, sendo este último (o tempo) a quarta dimensão.

Os projetos de infraestrutura são realizados sob uma incerteza considerável, devido ao fato de que é muito difícil controlar algumas variáveis internas e externas que afetam o desempenho em termos de tempo e custo. A mudança é inerente ao trabalho de construção. Durante anos, a indústria teve uma má reputação porque é difícil lidar com os efeitos da mudança, com muitos projetos com falta de tempo, custo e qualidade (VENDA, 2015).

Os projetos são divididos em fases para facilitar sua gestão, manter os objetivos alinhados e melhorar o controle administrativo. Cada uma dessas fases termina com a conclusão de uma ou mais entregas (entrega de documentos de projeto ou planejamento, relatórios de programa de execução, entre outros), com o objetivo de:

- Avaliar o desempenho do projeto para determinar sua continuidade ou modificação.
- Determine se deve avançar para a próxima fase do projeto.
- Rever os objetivos e se a execução está alinhada com o planejamento.

Isso é de se esperar, levando em conta que não existem projetos perfeitos ou que as forças da natureza não se comportam de maneira perfeitamente previsível. A mudança não pode ser eliminada, mas aplicando alguns princípios de gerenciamento de risco, os engenheiros podem melhorar o gerenciamento eficaz dessas mudanças.

Cada projeto tem suas peculiaridades, que variam de acordo com sua localização, métodos construtivos, seu entorno, condições legais e ambientais, entre outros. Mas pode-se generalizar que o ciclo de um projeto tem três etapas principais: pré-investimento, investimento e operação; cada uma dessas etapas tem ciclos de projeto (MARK, 2011).

Na fase de projeto, será realizada uma análise aprofundada das características e especificações técnicas do projeto, tudo o que foi assumido pelas etapas anteriores deve ser estudado e capturado dentro do projeto. Nesta fase, o projeto tem natureza técnico-financeira, pois inclui a tomada de decisões como contratação de serviços de consultoria, construção, projeto, maquinário, tecnologia que será utilizada para construção, estudos técnicos, negociação e adjudicação de contratos. obtenção de financiamento e negociação com entidades financeiras ou investidores (JORION, 2010).

Eventos com baixa probabilidade de ocorrência não são críticos para os projetos, podendo ser definidos como negligenciáveis e esperados, aqueles que se enquadram na categoria de eventos potenciais que possuem baixa probabilidade de ocorrência, mas alto impacto no projeto. São eventos que representam um risco, mas sua probabilidade de ocorrência é muito remota. Ainda assim, esses tipos de riscos devem fazer parte do planejamento do projeto e os planos de resposta devem ser considerados para eles, mesmo quando o impacto financeiro é muito alto (JORION, 2010).

A gestão de riscos é um processo constante que deve acompanhar o projeto desde o planejamento até a entrega, uma vez que as diferentes etapas dos processos de gestão são aplicadas durante o seu desenvolvimento (ESTEVES, 2019). As ferramentas disponíveis na metodologia de gestão de riscos permitem uma análise detalhada, não só das diferentes etapas e fases dos projetos, mas também das atividades de cada uma delas, o que permite uma gestão mais eficiente de todo o projeto.

O tipo de resposta aos riscos que a gestão do projeto assume de acordo com as análises e recomendações, por parte dos responsáveis das diferentes áreas, terá um impacto significativo no desenvolvimento e resultados do projeto (KELTON, 2010). A oportunidade de gerenciar riscos diminui à medida que o projeto avança, por isso é essencial que o gerenciamento de riscos oportuna e eficaz seja realizado em sua fase inicial ou de planejamento.

RISCOS E INCERTEZAS

O risco é uma exposição a algo não planejado que de alguma forma pode vir de maneira negativa, ou seja, trazendo um resultado não esperado. O risco possui muitas definições, muito dependente da área ao qual é abordado, podemos enfatizar a financeira, a das ciências operacionais, matemáticas, estatísticas, econômicas, itens muito importantes e relevantes para construção civil.

Segundo Campos (2018), o risco não é mais que o grau de incerteza que se tem em relação a um evento, e onde haverá incerteza, haverá sempre um risco associado ou pode ser simplesmente, entrando na área probabilística, o desvio padrão da variável aleatória. Conforme explica Lima (2019), os coeficientes de atraso geralmente associados às estimativas de durações de atividades, não são mais que o risco associado a estas.

Entretanto, para Alves (2020) não há risco se não houver incerteza, porém, poderá haver incerteza sem haver risco. Acontecimentos catastróficos de ordem natural são um exemplo claro deste conceito, pois, não podem ser considerados um risco, não são quantificáveis. Podemos afirmar que o risco de projeto é o conjunto de todos os riscos singulares adjuntos às tarefas exercidas ao decorrer do projeto, sendo assim um conceito de difícil realização.

Segundo Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), o risco de projeto é um evento ou condição incerta que, se acontecer, tem um efeito positivo ou negativo nos objetivos do projeto. Quando o projeto está sendo bem acompanhado e controlado, muitas decisões que são invariavelmente são adotadas para amenizar o risco previamente identificado. Não há qualquer vantagem em obter a ciência sobre os riscos, quando os eventos já estão acontecendo. O intuito é evitar os impactos, e não esperar que aconteçam para que sejam reparados.

O gerenciamento de riscos pode ser definido como ciência, arte e função que visa proteger os recursos humanos, materiais e financeiros da empresa em relação à eliminação, redução ou financiamento de riscos, se economicamente justificado.

Este estudo começou nos EUA e em alguns países europeus logo após a Segunda Guerra Mundial, quando começaram a explorar a possibilidade de diminuir os prêmios de seguro e a necessidade de proteger a empresa contra riscos de acidentes. De fato, se falarmos sobre conscientização de riscos e convivermos com ela, veremos que a gestão de riscos é tão antiga quanto o próprio homem. O homem sempre foi associado a riscos e decisões sobre o mesmo (BARRAGAN, *et al.*, 2016).

Desde então, até o surgimento da gestão de riscos, americanos e europeus combinaram o que já foi feito de forma independente em um conjunto de teorias lógicas e objetivas, dando o nome de gerenciamento de riscos.

Como afirmou Fernandez (2011), “é mais fácil ir de mal a bom do que de bom a excelente.” Segundo o autor, a mudança mais drástica que deve ser feita para atingir a faixa apropriada de objetivos é aquela em que a segurança não é mais percebida como satélite ou função independente, para transformá-la em uma função cujas fontes comuns de perda são melhor controladas e impedidas pela aplicação de regras estabelecidas gestão: planejamento, organização, gestão e controle.

Garcia (2014) estabelece uma sistemática de análise de risco, levando em consideração três elementos: risco (geração de causas), entidades (nas quais o risco pode afetar) e efeitos (riscos nas entidades). O gerenciamento de riscos se torna eficaz, interligando esses elementos com vários planos de observação: humano, social, político, jurídico, econômico, comercial e técnico.

Para que o gerenciamento de riscos seja realmente eficaz, não basta envolver o gerente de riscos no programa. Os conceitos de qualidade e segurança estão intimamente relacionados. O gerenciamento de riscos deve fazer parte da cultura interna da empresa e ser integrado em todos os níveis. Em vez disso, o gerente de riscos e a equipe de gerenciamento devem atuar como catalisadores das operações da empresa em relação ao risco (NAKAGOME; KAWAGUCHI, 2008).

Como afirma Settembrino (2016), o gerente de risco não vê tudo, faz tudo e sabe tudo.

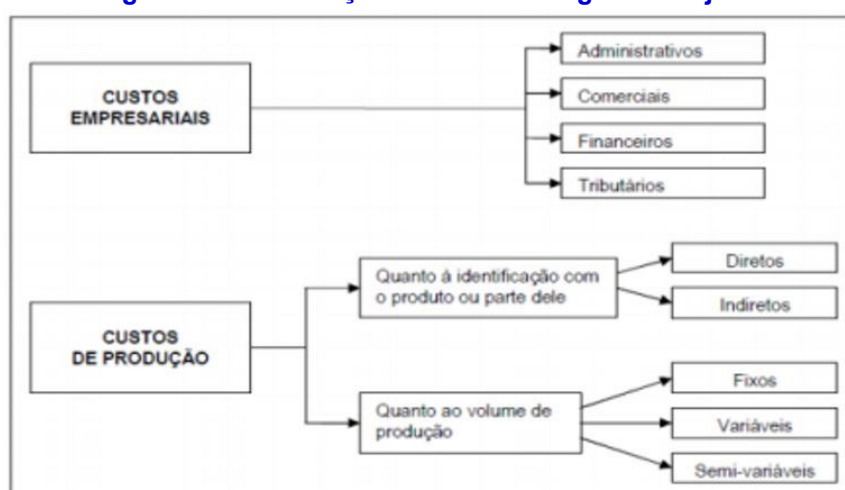
Por esse motivo, seu principal objetivo deve ser desenvolver a conscientização de riscos para que todos se comportem com um senso de responsabilidade. O gerente de riscos deve trabalhar com as pessoas responsáveis pela segurança, bem como com os auditores internos, para localizar o risco decorrente de qualquer disfunção organizacional em que a visão e experiência globais da empresa permitam uma compreensão mais fácil dos problemas.

Embora o gerenciamento de riscos ainda não seja uma prática permanente nas organizações brasileiras, considera-se que o gerenciamento de riscos não sobrecarrega o saldo final da organização e as despesas incorridas por ele não podem ser comparadas com os benefícios que a empresa desfrutará, tanto em termos de otimização de custos de seguros quanto maior proteção aos recursos humanos, materiais, financeiros e ambientais. Graças à gestão de riscos, é possível otimizar apenas os resultados do desenvolvimento tecnológico, com base na redução de riscos associados às atividades que surgem na sociedade moderna.

Importante ressaltar que um outro grande benefício da realização do gerenciamento de riscos, é o impacto positivo nos custos de um empreendimento.

É interessante trazer uma definição da palavra “custo”, que muitas vezes se confunde com despesa ou gasto: “A palavra “custo” é o termo genérico utilizado para referir-se a qualquer gasto, seja ou não monetário, aplicado na produção de um bem ou serviço. Pode-se definir também custo como sendo um esforço econômico despendido na consecução de um produto” (DIAS, 2002). De forma ampla, os custos podem ser divididos em dois grandes grupos, segundo Trajano: Custos Empresariais e Custos de Produção (*apud* DIAS, 2002). Os custos empresariais dizem respeito à administração central da organização, e geralmente independem do volume de produção. Já os custos de produção são aqueles relacionados com a fabricação do produto, incluindo todos os recursos necessários à sua produção (DIAS, 2002). A classificação geral dos custos, como demonstra Trajano, é observada na figura (4) abaixo:

Figura 4- Classificação dos custos Segundo Trajano.



Fonte: Trajano *apud* DIAS (2002)

Usualmente, na construção civil, os custos podem ser classificados quanto à identificação com o produto, ou seja, em custos diretos e custos indiretos. Os custos diretos são aqueles que podem ser identificados ou relacionados com o produto em execução, ou parte dele, podendo ser apropriados diretamente. Exemplos: materiais diretos e mão de obra direta (MARTINS, 1995). Os custos indiretos são aqueles que não se relacionam diretamente com um produto ou

parte dele, ou que não convém que sejam imputados diretamente, por razões econômicas ou dificuldades práticas de apropriação. Desse modo devem ser apropriados separadamente e incluídos aos produtos através de métodos de rateio (MARTINS, 1995).

ANÁLISE INICIAL DE RISCOS

De acordo com Cicco e Fantazzini (2012), a análise inicial de riscos (APR) envolve testes durante a fase de projeto ou o desenvolvimento prematuro de um novo sistema para determinar os riscos que podem ocorrer em sua fase operacional.

A APR é, portanto, uma análise 'qualitativa' preliminar, desenvolvida no estágio de design e desenvolvimento de qualquer processo, produto ou sistema, tendo particular importância no estudo de novos sistemas com alta inovação e/ou pouco conhecido, ou seja, quando há falta de experiência em risco em sua operação ou não é suficiente. Apesar dos recursos básicos da análise inicial, é muito útil como uma ferramenta geral para revisar a segurança em sistemas já operacionais, revelando aspectos que às vezes passam despercebidos (ANSELL; WHARTON, 2012).

A APR teve seu desenvolvimento na área militar, usada principalmente como uma revisão de novos sistemas de mísseis. Nesse caso, a necessidade era que esses sistemas apresentassem características de alto risco, uma vez que os mísseis foram desenvolvidos para trabalhar com combustíveis líquidos perigosos. Assim, o APRC foi usado para verificar a possibilidade de não usar materiais e procedimentos de alto risco ou, quando tais materiais e procedimentos não puderem ser evitados, pelo menos o exame e a implementação de medidas preventivas (OLIVEIRA, 2011).

Para se ter uma ideia da necessidade de segurança durante os setenta e dois silos que disparavam o míssil intercontinental Atlas, quatro deles foram quase completamente destruídos. Além das perdas por fatores humanos, as perdas financeiras estimadas foram de US\$ 12 milhões para cada uma dessas unidades perdidas (ESTEVES, 2019).

O processo de gerenciamento de riscos foca nas necessidades e prioridades do projeto e inclui métodos, técnicas e ferramentas especialmente desenvolvidas para este fim. O processo deve estar a cargo de um gerente ou analista de riscos, que é responsável por estabelecer uma estrutura para a coleta de informações com o pessoal-chave do projeto por meio da identificação e avaliação dos riscos. A chave para o sucesso no processo é a contribuição das pessoas que trabalham na organização (KELTON, 2010).

O processo de gerenciamento de riscos foca nas necessidades e prioridades do projeto e inclui métodos, técnicas e ferramentas especialmente desenvolvidas para este fim. O processo deve estar a cargo de um gerente ou analista de riscos, que é responsável por estabelecer uma estrutura para a coleta de informações com o pessoal-chave do projeto por meio da identificação e avaliação dos riscos. A chave para o sucesso no processo é a contribuição das pessoas que trabalham na organização (VENDA, 2015).

Os riscos são comumente identificados e estruturados em oficinas criativas organizadas pelo analista de risco. Com base nos dados coletados e nas informações disponíveis do projeto, planos de resposta (planos de tratamento ou planos de ação) podem ser desenvolvidos

(GRINBLATT, 2012).

Os principais riscos que devem ser identificados e gerenciados para esta fase são baseados nos acordos e contratos que serão feitos com os diferentes fornecedores, com base na análise realizada nas primeiras fases do ciclo de vida do projeto.

O nível de tratamento e identificação de risco dependerá do tipo de projeto, embora os projetos de infraestrutura exijam um forte investimento de capital, o retorno do investimento dependerá do foco do projeto na venda ou na prestação de serviços. projetos de concessão ou arrendamento de infraestrutura rodoviária, neste caso, os riscos considerados serão completamente diferentes de um projeto de venda direta, em que é determinado um determinado período de tempo para recuperar o capital, e ceder os direitos do projeto a uma entidade administrativa (ILARDO, 2012).

É importante estabelecer uma estrutura que atenda às necessidades do projeto como um todo. É um processo minucioso, que deve ser realizado respeitando a ordem de cada um dos processos, pois os resultados obtidos em cada uma das etapas servem como insumos de informações para a etapa seguinte (GRINBLATT, 2012).

É uma condição latente que, ao não ser modificada ou mitigada pela intervenção humana ou por uma mudança nas condições do ambiente físico, anuncia um certo nível de impacto social e econômico no futuro, quando um evento físico desencadeia ou atualiza as condições existentes risco.

Os processos de gestão de riscos na construção devem abranger todas as atividades, desde a concepção até a entrega do projeto ao cliente, de forma que possam ser contempladas em seu registro para garantir a qualidade de cada um dos processos e materiais, que será utilizado no projeto, lembra-se que a má qualidade gera custos adicionais, pois a empresa terá que gastar recursos e tempo para fazer as correções (ILARDO, 2012).

O responsável pela gestão de riscos em um projeto de construção deve ter visibilidade e conhecimento de cada uma das etapas do projeto. Geralmente, a maneira mais eficiente de conseguir isso é realizando uma sessão de brainstorming com todos os stakeholders envolvidos no projeto: calculadoras, agrimensores, arquitetos, estruturais, moradores de construção, fornecedores, entre outros.

A implementação de uma gestão de risco em projetos de construção reduz a variabilidade dos resultados financeiros, por ter maior certeza sobre o desempenho das atividades e potenciais fatores externos e internos que podem representar um risco, infelizmente muitas empresas não realizam um acompanhamento adequado das perdas financeiras causadas por eventos de risco inerentes às atividades dos projetos, de modo que não podem realizar uma análise das perdas financeiras que foram evitadas com a aplicação de mitigação de risco (PADOVEZE, 2015).

Todos os riscos geram impactos no projeto, e estes podem ser quantificáveis economicamente, saber-se-á que no caso de uma determinada eventualidade, a empresa responsável pelo projeto deverá alocar recursos para retificar os possíveis danos ou prejuízos.

Atualmente, a metodologia de gerenciamento de riscos não é utilizada por grande parte das construtoras, apesar dos benefícios que oferece. A falta de conhecimento sobre sua aplica-

ção tornou esta ferramenta disponível para poucos (MUN, 2010). O grau de complexidade das demandas e necessidades que os clientes têm exigido das construtoras. Nas últimas décadas, devido aos seus serviços e produtos, têm levado ao desenvolvimento de novas ferramentas e metodologias de trabalho sob o foco da satisfação do cliente, ao mesmo tempo que elevam o nível de competitividade entre elas (KELTON, 2010).

É importante dizer que o objetivo do gerenciamento de riscos não é prever o futuro, nem eliminar os possíveis riscos que afetam um determinado projeto, pois isso é impossível. Sua intenção é ser uma ferramenta que ajude a analisar o ambiente de cada projeto, e ajude a tomar as melhores decisões, de modo que haja uma estratégia, um fundo monetário e um fundo de tempo alocado no orçamento e no programa de execução, para lidar com os eventos que podem ter um impacto negativo nos projetos e controlar eficientemente seus efeitos (NEVES, 2011).

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE UMA OBRA NA VISÃO DO GERENCIAMENTO DE RISCOS

A obra em questão foi realizada em na DF-495 na altura do KM 6, Cidade Ocidental-GO. O empreendimento tem 1290 lotes, dos quais 1197 são residenciais e 93 são comerciais. A obra consiste na execução de drenagem de águas pluviais, rede de água potável, terraplanagem e pavimentação. O valor da obra em questão foi orçado em R\$14.977.784,65 (quatorze milhões novecentos e setenta e sete setecentos e oitenta e quatro reais e sessenta e cinco centavos) para serem executados no prazo de 10 meses.

Para a obra em questão foi realizado um planejamento físico-financeiro, baseado nas especificidades na obra em questão, baseado nas práticas da época para a construção civil, para que ao final da obra o percentual de lucro esperado fosse alcançado. A Figura 2 apresenta o Quadro de Resultados.

Figura 5 - Quadro de Resultados

ACOMPANHAMENTO DE PROJEÇÕES													
jun/14	Acum. até data		jun/14			2014						Final Contrato	
	PREV	REAL	PREV	PROJ*	REAL	Jan-Jun		Jul-Dez		Final Ano		PREV	PROJ/TEND
PRODUÇÃO	14,38	9,54	2,08	2,08	-	7,87	2,91	2,38	5,44	10,25	8,36	14,98	14,98
CUSTO	11,66	7,16	1,68	2,04	0,08	6,38	1,79	0,49	3,79	6,87	5,57	12,15	10,94
MARGEM BRUTA	2,72	2,38	0,39	0,04	(0,08)	1,49	1,13	1,89	1,66	3,38	2,78	2,83	4,03
RENTABILIDADE (%)	18,89%	24,93%	18,89%	1,78%	0,00%	18,89%	38,66%	79,57%	30,41%	32,99%	33,29%	18,89%	26,93%
Dados fornecidos em R\$ x Milhão													
PRODUÇÃO	66%		-100%			37%		229%		82%		100%	
CUSTO	61%		5%			28%		778%		81%		90%	
MARGEM BRUTA	88%		-121%			76%		87%		82%		143%	
RENTABILIDADE (%)	132%		-100%			205%		38%		101%		143%	
FATURA	9,34		-			1,4148		Avanço Físico		Backlog		PROD FAT	
Dif. PRODUÇÃO / FATURA	(0,20)		-			(1,50)		PREV		REAL		Início	
								mai/14 jun/14		19/03/2013		18/09/2014	
								#N/D #N/D		5,44 5,64			
								63,67% 63,67%		19/03/2013			
								Periodo 0,00%		18/09/2014			

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Através da Figura 5, é possível analisar os dados financeiros da obra, e os percentuais de custos e produtividades executados naquele mês, o acumulado até a data, a separação do resultado por semestre, a margem de rentabilidade planejada e projetada de acordo com os valo-

res até então realizados, para custo e venda. Vale destacar que na matéria de orçamentação PV (Preço de Venda) = Custo (Custos diretos + Custos indiretos) x 1, BDI% (Benefícios e Despesas Indiretas).

Os Benefícios e Despesas Indiretas são os valores em percentuais aplicados ao valor do custo que não são possíveis mensurar, por exemplo: (1) Administração Central, (2) Risco, (3) Garantias, (4) Lucros e (5) Despesas financeiras. O Acórdão 2622/2013 – TCU plenário traz uma visão e um direcionamento quanto aos percentuais a serem adotados na Administração Pública, no entanto, também serve de referência para a iniciativa privada. A Figura 3 apresenta o Quadro de lançamentos.

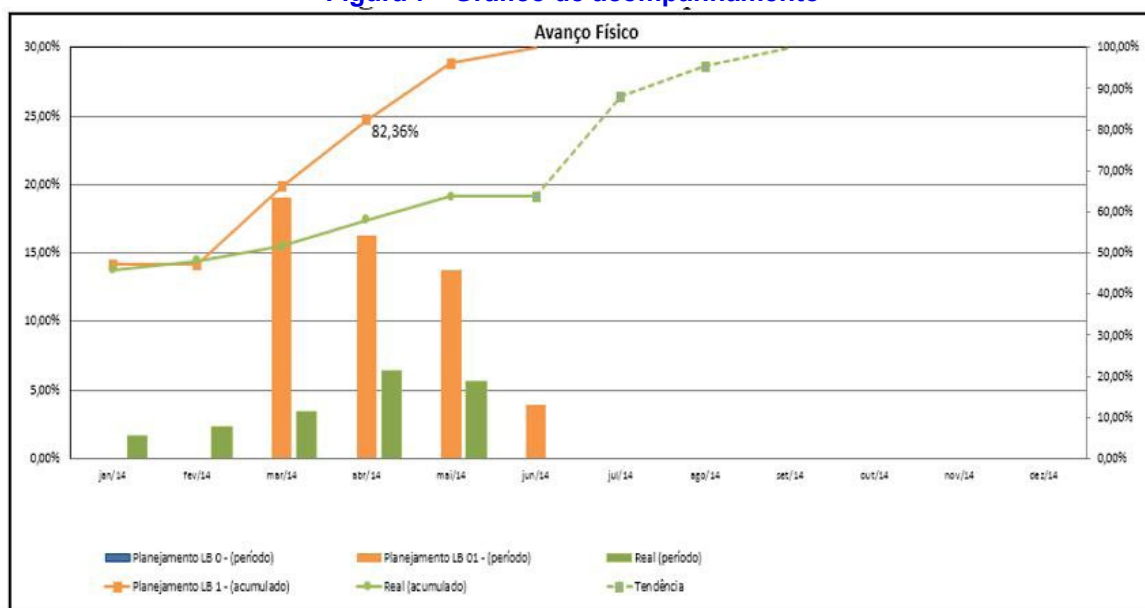
Figura 6 - Quadro de lançamentos

Tipo	dez/13	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14
PRODUÇÃO / PREV	6,51071845	0,3143911	0,39356634	0,46519457	2,17156126	2,447310194	2,07503289	0,600009845	1,10383937	0,6777542
CUSTO / PREV	5,280659309	0,254993716	0,31921051	0,377306138	1,761291825	1,984943974	1,683000399	0,486650989	0	0
PRODUÇÃO / REAL	6,62121908	0,250710472	0,341229017	0,51864543	0,958537593	0,845232671	0			
CUSTO / REAL	5,37028324	0,14382866	0,205131644	0,402709094	0,434978285	0,518715348	0,08233422			
PRODUÇÃO / PROJ								3,6606168	1,10383937	0,6777542
CUSTO / PROJ								2,34197148	0,895292845	0,5497072
Fatura	7,92373915	0	0	0,49571793	0,91906517	0	0			
PRODUÇÃO / REAL / PROJ	6,62121908	0,250710472	0,341229017	0,51864543	0,958537593	0,845232671	0	3,6606168	1,10383937	0,67775422
CUSTO / REAL / PROJ	5,37028324	0,14382866	0,205131644	0,402709094	0,434978285	0,518715348	0,08233422	2,34197148	0,895292845	0,54970725
Planejamento LB 0 - (período)	100,00%									
Planejamento LB 01 - (período)	47,11%	0,00%	0,00%	19,02%	16,23%	13,74%	3,90%			
Real (período)	44,21%	1,67%	2,28%	3,46%	6,40%	5,64%	0,00%			
Planejamento LB 0 - (acumulado)	100,00%	100,00%	100,00%							
Planejamento LB 1 - (acumulado)	47,11%	47,11%	47,11%	66,13%	82,36%	96,11%	100,00%			
Real (acumulado)	44,21%	45,88%	48,16%	51,62%	58,02%	63,67%	63,67%			
Tendência							63,67%	88,11%	95,48%	100,00%
MOI		0,04421649	0,044216	0,03176128	0,05400427	0,05400427				
OUTROS		0	0	0	0					

Fonte: Próprio Autor, 2022.

O Quadro apresentado na Figura 6 é alimentado com as informações da contabilidade referente a medição realizada no mês e os custos, com estes dados é possível avaliar e replanejar a obra dentro do prazo estimado. Ou seja, o valor a realizar é dividido até o final do prazo, de forma que o gerente da obra consiga ter noção de quanto falta a realizar e como ele irá gerenciar a sua equipe para que o alvo financeiro seja atingido. Na empresa em questão haviam reuniões com os acionistas para que fossem apresentados os dados e eles tivessem o conhecimento de como estavam os números das obras e qual resultado financeiro final esperar. A Figura 7 apresenta o Gráfico de acompanhamento.

Figura 7 - Gráfico de acompanhamento



Fonte: Próprio Autor, 2022.

A Figura 7 traz duas informações importantes, a linha laranja representa a linha do planejado inicial, a verde sólida representa o realizado e o tracejado representa o replanejado da obra. É nítido verificar que a partir do terceiro mês de obra, a produtividade não acompanhou o planejado, por diversos motivos, essa obra teve vários problemas referentes a autorização de órgãos fiscalizadores, como IBAMA, prefeitura da cidade e chuvas, por exemplo. Por se tratar de uma obra de infraestrutura que possuía grande parte dos serviços referentes a movimentação de terra e terraplanagem, a chuva foi fator impactante ao final do contrato.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados encontrados, verificou-se que por mais que tivesse um acompanhamento mensal físico-financeiro na obra analisada, o gerenciamento de riscos não fora bem executado previamente, mudança de cultura, mentalidade, com novas soluções embasadas no conceito BIM, onde as disciplinas são envolvidas desde a concepção do projeto, o gerenciamento de riscos seria realizado de forma antecipada, atendendo ao objetivo de se realizar uma análise de riscos é que este seja previsto evitando assim a sua correção, logo, problemas documentais, chuvas, entre outros problemas apresentados na obra, são situações facilmente previsíveis.

O bom gerenciamento de riscos vem através da busca ativa de se identificar os possíveis problemas a serem enfrentados durante todo a execução do projeto, e da tomada de decisões de forma rápida e eficaz, e caso advenha, que seja prontamente corrigida e o planejamento seja analisado. Sendo assim, espera-se que o presente trabalho corrobore com a temática em questão e sirva de base para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Norma NBR ISO 31000 – [s.d.]: Gestão de Riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ALBERICO, Adriana Xavier Alberico Ruas Xavier *et al.* GERENCIAMENTO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: TEMPO, CUSTO E QUALIDADE. *CONSTRUINDO*, v. 10, n. 2, p. 1-20, 2018.
- ANSELL, Jake, WHARTON, Frank. Risco: análise de análise e gerenciamento. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltda., 2012. 220p.
- ALVES, Marcelo Rosas. Gerenciando Incertezas em Projetos de Implantação de ERP com Foco no Fator Humano: um Estudo de Caso em uma Instituição Pública de Ensino. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
- AZEVEDO, O. J. M. Metodologia BIM – Building Information Modeling na Direção Técnica de Obras. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de PósGraduação, Universidade do Minho, Portugal, 2009.
- BARRAGAN, L. G.; WEFFORT, E. F. J.; ARANHA, M. P. S. (2016) O processo de gestão de riscos e controles internos nas entidades sem fins lucrativos como uma ferramenta para redução de custos. *Anais... In: Congresso Brasileiro de Custos*, 13, 2016.
- BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 79-96, abr./jun. 2015.
- CALVERT, Neil; Why we care about BIM. Disponível em: [Why WE care about BIM... \(directionsmag.com\)](http://www.directionsmag.com). Acesso em: junho de 2022.
- CAMPESTRINI, T. F.; *et al.* Entendendo BIM: Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação. 1ª edição, Curitiba, 2015
- CAMPOS, Gabriel Gil dos Santos. Estudo de caso: gerenciamento de riscos aplicado à construção de uma obra de arte especial. 40 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.
- CICCO, Francesco. Engenharia de testes e análise de riscos. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 17, n.66, abr./mai./jun., 2012.
- COELHO, S.S.; NOVAES, C.C. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: VIII Workshop Brasileiro de Gestão de Projetos na Construção de Edifícios, São Paulo, USP, 2008
- CORRÊA, Roberto Salemme. Por que algumas obras dão certo e outras não? Oficina de Textos, 2019.
- DIAS, Paulo R. V. Uma metodologia de orçamentação para obras civis. 2002. 172 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil – Produção Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- DÓREA MATTOS, Aldo. Planejamento e Controle de Obras. 1ª edição. São Paulo: PINI, 2010.
- ESTEVES, Alan da Silva. Análise de riscos. Curso de requisitos para gerentes - COCECON. Petrobrás: 2019. 42p.

FE, Felipe Rakauskas; ISIS, Isis Mazur; TANAKA, Wilson Yoshio. APLICAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RISCO EM UM PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO. Ibero-americana Journal of Project Management, v. 9, n. 2, p. 38-52, 2018.

FERNANDEZ, Laureano Montenegro. Los accidentes de trabajo na Espanha - tendências na prevenção de acidentes profissionais. IV Seminário Brasil-Espana. Saúde e Trabalho, São Paulo, v.5, n.2, p.19-28, 2011.

FONTE, Eduardo Côrtes. Gerenciamento de Riscos: uma comparação entre o Guia PMBOK 6ª edição e a ISO 31000: 2018. Boletim do Gerenciamento, v. 4, n. 4, p. 22-32, 2019.

GARCIA, Francisco Martinez. Economia dos rendimentos pessoais na empresa. Gerencia de Riesgos, Fundação MAPFRE Studios, v.l 1, n.46, p.31-43, 2014.

GIL, Antonio Carlos *et al.* Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

GOES, R. H. D. T. E. B. D.; SANTOS, E. T. Compatibilização de Projetos: Comparação entre o BIM e CAD 2D. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO

FERREIRA, E. A. M.; MATOS, F. D.; GARCIA, M. S. Avaliação do Processo de Modelagem da Edificação e do Canteiro de Obras no Desenvolvimento de Projetos 4D. In: XIV ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2012, Juiz de Fora. p. 3558 - 3563.

GRINBLATT, Mark. Mercados Financeiros, Estratégias Corporativas. 2.ed. Bookman. São Paulo, 2012.

ILARDO, Joseph. Assumindo Riscos para crescer - como transformações radicais podem gerar sucesso na vida. 1.ed. Summus. São Paulo, 2012.

JORION, Philippe, Value at Risk: A Nova Fonte de Referência para a Gestão de Risco Financeiro. 2 ed. São Paulo: Bm&fBovespa, 2010.

KELTON, W. D. Simulation Modeling and Analysis. 3ª edição. New York, MacGraw-Hill, 2010.

LIMA, Lais Montes. Aplicação do gerenciamento de riscos em uma obra residencial de pequeno porte. 2019. 60 f Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MUN, J. Modeling Risk: Applying Monte Carlo Risk Simulation, Strategic Real Options, Stochastic Forecasting and Portfolio Optimization. 2 nd edition. New Jersey, Wiley Finance, 2010.

NAKAHODO, Sidney Nakao; SAVOIA, José Roberto. A reforma da previdência no Brasil: estudo comparativo dos governos Fernando Henrique Cardoso e Lula. Revista Brasileira de Ciências Sociais, v. 23, n. 66, p.45-58, fevereiro/2018.

NEVES, C. Análise de Investimentos: Projetos Industriais e Engenharia Econômica. Rio de Janeiro, Zaher Editores, 2011.

OLIMPIO, Luiz Carlos Magalhães; CAMPOS, Vanessa Ribeiro. Gerenciamento de risco em apoio estratégico à pequenas e médias empresas da construção civil. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, p.1-8, n.6, n.1, 2019.

OLIVEIRA, Wilson Barbosa. Programas de segurança baseados na prevenção e controle de alterações.

Curso de segurança, saúde e meio ambiente - CURSSAMA. Petrofértil: setembro de 2011.

PADOVEZE, Clovis Luis. Introdução a Administração Financeira. 1.ed. Thomson. São Paulo, 2015.

PEREIRA, A. S. *et al.* Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf, 2018.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, A Guide to the Project Management Body of Knowledge -PMBOK® Guide, 6th.ed. – Newton Square, 2017.

SAMARINO, George Talmo Vital; DA SILVA, Evaldo de Oliveira. HistoryRisk: Uma ferramenta para gerenciamento de riscos com base no PMBoK. Caderno de Estudos em Sistemas de Informação, v. 1, n. 2, 2018.

SCHMITZ, Carlise. Representação do escopo da construção em um modelo BIM visando o planejamento e controle da produção através de ferramentas 4D. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

SETTEMBRINO, François. Riesgos puros frente a riesgos especulativos. Gerencia de Riesgos, Fundação MAPFRE Studios, v. 11, n.46, p.9-19, 2016.

VERGARA, Walter Roberto Hernández; TEIXEIRA, Renata Tais; YAMANARI, Juliana Suemi. Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação. Exacta, v. 15, n. 1, p. 75-88, 2017.

VENDA, Ingeborg. Gerenciamento de riscos. Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Florianópolis: FEESC, 2015.

VICO. 5D BIM. VICO Software, 2011. Disponível em: O Que É Vico Office Suite? (de Trimble Inc.) (solvusoft.com) . Acesso em: junho de 2022.

02

Simulação computacional para avaliação da eficiência energética de um telhado verde: estudo de caso em uma residência unifamiliar

*Wanderley dos Santos Figueiredo
Francisca Valdeiza de Souza Tavares*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.2

RESUMO

Com o constante crescimento populacional e conseqüentemente, o surgimento das novas edificações, sejam elas residenciais e/ou comerciais, o mundo inteiro sofre com o aumento do uso de energia para seus devidos fins estabelecidos. Dado a isso, a necessidade do uso de uma melhor e maior eficiência energética se torna foco dentro da construção civil. Este trabalho objetiva o uso de uma simulação computacional entre duas metodologias construtivas de telhado com parâmetros estabelecidos por meio da metodologia BIM – Building Information Modeling, para uma redução do consumo de energia, a importância de uma arquitetura bioclimática para o meio sustentável e o acréscimo de um melhor conforto térmico. A simulação da edificação residencial unifamiliar foi desenvolvida com uso do software Revit® para a inserção de todas as informações geográficas e geométricas da residência e a ferramenta Autodesk INSIGHT para a realização da simulação de forma online. Para a obtenção desses objetivos, utilizou-se de estudo de caso com uma metodologia de pesquisa descritiva, exploratória e qualitativa em uma residência situada no interior do estado do Ceará, aproximadamente a 486 km de sua capital, Fortaleza. Os resultados obtidos por meio da simulação priorizam o uso de telhados verdes em coberturas residenciais por apresentar uma maior eficiência na absorção de energia natural quando comparado ao telhado cerâmico, assim, também apresentando um melhor uso de energia em todos os cômodos da residência. Conclui-se que o uso de telhados verdes gera uma redução energética considerável, além de reduzir os gastos financeiros e agregar aspectos sustentáveis.

Palavras-chave: eficiência energética. simulação computacional. telhados verdes.

ABSTRACT

With the constant population growth and, consequently, the appearance of new buildings, be they residential and / or commercial, the whole world suffers from the increase in the use of energy for its due established purposes. Given this, the need to use better and greater energy efficiency becomes a focus within civil construction. This work aims to use a computer simulation between two constructive roof methodologies with parameters established through the BIM methodology, for a reduction in energy consumption, the importance of a bioclimatic architecture for the sustainable environment and the addition of better thermal comfort. The simulation of the single-family residential building was developed using the Revit® software to insert all the geographic and geometric information of the residence and the Autodesk INSIGHT tool to perform the simulation online. To achieve these objectives, a case study with a descriptive, exploratory and qualitative research methodology was used in a residence located in the interior of the state of Ceará, approximately 486 km from its capital, Fortaleza. The results obtained through the simulation prioritize the use of green roofs in residential roofs, as they present a greater efficiency in absorbing natural energy when compared to the ceramic roof, thus also showing a better use of energy in all rooms of the residence. It is concluded that the use of green roofs generates a considerable energy reduction, in addition to reducing financial expenses and adding sustainable aspects.

Keywords: energy efficiency. computer simulation. green roofs.

INTRODUÇÃO

Dentro da construção civil são encontradas inúmeras possibilidades que visam a entrega de uma maior eficiência energética, porém, para que de fato torne-se possível a incrementação de sistemas tecnológicos e inovadores, faz-se necessário o estudo da viabilidade sustentável.

Segundo EPE (2018), em 2017 o país voltou a crescer no consumo de eletricidade após dois anos consecutivos de queda, subindo 1,2% nos parâmetros estabelecidos. Com esse crescimento, ainda que aparentemente pequeno, coloca o Brasil entre os 10 países que mais consomem energia elétrica, chegando à marca de 467.161 GWh. De forma discretizada por setores, 28,8% correspondem ao consumo residencial, 35,8% ao consumo industrial e 18,9% ao consumo comercial.

Com base no crescimento do consumo de energia no país, e, para buscar esta redução, há entre as inúmeras possibilidades existentes, principalmente entre a arquitetura e a engenharia, a utilização dos telhados verdes. Segundo Anversa (2020), o telhado verde não tem como objetivo apenas entregar uma melhor estética ao empreendimento no qual foi inserido, mas garantir uma redução no uso de energia, permitindo tornar uma edificação mais sustentável.

Anversa (2020), complementa que a vegetação não é de escolha aleatória, e nem tampouco aplicada de forma arbitrária. É preciso entender o tipo de vegetação e principalmente os cuidados que a engenharia deve ter para receber os tipos de vegetação destinados aos ambientes escolhidos e estudados.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2019), dentro dos projetos de arquitetura faz-se cada vez mais necessário o incremento do termo eficiência energética. Entendendo-se como um atributo de extrema importância na construção civil, entregando conforto térmico, acústico e visual. Os autores ainda complementam que todos estes atributos ganham um maior valor por se permitirem com um baixo consumo de energia.

O PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica tem trabalhado de forma rápida e direta no processo de conscientização dos usuários quanto ao uso desordenado de energia elétrica. Dado estes fatos, surge o selo de Eficiência Energética onde possibilita ao usuário a análise entre os eletrodomésticos. Assim, um edifício que permite entregar as mesmas condições ambientais, com um menor consumo de energia é titulado como mais eficiente no consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA 2019).

Segundo PROCELINFO (2006), surgiu em 2003 o PROCEL EDIFICIA – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edificações para que as ações já instauradas pelo programa inicial pudessem ser ampliadas e obtivesse uma melhor organização no objetivo do incentivo às ações com os recursos naturais, como a água, a luz, o calor e a ventilação; focando diretamente para que as edificações tratem da redução de desperdícios, consequentemente, reduzindo os impactos no meio ambiente.

Portanto, hoje a busca por alternativas que tornem as edificações mais sustentáveis são cada vez mais necessárias para um menor impacto ambiental. As estratégias para tal devem ser pensadas de modo que a edificação consuma menos energia, seja na etapa construtiva ou na edificação em uso, promovendo assim, maior eficiência energética. Mas devem sempre considerar as necessidades de acordo com as características do macro e do microclima local. Para

regiões de clima quente com maior incidência solar ao longo do ano, uma das várias estratégias que contribuem para essa melhora na eficiência são os telhados verdes. Além de diminuir a transmitância térmica, fazendo com que o uso de aparelhos condicionadores de ar e de ventilação sejam minimizados, os telhados verdes trazem aspectos mais estéticos e modernos para a edificação.

Frente ao exposto, este trabalho tem como principal objetivo simular o uso de telhados verdes em uma edificação unifamiliar, bem como avaliar a melhoria na eficiência energética quando comparado ao uso do telhado tradicional. Como objetivos específicos, avaliar a redução direta do consumo de energia, discutir a importância e contribuição da arquitetura bioclimática para a sustentabilidade na construção civil e avaliar a melhora do conforto térmico devido às presentes tecnologias de análise utilizadas por meio do *Revit*® e *INSIGHT AUTODESK*.

REFERENCIAL TEÓRICO

Eficiência energética nas edificações

Segundo Rodrigues, Benincá e Araújo (2016), eficiência energética tem como base a relação entre oferta e demanda, ou seja, a quantidade de energia que é utilizada dentro de uma quantidade disponível para utilização. Ainda segundo os autores, esta definição não se aplica apenas quando se trata de energia elétrica, mas em todo o âmbito energético.

A eficiência energética, se tratada dentro dos ramos da arquitetura pode ser entendida como sendo um atributo inerente à edificação, atribuindo um maior potencial na entrega de conforto térmico, acústico e até mesmo visual. Sendo assim, se um edifício e/ou empreendimento entregar um menor consumo de energia, sem sacrificar os confortos necessários ao ser humano, como já supracitados, este será considerado energeticamente mais eficiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA 2019).

Omer (2007), afirma que 40% do consumo de energia mundial é devido ao crescente número de edifícios. Nesta análise, o autor complementa que a maior parte da energia utilizada é destinada a meios de iluminação, refrigeração, aquecimento e ar-condicionado. Ainda nesta perspectiva, Omer (2007), sugere que esta redução do uso elétrico, principalmente para fins como ventilação e iluminação, pode ser substituída por iluminação natural e/ou híbridas, assim como também, aberturas planejadas para melhorar a refrigeração por meio de um processo natural. Ou, caso seja viável a aplicação, um sistema de energia renovável.

Arquitetura bioclimática

Segundo Archtrends Portobello (2017), foi em meados da década de 60 que se iniciou os primeiros estudos voltados a uma ligação entre o meio ambiente e a arquitetura. Analisando pelo significado do termo, temos que a arquitetura bioclimática é uma forma de inserir a natureza dentro da construção, de modo a extrair o máximo possível da energia natural para aprimoramento da edificação em estudo.

Em um contexto generalizado, a ideia do estudo do bioclima na arquitetura é oferecer o máximo de eficiência energética ao empreendimento. Porém, é enfatizado que esse processo de

estudo e inserção deve ocorrer de forma harmoniosa, garantindo que o meio interno e externo esteja em equilíbrio, ou seja, as características internas devem atender e combinar com os elementos externos (ARCHTRENDS PORTOBELLO, 2017).

Para Santos (2016), o uso da arquitetura em comunhão com o meio ambiente já era utilizado por nossos ancestrais, mas, de forma espontânea. Com os avanços na área, dentro deste mesmo segmento já se entrega conforto, qualidade de vida e em algumas situações, até mesmo a redução de algumas doenças.

Santos (2016), menciona a proposta de utilização dos cobogós, pois possibilitam a renovação do ar, e de forma passiva, permite ventilação permanente por diferença de pressão. Nos últimos anos, os cobogós ganharam novas técnicas construtivas, sendo confeccionados em mármore, vidro, resina, cerâmica, PVC, acrílico, fugindo principalmente da ideia inicial de ser confeccionadas apenas em concreto.

Dentro da arquitetura bioclimática é possível encontrar princípios que enfatizam a necessidade desse estudo e suas aplicações, alguns destes são: radiação solar, iluminação natural, ventilação e geometria solar. A radiação solar tem como característica o aumento da temperatura interna do ambiente devido às propriedades térmicas dos materiais no qual estejam submetidas ao contato da radiação, porém, é possível interceptar esse contato. A iluminação natural tem como fundamentação principal a redução da energia elétrica e a entrega de um maior conforto visual natural. A ventilação é atribuída de forma natural quando se incrementa no projeto arquitetônico peças e/ou métodos que possibilitem a entrada e saída do ar, como já citado anteriormente, o uso dos cobogós, como também o uso de pilotis. E a geometria solar trata-se do posicionamento do empreendimento em relação ao direcionamento do sol, verificando nas quatro estações do ano e de acordo com as necessidades de uso do cliente (MASCARELLO, 2005).

Telhado verde

Dentre as várias possibilidades de uso das estratégias bioclimáticas, uma que vem ganhando cada vez mais destaque é o uso de coberturas verdes. Estas são objeto de muitos estudos já que não só podem melhorar o conforto térmico no espaço interno, mas também contribui para a melhora da parte externa da edificação. Além disso, os chamados telhados verdes também minimizam a falta de arborização adequada nos centros urbanos e entregam uma estética agradável e moderna. Quando bem pensados estes contribuem significativamente para a redução do uso de energia elétrica destinada para refrigeração do espaço interno na edificação.

Segundo Anversa (2020), o segredo do telhado verde, é de fato usar o verde de forma aparente, ou seja, as plantas. Comumente, o que é natural de ser utilizado é a cerâmica, o aço e a madeira. Mas ao usar a vegetação como telhado, o usuário está indo além da estética, mas, reduzir diretamente o consumo de energia, tornando a edificação mais sustentável.

Para Anversa (2020), o telhado verde não é algo apenas implantado de forma brusca, mas há um estudo especializado por trás de cada projeto desenvolvido para este fim. Para que seja implantado o sistema, é preciso entender as 7 camadas fundamentais para a sua execução e utilização.

1. Telhado: Nesta camada o processo é semelhante à de uma laje treliçada, podendo usar das lajotas como base para as demais camadas.

2. Membrana: Por ser um processo úmido por toda a vida da edificação, é preciso aplicar uma camada impermeabilizante em toda a superfície.
3. Barreiras: Quando se trata de vegetação, deve-se prever o crescimento de suas raízes, e para isto, a barreira contra raízes é fundamental para estabilizar esse crescimento.
4. Drenagem: Se associado a um jardim elevado, a água será um fator com presença constante, desde a irrigação e até às chuvas. Para isso, é fundamental o uso de uma drenagem ideal.
5. Tecido Permeável: Este tecido deve ser inserido logo acima da camada de drenagem, de modo a receber o solo a ser utilizado no telhado.
6. Terra: A terra, como citado na camada 5, é utilizada para garantir o crescimento das plantas e sua perfeita manutenção.
7. Vegetação: A vegetação é a última camada inserida no telhado, sendo comumente utilizada a grama ou alguma planta específica.

Para Franco (2020), há algumas especificações técnicas necessárias para garantir o real aproveitamento do telhado verde, uma delas é garantir a inclinação mínima de 2% da laje. Lembrando que a laje deve ter todas as cargas previstas pelo engenheiro estrutural, assim como todas as especificações necessárias. Uma das membranas que pode ser utilizada é a asfáltica, com uma espessura de 3 mm, de modo sobreposto, como se formassem telhas, garantindo uma sobreposição de 10 cm entre as camadas.

Na camada composta por vegetação, pode existir duas definições, a camada vegetal extensiva que tem o seu meio menor ou igual a 15 cm de espessura; já quando é maior que 15 cm, denota-se de camada vegetal intensiva. Todas estas camadas devem ser pensadas de forma a garantir os efeitos propostos, de preferência, calculadas por um profissional em paisagismo (FRANCO, 2020).

Como todo sistema construtivo, existem suas vantagens e desvantagens. No caso do telhado verde, quatro vantagens podem ser relatadas: é eficiente quando se trata de conforto térmico e acústico, a manutenção é inteligente, pois mesmo em tempos de seca é possível garantir uma boa aparência da vegetação. Redução na poluição envolta da edificação e um visual estético diferenciado (ANVERSA, 2020).

Em se tratando das desvantagens, é possível citar três, a mão de obra se torna mais cara por se necessitar de profissionais especializados. A aprovação dos projetos é mais burocrática e a adaptação do ciclo de manutenção, pois é preciso se adaptar ao período da vegetação e do clima (ANVERSA, 2020).

Simulação computacional

Pegden, Shannon e Sadowski (1995), dizem que simulação é um processo, é um projeto de um modelo real. É transformar um modelo real em um modelo computacional, para que possa ser realizado experiências e operações no intuito de entender sobre o seu comportamento e assim, atribuir condições de uso e estratégias.

A simulação também pode ser entendida como sendo a utilização de métodos e técnicas matemáticas, utilizadas especificamente em computadores na busca pela criação de um modelo computacional, realizando uma cópia ou o mais semelhante possível de um modelo real, visando estudar seu comportamento dentro da inclusão de novos parâmetros. Salientando que a simulação é um processo amplo que não engloba apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental implantado (PARAGON, 2020).

Paragon (2020), continua afirmando que as simulações estão mais recorrentes, sendo mais utilizadas dentro do mercado por profissionais de diversos setores. Acredita que um dos motivos que impulsiona o crescimento das simulações seja a capacidade de reduzir problemas executivos, conseqüentemente, garantindo uma redução no uso dos recursos aplicados.

REVIT

Para Farias (2019), o *Revit*® é um software que tem como metodologia principal a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), dado isso, foi desenvolvido pela empresa norte americana *Autodesk* para que fosse diretamente direcionado a projetos da construção civil. Outro software que é de maior conhecimento no mercado é o AutoCAD, que também foi desenvolvido pela mesma empresa precitada.

O *Revit*® ganha mais espaço no mercado da construção civil por oferecer imagens tridimensionais e informações paramétricas, além da possibilidade de trabalhar em diversas dimensões do BIM. Além disto, possibilita documentações integradas que se atualizam automaticamente conforme as alterações são realizadas no projeto, reduzindo e/ou excluindo os erros humanos recorrentes dentro do planejamento e concepção (FARIAS, 2019).

Segundo a Autodesk (2020a), o *Revit* trabalha de forma inteligente na inclusão de elementos, separando por plantas de piso, cortes, elevações, planta de forro, tabelas, renderizações, além de permitir ao usuário possibilidades de análises, sejam elas de quantitativos, de desempenho, de custo e muitas outras. Por trabalhar em BIM, as informações inseridas e o próprio modelo pode ser compartilhado entre usuários, permitindo também, a coordenação multidisciplinar.

Para Amaral (2019), assim como qualquer outro *software* ou plataforma, o *Revit*® apresenta vantagens e desvantagens. Suas vantagens estão ligadas a uma alta flexibilidade, permite uma estimativa assertiva no orçamento gerado, uma modelagem 3D em BIM, formas rápidas de ajustes e alterações. As desvantagens ficam voltadas a condições particulares de ferramenta versus usuário, ou seja, alguns usuários atribuem como desvantagens a forma deve ser inserido informações, os ajustes iniciais necessários para desenvolvimento do projeto, menus nem sempre interativos e a necessidade de treinamentos mais especializados para dominar o software com mais segurança.

BIM

BIM (*Building Information Modeling*) é uma metodologia de trabalho que tem como finalidade cobrir todos os parâmetros voltadas aos projetos e documentações utilizados por uma empresa e/ou grupo. O BIM permite ao usuário após a modelagem que seja realizada análises, que facilitem diretamente nos entendimentos dos processos construtivos a quais serão utiliza-

das. Além disto, cria-se visualizações mais aprimoradas que tratam o modelo de uma forma mais detalhada, gerando visualizações com conceitos mais assertivos (AUTODESK, 2020b).

Segundo a Autodesk (2020b), dentro da metodologia BIM são encontrados conceitos sobre processos e suas devidas importâncias. Segue-se quatro etapas básicas:

- **Planejamento:** Nesta etapa, é coletado informações da realidade para serem implementadas no modelo, visando a contextualização entre modelo e realidade.
- **Projeto:** Etapa crucial para o desenvolvimento das demais etapas, nesta etapa é verificado os conceitos e documentações, analisando todos os materiais e equipes que serão necessárias.
- **Construção:** Nesta etapa ocorre a execução das etapas, todas seguindo os parâmetros estabelecidos nas etapas anteriores, priorizando as especificações BIM inseridas. Além do compartilhamento entre empresas e setores, buscando a sintonia entre os trabalhos.
- **Operação:** Aqui ocorre o processo de encaminhamento dos dados, onde as ações são executadas conforme a solicitação. Esses dados são armazenados e podem ser utilizados em outras condições, gerando economia nos custos investidos.

Segundo Thomé (2016), existe um projeto ideal em BIM e este ocorrerá quando houver uma colaboração ativa entre os profissionais que estejam atuando em um determinado projeto. Os profissionais podem utilizar um mesmo *software* em comum ou até mesmo, *softwares* diferentes, desde que ambos trabalhem dentro da metodologia BIM.

É muito comum a confusão entre usuários sobre as funções do BIM dentro de um software que trabalhe com essa metodologia. Alguns acreditam que a facilidade na visualização já é trabalhar em BIM, quando na verdade isso é uma de suas características, que é o BIM 3D. O BIM vai muito além, se usarmos uma parede como exemplo, além de todas as dimensões, também são inseridas as suas características, tipos de materiais, camadas utilizadas, espessuras individuais das camadas, característica individual de cada camada que compõem a parede, entre as possibilidades, é possível inserir as propriedades térmicas, acústicas e custos para cada material (THOMÉ, 2016).

Para Engenharia (2020), o BIM é formado por dimensões de trabalho, não se resumindo apenas à terceira dimensão. Cada dimensão é solicitada conforme a necessidade do projeto e, principalmente para o que é desejável ser entregue ao final do projeto. No Brasil, as dimensões mais utilizadas são a 3D e a 5D (Terceira e quinta dimensão, respectivamente), ganhando espaço com a sexta dimensão (6D), que trata das simulações sustentáveis.

Segundo Darós (2019), o BIM é dividido em 10 dimensões, também conhecida como a teoria das 10 dimensões. A divisão e suas respectivas explicações seguem da seguinte forma:

- **Primeira dimensão (1D):** É a primeira dimensão a ser trabalhada quando se pensa em trabalhar com a metodologia BIM, são os protocolos essenciais de implantação em uma organização, escritório ou país.
- **Segunda dimensão (2D):** Trata de como os fluxos são introduzidos, partindo de uma dinâmica colaborativa, atrelando a soluções de gerenciamento.

- Terceira dimensão (3D): Uma das mais conhecidas dimensões, trata da modelagem propriamente dita, seus aspectos visuais e a busca pela idealização da realidade.
- Quarta dimensão (4D): É voltada ao planejamento de cada elemento modelado, responsável pela situação temporal dos vínculos do modelo.
- Quinta dimensão (5D): Esta dimensão trata da orçamentação, desde os valores individuais de cada material inserido na modelagem, como também os valores gastos para implantação e manutenção.
- Sexta dimensão (6D): A sexta dimensão, ou também como é conhecida, o BIM 6D, está crescente no país e trata da sustentabilidade, desde a simulação até os materiais que são utilizados nas obras, tratando também sobre os desperdícios.
- Sétima dimensão (7D): Trata do sistema manufaturado, opção e manutenção de instalações.
- Oitava dimensão (8D): Esta dimensão entra na parte da qualidade, voltada a entregar acidente zero, focando na segurança e na saúde, em toda a fase de projeto, execução e manutenção.
- Nona dimensão (9D): Tem foco no não desperdício, ou seja, a construção enxuta.
- Décima dimensão (10D): A décima dimensão considera tratar as demais dimensões como um todo, tende a industrializar a construção, tornar os setores já existentes em mais produtivos, inserindo tecnologias e novas possibilidades.

METODOLOGIA

Para o presente trabalho, foi adotado um estudo de caso de uma residência unifamiliar localizada no interior do Ceará, especificamente na cidade de Milagres, a 486 km de Fortaleza, a capital do estado. O imóvel é composto por três quartos, sendo duas suítes, um banheiro social, uma sala de estudos, uma sala de jantar conjugada com sala de estar, duas varandas, um quintal, uma área de serviço, uma despensa e uma garagem. Para o melhor entendimento da situação, utilizou-se de uma pesquisa descritiva, exploratória e qualitativa buscando-se por meio do uso de simulações computacionais um comparativo entre uma metodologia construtiva para coberturas de edificações por meio de telhas cerâmicas e madeiramento para a parte estrutural e uma metodologia construtiva a ser defendida com uso de vegetação, comumente conhecida como telhados verdes.

Para a realização das simulações computacionais, trabalhou-se com a modelagem 3D (três dimensões), neste caso em específico, a modelagem foi realizada com o auxílio do *software Revit®*. Para que essa comparação tenha validade em seus dados, trabalhando de forma assertiva e não arbitrária, fez-se uso da metodologia BIM (*Building Information Modeling*), permitindo que as informações reais da edificação sejam inseridas ainda na parte da modelagem, o que será mais explicitado no decorrer desta metodologia.

Garantindo que não apenas dimensão 3D do BIM seja trabalhada, a dimensão 6D também é colocada dentro das especificações do modelo, deste modo, cada material utilizado no

modelo real também foi utilizado no modelo computacional.

Apesar do estudo ter seu enfoque na comparação entre duas metodologias de trabalho, todas as partes do modelo foram modeladas de forma correta e coerente com a realidade, ou seja, paredes, portas, janelas e pisos receberam as suas devidas camadas, assim como as suas devidas características individuais utilizadas.

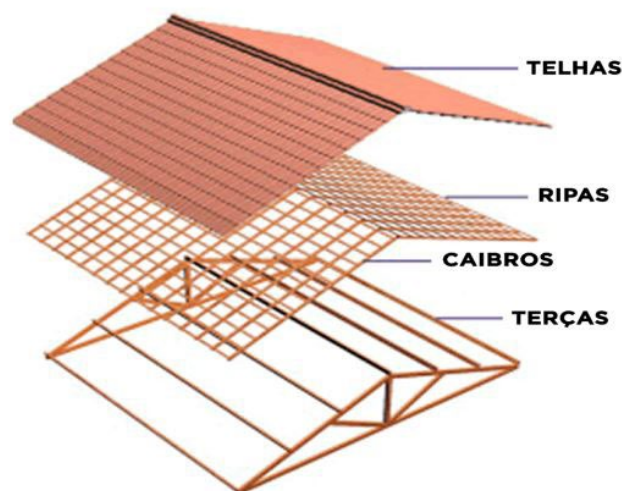
Modelagem 3D – Procedimentos adotados

Como mencionado no item anterior, as informações reais da edificação foram inseridas, deste modo, cada peça do modelo recebeu informações de acordo com a característica construtiva real, no caso das paredes, foram inseridas todas as camadas existentes na realidade, sendo elas, os blocos cerâmicos, camada de chapisco, de emboço, de reboco e de pintura. Essa mesma ideia foi trabalhada em cada situação, no piso da edificação e na laje de forro. Essas camadas se fazem importante devido às características térmicas de cada material, assim como também o comportamento destes materiais utilizados, salientando que cada material reage ao ambiente de uma forma diferente, por isso a importância da inserção de todas as camadas.

Tratando-se do enfoque deste trabalho que é a cobertura, para o telhado cerâmico foram inseridas todas as peças presentes, onde dentro do *software* é chamado de camadas. Deste modo, foram inseridas as camadas das terças, caibros, ripas e as próprias telhas cerâmicas, ressaltando que a telha utilizada no imóvel e conseqüentemente no modelo 3D, foram as telhas coloniais.

Para o telhado a ser comparado, também se seguiu o fluxo de camadas, como informado no item 2.2.1 TELHADO VERDE do referencial teórico. Esta metodologia segue o uso de 7 camadas bem definidas, estas também inseridas dentro do modelo, de modo a garantir que cada material tenha sua influência no comparativo dos resultados. Nas Figuras 1 e 2 a seguir, pode ser visto como é o processo de camadas inseridas no telhado comum de telha cerâmica e no telhado verde a ser explorado.

Figura 1 – Camadas do telhado cerâmico



Fonte: FAZFÁCIL (2016)

Figura 2 – Camadas do telhado verde



Fonte: TUACASA (2020)

Informações geométricas e geográficas do imóvel

O lote onde o imóvel está localizado detém uma característica retangular, com 9,63 metros de frente por 29,7 metros de profundidade. O imóvel foi construído com limites atribuídos de afastamento lateral e os recuos frontal e posterior. A cidade de Milagres não possui plano diretor, o que impossibilita uma padronização na criação dos imóveis dentro dos limites municipais.

No Quadro 1 a seguir é possível verificar dados mais detalhados do imóvel a qual está sendo submetido às análises neste estudo.

Quadro 1 – Características geométricas e geográficas do imóvel

Área do lote:	286,01 m²
Área construída:	167,3 m²
Recuo Lateral:	0,85 m
Recuo Frontal:	5,0 m
Recuo Posterior:	5,69 m
Quantidade de cômodos gerais:	14
Quantidade de cômodos internos:	9
Latitude:	-7.31107592265779
Longitude:	-38.94397389309789
Cidade:	Milagres
Estado:	Ceará

Fonte: Autor (2021); Google Earth (2021)

Dentro do processo de modelagem, também é gerado uma planta baixa que melhor determina a visualização da distribuição dos cômodos dentro o imóvel. Na Figura 3 a seguir é possível verificar essa distribuição.

Figura 3 – Planta baixa do imóvel



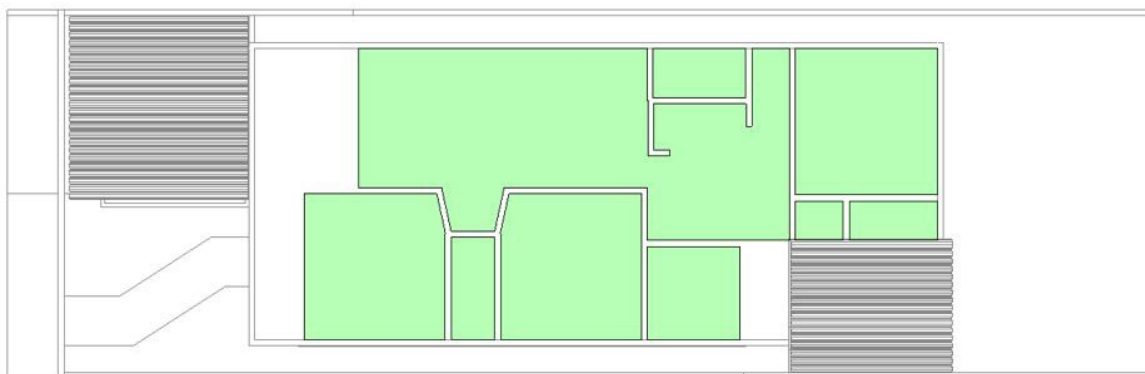
Fonte: Autor (2021)

Criação e configurações do modelo para as análises

Dentro do *software Revit®* é preciso que o usuário realize configurações específicas para obtenção dos resultados desejados. Conforme já mencionado nos subitens anteriores, há 9 cômodos internos que são utilizados para habitação e nesse estudo, todos geram influência no desenvolvimento do modelo energético, pois os materiais recebem suas características de absorção e liberação de calor.

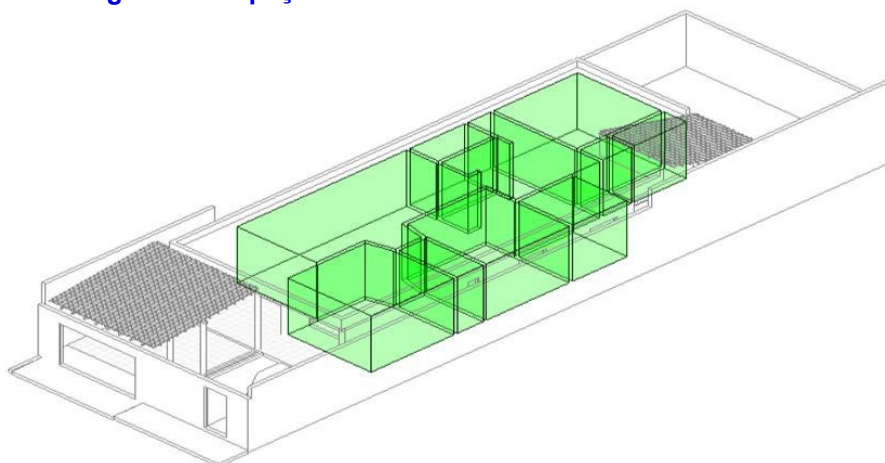
Dando continuidade, por meio da ferramenta Espaços e Zonas dentro do *software Revit®* é possível definir quais ambientes irão receber ou estão gerando dados de energia, por meio de uma ideia volumétrica. Ou seja, por mais que a planta baixa seja uma visualização no plano, esse processo está sendo executado no 3D, permitindo que os espaços sejam totalmente preenchidos por meio da metodologia volumétrica da ferramenta. Isso torna-se mais fácil de ser compreendido com as Figuras 4 e 5 a seguir.

Figura 4 – Espaços e zonas definidas – Vista em planta baixa



Fonte: Autor (2021)

Figura 5 – Espaços e zonas definidas – Vista isométrica



Fonte: Autor (2021)

É muito importante destacar que cada processo realizado deve ser rigorosamente conferido. A ferramenta pode entender os comandos parcialmente, é o que ocorre por exemplo ao criar os espaços e zonas. Nesta etapa, o *software* define uma altura padrão para a volumetria do ambiente, tornando uma análise incompleta. Cabe ao usuário redefinir a altura de cada zona dentro de cada ambiente, ajustando para a altura de pé direito (altura entre o piso e o forro).

Após toda a parte de modelagem ser executada e ajustada, a Autodesk possibilita uma ferramenta em nuvem chamada *INSIGHT AUTODESK* que permite uma análise detalhada de cada parte modelada, gerando dados individuais e gerais do modelo inserido. Esta opção precisa ser ajustada ainda dentro do Revit, pois o usuário define quais tipos de fontes de energia irão incidir sobre o modelo em estudo. Para este trabalho, está sendo adotado unicamente a luz natural do sol.

O *Revit®* permite que as características geográficas do modelo sejam inseridas e deste modo, é possível ajustar o posicionamento real do sol. Para este estudo, foi adotado o horário das 12:00h do dia 07 de março de 2021, deixando o sol o mais centralizado possível em relação ao modelo, respeitando o curso natural da estrela. As luminárias do modelo foram desligadas para que não haja um balanceamento térmico, havendo apenas uma fonte de calor a ser absorvida pelos materiais.

Finalizando o ajuste do posicionamento do sol, é solicitado que o *Revit®* transforme todo o modelo 3D em um modelo energético, ficando apto a ser realizado o envio para a nuvem e consequentemente as análises. É importante salientar que os procedimentos na nuvem só estarão disponíveis em uma versão licenciada profissional ou estudantil. Dito isto, deve-se realizar o login no site do *INSIGHT AUTODESK* e selecionar o modelo que foi enviado.

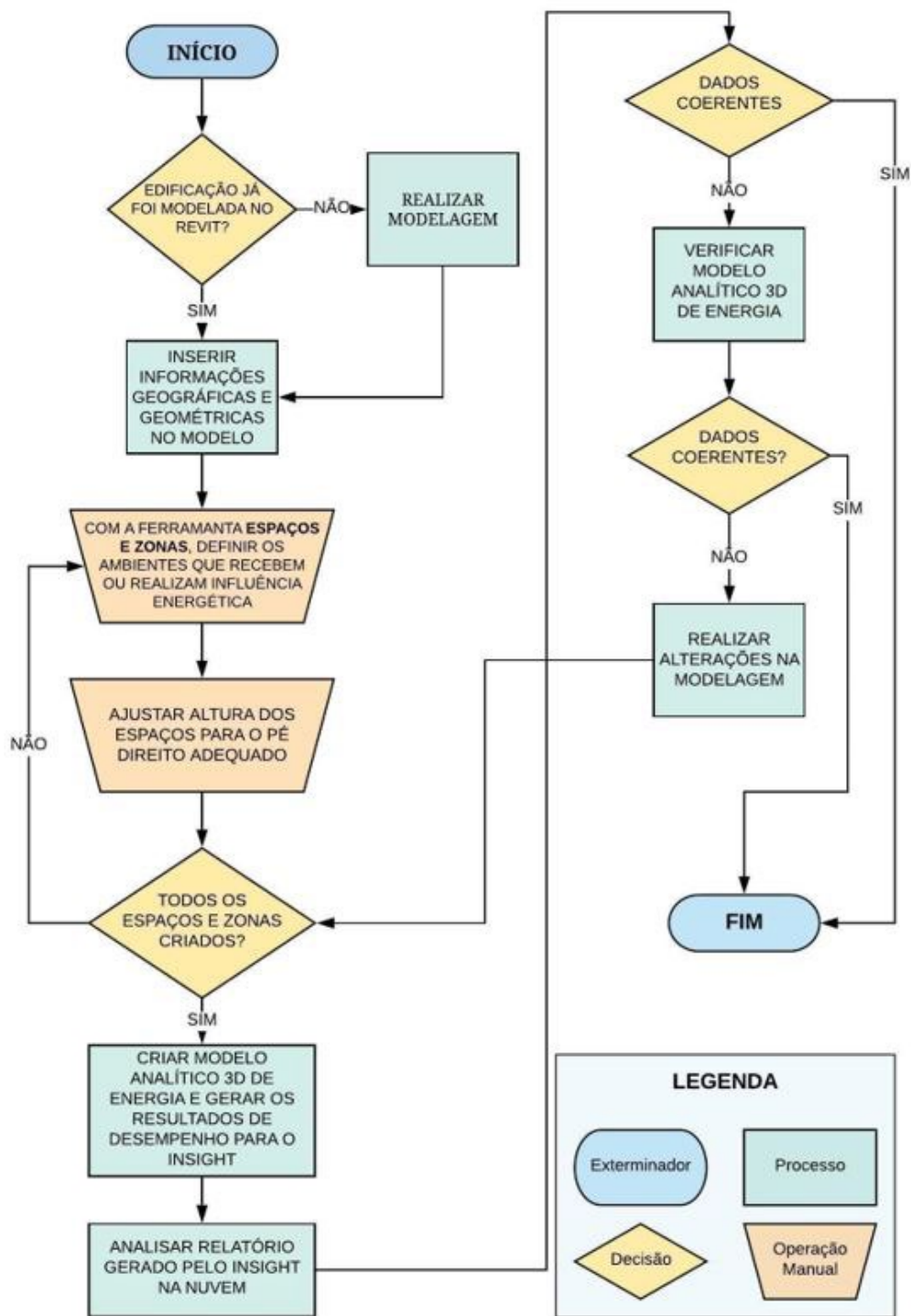
Dentro do *INSIGHT AUTODESK* é preciso que o usuário realize configurações das unidades para utilização e os valores específicos da concessionária de energia e gás. Após este procedimento, o modelo será analisado e apresentado na tela para que o usuário possa refinar ainda mais as partes do modelo de forma individualizada.

O *INSIGHT AUTODESK* permite que o usuário teste outras opções de cada item inserido, mudando o tipo dos vidros, das paredes, dos telhados etc. Para este estudo, nada foi alterado, mantendo-se os materiais do modelo carregados na nuvem.

Para que todos os processos sejam de fato realizados de maneira correta, é preciso seguir um fluxo de trabalho que envolva todas as etapas pertinentes à obtenção dos resultados esperados. O *Revit*® por ser um *software* BIM e atender as características da sexta dimensão, que trata da sustentabilidade e principalmente da análise de energias, permite por meio de um fluxo de trabalho intuitivo que o usuário realize modelagens e análises.

Na Figura 6 a seguir, é possível observar cada etapa realizada, desde a preparação do modelo dentro do *software* de modelagem, até a exportação para a nuvem com a ferramenta *INSIGHT AUTODESK*, seguindo da obtenção dos devidos resultados.

Figura 6 – Sequência de passos para a modelagem e simulação



Fonte: Autor (2021)

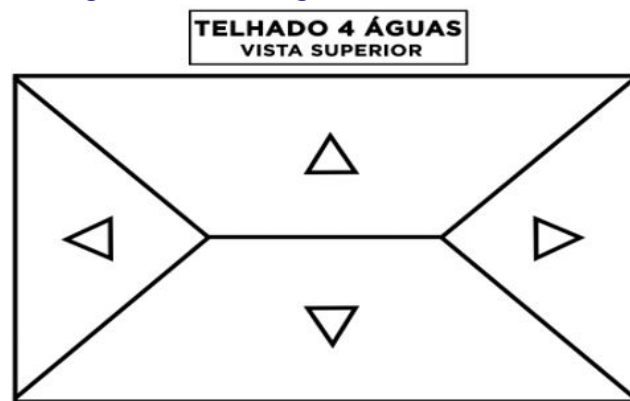
ANÁLISES E RESULTADOS

Com todos os dados já inseridos durante a modelagem por meio da metodologia BIM e com seus respectivos modelos energéticos já gerados para dar início a simulação automática dentro do *INSIGHT AUTODESK*, é possível realizar inúmeras análises com o modelo, mas, assegurando-se dos objetivos deste trabalho, o foco está nos resultados a serem obtidos com dois tipos de telhados, um que é muito utilizado nas condições residenciais e um outro que se torna uma possível proposta, caso, seja viável economicamente e em sua execução.

Telhado cerâmico

A residência em seu modelo original possui uma cobertura formada por telhado cerâmico, utilizando telha colonial. O telhado é formado por uma geometria de 4 caimentos, comumente chamado de quatro águas, podendo ser visualizado na Figura 7 a seguir. Além dos ambientes fechados, há dois locais que também utilizam do mesmo tipo de telhado, sendo a garagem e a área de serviço, ambos, por serem ambientes externos e totalmente abertos em suas laterais, não entram nas análises.

Figura 7 – Modelo geométrico do telhado



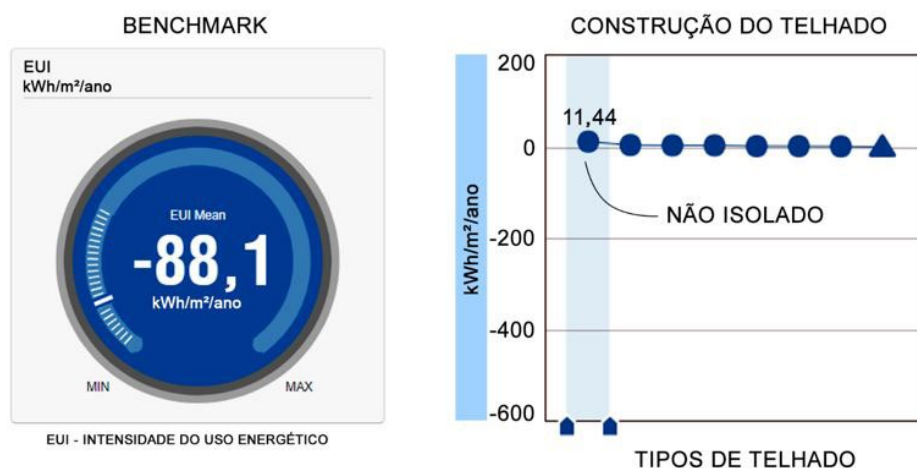
Fonte: Autor (2021)

Com o modelo já simulado, o *AUTODESK INSIGHT* exprime seus resultados por meio do uso de gráficos. Há um gráfico individual para cada tipo de componente modelado e um gráfico geral chamado de *Benchmark*, onde resulta um dado geral de tudo o que foi modelado e está sendo analisado.

De acordo com a metodologia de trabalho da ferramenta, os dados são gerados em kWh/m²/ano (quilowatts-hora por metro quadrado a cada ano). Isso quer dizer que a simulação não analisa de forma generalizada, mas utiliza um algoritmo que verifica cada metro quadrado definido nas primeiras etapas da preparação da modelagem, as zonas volumétricas.

Na Figura 8 a seguir, verifica-se o comportamento individual do telhado cerâmico no modelo, utilizando como parâmetro o posicionamento do sol, localização geográfica exata da edificação modelada e os demais componentes modelados em BIM que trazem suas propriedades individuais.

Figura 8 – Telhado cerâmico



Fonte: Autor (2021)

Com o gráfico representado à direita na Figura 8 que resulta diretamente na construção do tipo de telhado, analisa-se no eixo horizontal as possíveis interações da simulação com usuário, ou seja, a ferramenta permite que o usuário possa navegar entre 7 sugestões de outros tipos de configurações de telhado. Para a simulação deste trabalho, utilizou-se da primeira opção que se refere ao telhado não isolado, ou seja, o telhado receberá e/ou gerará influência em todo o modelo da edificação.

A ferramenta permite que os resultados sejam analisados de duas formas, a primeira é apenas verificando a influência do telhado no modelo, obtendo-se o resultado de 11,44 kWh/m²/ano, isso significa que o telhado cerâmico é capaz de absorver este valor em energia, através da iluminação natural a cada metro quadrado construído em um período de um ano. A segunda maneira de análise, é por meio do valor do *Benchmark*, que analisa todas as demais peças da modelagem, como janelas, paredes, portas, luminárias etc., inclusive com o próprio telhado, gerando um valor geral da capacidade energética do modelo.

O gráfico à esquerda na Figura 8, refere-se ao gráfico de *Benchmark*, como mencionado no parágrafo anterior, mostrando a intensidade do uso energético de um modo mais amplo, abrangendo todos os componentes do modelo. Verifica-se que o valor de 88,1 kWh/m²/ano exprime a mesma capacidade de verificação, que resulta em um valor a cada metro quadrado construído em um período de um ano.

Telhado verde

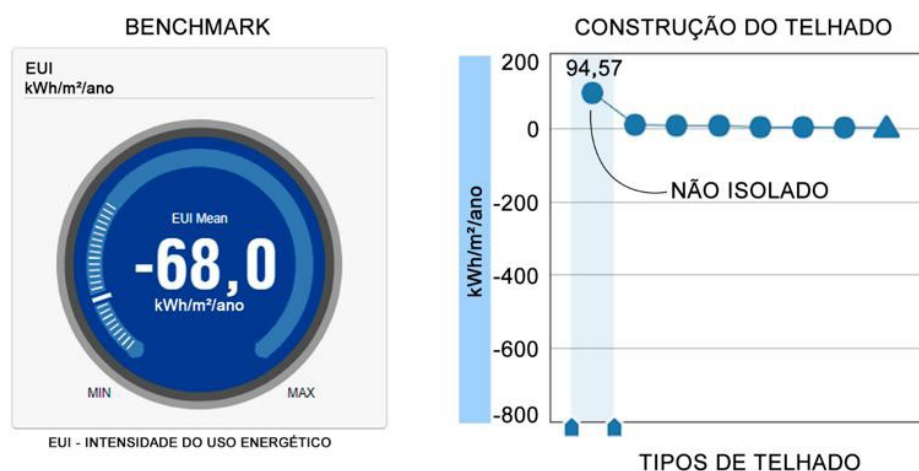
O telhado verde segue uma metodologia de trabalho diferente do telhado cerâmico, como já mencionado nos tópicos anteriores. Por se tratar de um sistema que utiliza camadas em seu processo construtivo e por serem camadas com propriedades diferentes das camadas utilizadas no telhado cerâmico, geram-se análises mais detalhadas e densas, como também, cuidados em sua composição computacional de modo a não gerar resultados duvidosos e/ou mascarados.

Quando o telhado verde é planejado juntamente com os demais projetos da edificação, deve-se adotar todas as cargas acrescidas das camadas utilizadas no telhado verde. Para o engenheiro estrutural, essas camadas devem ser rigorosamente explicitadas, pois geram uma sobrecarga considerável em toda a estrutura da edificação. Além das cargas permanentes que

são o somatório das cargas individuais de cada uma das sete camadas utilizadas, também deve ser acrescida a água como carga variável, pois as chuvas também geram influência direta na resistência da estrutura, ainda que uma das camadas do telhado seja a drenagem.

Tendo dito isto, na Figura 9 a seguir, é possível verificar como é a influência do telhado verde no valor geral da edificação em termos de eficiência energética, ocasionalmente, interferindo diretamente no conforto térmico. Assim como no telhado cerâmico, os dados são gerados em kWh/m²/ano (quilowatts-hora por metro quadrado a cada ano), e receberam as mesmas referências paramétricas do posicionamento do sol, localização geográfica e propriedades individuais de cada elemento modelado.

Figura 9 – Telhado verde



Fonte: Autor (2021)

A metodologia de obtenção e análise dos resultados são semelhantes em ambos os tipos de telhados. Para o telhado verde, também foi definido dentro da ferramenta como um telhado não isolado, admitindo que as demais partes do modelo geram influência no resultado geral da edificação.

O telhado verde gera um EUI (intensidade do uso energético) de 94,57 kWh/m²/ano, referente a capacidade de absorção de energia por área construída em um período de um ano. Quando observado o gráfico de *Benchmark*, o valor do EUI é de 68,0 kWh/m²/ano, pois além do telhado verde, as paredes, portas, janelas e demais elementos modelados dentro da metodologia BIM geram influência direta no resultado geral da edificação.

Comparativo/ avaliação geral

A edificação com telhado cerâmico apresentou um uso energético de 88,1 kWh/m²/ano, já o telhado verde apresentou um uso energético de 68,0 kWh/m²/ano. Uma redução de 20,1 kWh/m²/ano, equivalente a aproximadamente 23% de redução do uso de energia. Percebe-se também, por meio dos gráficos, que o telhado verde, analisado de forma individualizada, é muito mais eficiente quando se trata da luz solar, absorvendo 94,57 kWh/m²/ano. Onde o telhado cerâmico, nas mesmas condições absorve 11,44 kWh/m²/ano. Isso significa que uma edificação que possui o telhado verde irá absorver muito mais energia oriunda da radiação solar, quando comparada à absorção de uma que possui telhado convencional. De acordo com os valores mostrados, a absorção do telhado convencional é de apenas 12,1% da absorção do telhado verde. Isso

explica a redução no uso de energia na residência com este último. Uma vez que a transmitância térmica para o ambiente interno com o telhado verde é muito inferior a do telhado convencional.

Para uma melhor compreensão dos resultados expostos até aqui, quando comparados os dois valores de *Benchmark*, pode-se também analisar que ao utilizar o telhado com maior capacidade de absorção energética, torna-se inversamente proporcional o uso de eletrodomésticos que trabalham com uso de energia elétrica para gerar conforto térmico no interior da edificação.

O Brasil, como já mencionado, entrou para o TOP 10 dos países que mais utilizam energia elétrica no mundo. Pode-se alocar esses dados ao crescimento do uso de equipamentos como resfriadores e aquecedores, isso se justifica pelo fato do país possuir grande parte das regiões com clima predominantemente quente, com elevadas temperaturas o ano inteiro e consequente necessidade de resfriamento.

Com os dados obtidos por meio da simulação computacional, pode-se perceber que os telhados verdes geram uma maior contribuição bioclimática na construção civil quando se trata da sustentabilidade. Uma vez que a construção civil é o principal agente para a modificação do meio, alterando a natureza para uma condição habitável ao homem, no objetivo da entrega do conforto e segurança.

Dado as variáveis condições térmicas experimentadas pelas regiões, em específico, a região nordeste onde está situada a residência utilizada para a simulação energética, a redução de 23% do uso de energia está ligada diretamente a diminuição do uso de eletrodomésticos que proporcionam conforto térmico aos ambientes da edificação.

Este conforto térmico pode ser alterado de forma positiva com a aplicação de outros fatores e estratégias em conjunto, como janelas, portas, aberturas, bem como a inércia térmica dos materiais componentes. Se combinados com o uso dos telhados verdes, que é o enfoque deste trabalho, o conforto térmico natural será potencializado. Uma vez que, conforme mostrado, o uso das coberturas verdes proporciona ganhos significativos do ponto de vista energético e consequentemente torna a edificação mais eficiente energeticamente.

É importante destacar que no meio da construção civil existem dois tipos de construção, a construção nova e a construção por reforma. No caso da construção nova, todos os parâmetros construtivos devem ser previamente dimensionados, pois a estrutura da edificação deve resistir às solicitações do tipo de telhado escolhido. No caso da construção por reforma, caso a edificação utilize do telhado cerâmico e venha a fazer a migração para o telhado verde, o projeto estrutural inicial deve ser analisado e caso necessário, recalculado para que um possível reforço possa ser viabilizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho viabiliza uma análise entre dois tipos de metodologia aplicada na construção civil no que diz respeito às coberturas, neste trabalho, o telhado cerâmico e o telhado verde. Também permitindo ao projetista, que a simulação computacional seja realizada dentro de um único software, facilitando a comunicação entre os modelos desenvolvidos para a comparação e, principalmente, garantindo um melhor domínio do usuário.

O *Revit*®, software BIM para a realização da modelagem, fornece uma linha lógica intuitiva e de fácil utilização. Além disto, o *INSIGHT*, que é uma ferramenta na nuvem, como já mencionado anteriormente, proporciona facilidades e variações importantes ao projetista para a tomada de decisão quanto às modificações e, uma entrega de resultados individualizada por meio de gráficos, o que torna uma visualização mais compreensível.

Com os dados adquiridos por meio das duas simulações energéticas realizadas, pode-se observar que o telhado verde quando analisado de forma conjunta com toda a edificação, apresenta uma redução bastante significativa quando comparado aos dados do telhado cerâmico.

Conclui-se que de uma forma econômica, o telhado verde é superiormente recomendado para o uso em edificações, gerando uma redução significativa no consumo de energia ao longo de todo ano. De forma sustentável, o telhado verde atende a inúmeros requisitos bioclimáticos importantes ao meio ambiente, desde a redução dos poluentes próximos da edificação, como também, uma maior área verde dentro do lote estabelecido, e, devido a sua maior capacidade de transferência de calor, gera-se um aumento no conforto térmico da edificação.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Leandro. Revit: Tudo o que você precisa saber sobre ele. 2019. Disponível em: <https://arquitetoleandroamaral.com/revit/>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ANVERSA, Giseli Barbosa. Telhado Verde: Vantagens e desvantagens. Sienge plataforma, Rio De Janeiro, jan./2020. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/telhado-verde/>. Acesso em: 19 fev. 2021.

ARCHTRENDS PORTOBELLO. Arquitetura bioclimática: o que é e qual seu propósito?. 2017. Disponível em: <https://archtrends.com/blog/arquitetura-bioclimatica/>. Acesso em: 23 jan. 2021.

AUTODESK. Revit. 2020a. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR>. Acesso em: 10 fev. 2021.

AUTODESK. BENEFÍCIOS DO BIM. 2020b. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim/benefits-of-bim>. Acesso em: 12 fev. 2021.

DARÓS, José. Utilizando Bim. Guia completo: BIM 10D construção industrializada. Disponível em: <https://utilizandobim.com/blog/bim-10d-construcao-industrializada/>. 2019. Acesso em: 24 jan. 2021

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE publica o Anuário Estatístico de Energia Elétrica. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-o-anuario-estatistico-de-energia-eletrica-2018>. Acesso em: 22 mar. 2021.

ENGENHARIA, Thórus. Tudo sobre BIM: o que é, ferramentas e por onde começar. Thorus Engenharia, BLOG. 2020. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/o-que-e-bim/>. Acesso em 22 mar. 2021

FAZFÁCIL. Telhados: caibros, ripas e galga. 2016. Disponível: <https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/telhado-caibros-ripas-galga/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

FARIAS, Julio Cesar. O QUE É O REVIT?. SPBIM, SPBIM. 2019. Disponível em: <https://spbim.com.br/o-que-e-o-revit/>. Acesso em: 10 fev. 2021.

FRANCO, José Tomás. Telhados verdes: quais são as camadas e como impermeabilizá-los usando membranas líquidas. ArchDaily. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/910310/telhados-verdes-quais-sao-as-camadas-e-como-impermeabiliza-los-usando-membranas-liquidas>. Acesso em: 25 jan. 2021.

GOOGLE EARTH. O globo terrestre mais detalhado do mundo. 2021. Disponível em: www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/. Acesso em: 04 mar. de 2021

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R.. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2019. 382 p.

MASCARELLO, Vera Lucia Dutra. Princípios bioclimáticos e princípios de arquitetura moderna: evidências no edifício hospitalar. Orientador: Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D. 2005. Dissertação (pós-graduação em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp028721.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2021.

OMER, A.; Energy, environment and sustainable development. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 12, pag. 2265 - 2300, 2007.

PARAGON. O QUE É SIMULAÇÃO?. 2018. Disponível em: <https://www.paragon.com.br/academico/o-que-e-simulacao/>. Acesso em: 5 fev. 2021.

PEGDEN, Claude Dennis, SHANNON, Robert. E., SADOWSKI, Randall P. Introduction to Simulation using SIMAN. 2ed. New York: McGraw Hill, 1995.

PROCELINFO. Eficiência energética nas edificações. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm#>

RODRIGUES, Cristiana; BENINCÁ, Letiane; ARAÚJO, Edson De. Eficiência Energética nas Edificações: Programa Brasileiro de Etiquetagem - Procel Edifica. Seminário Internacional de Construções Sustentáveis, IMED. 2016. Disponível em: https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_36.pdf. Acesso em: 21 jan. 2021.

SANTOS, D. F. D. S. Arquitetura Bioclimática: A integração do cobogó ao ambiente construído como ferramenta geradora de conforto térmico e lumínico em regiões quentes e úmidas. Seminário Internacional de Construções Sustentáveis, IMED, v. 1, n. 1, p. 1-7, out./2016. Disponível em: https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_75.pdf. Acesso em: 23 jan. 2021.

THOMÉ, Brenda Bressan. O que é BIM? Entenda agora o conceito e suas aplicações. Sienge plataforma, BLOG, 2016. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/voce-sabe-o-que-e-bim-entenda-o-conceito-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 21 jan. 2021

TUACASA. Telhado verde: conheça 60 projetos e veja como funciona esta cobertura. 2019. Disponível em: <https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

Bibliometric Analysis of Supermarket Chains

*Bibiana Porto da Silva
Taís Oliveira da Silva Alfonso
Barbara Lopes
Michele Ines de Barros
Ricardo Augusto Cassel*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.3

ABSTRACT

Bibliometric analysis is relevant when analyzing a country's scientific production once its indicators portray the development degree of a specific knowledge area. In this article, bibliometric analysis is used to understand authors' and journals' influence on academic production. The purpose of this research is to examine the focus of studies, and the development of these studies related to the role of collaboration networks in supermarkets. This work aims to analyze what has already been produced scientifically about supermarket chains, exploring the collaboration between companies belonging to the network. In order to achieve the main objective, searches were carried at the databases: Cambridge University Press, Engineering Village, SAGE, Science Direct, Scopus, Taylor and Francis, Web of Science, Wiley, with the keywords Food Retail, Food Retailer, Supermarket, Grocery, Hypermarket, Network, Chain, Collaboration, Cooperation, and Business, as well as similar and plural terms. The selected studies were the ones in which the words were correlated. The recovered articles had their abstracts read to verify their adherence to the researched theme and their main contributions, which are mentioned in this article's results. The aim of this study is to contribute scientifically by presenting the main topics found in the articles on the issues: Agri-food supply chains, Distribution, Price, Waste, Delivery, Consumers/Brand, Online and Confidence, Competition systems, Assortment/Stock. The results show that some themes have appeared for many years and are gradually evolving, and other topics have been more prominent in recent years. This behavior shows that not only the articles are following the ongoing on the network, but also the collaboration and the way supermarket chains are positioning is in constant evolution and change. That is the reason why this study is necessary nowadays and also in the future, looking for a better understanding of the whole chain.

INTRODUCTION

According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), in the added value by Brazilian trade, the retail sector represents more than half of the effort in selling goods. Regarding the net operating revenue, hypermarkets and supermarkets are the largest participants, considering that in 2007 this participation represented 9.4%, and in 2016 it was equivalent to 12.4% (IBGE, 2016). Thus, for establishing cooperation networks, long-term agreements are signed among related companies (but distinct from each other) with shared objectives, interactions, and management (BALESTRIN & VERSCHOORE, 2016; JARILLO, 1988).

The main benefits for companies participating in a network are the definitions of joint strategies, the protection of the company's data; the preservation of individuality; the appreciation of brands; marketing sharing; reduction of costs and risks (SEDAI, 2004). However, the problems to be overcome are: the associates' infidelity, the excess of expectations, cultural changes in awareness of members (DOTTO *et al.*, 2002).

According to the Brazilian Association of Supermarkets - ABRAS (2019), the 2018 data, presented in the ABRAS 2018 Ranking, indicate that the retail sector's 50 largest companies became responsible for 46.5% of the revenue -in the previous year, this percentage was 44.8%-and totaled R\$ 210.5 billion. It is essential to highlight that this year of 2018 did not include the participation of Walmart Brazil. The first five companies (Grupo Carrefour Brasil, GPA, Walmart Brasil Ltda, Cencosud Brasil Comercial Ltda., Irmãos Muffato & Cia Ltda) totaling a gross turnover of around 125 million.

Companies belonging to the supermarket chain present a distribution according to the

neighborhoods of a city or several towns. They usually offer items belonging to the sales sector and arrive directly to retailers and entities, centered in the Distribution Center (COELHO, 2017).

Monitoring and reducing waste along the food supply chain is also an essential factor in improving system performance, as food waste affects the efficiency of retail business operations (FILIMONAU & GHERBIN, 2017; LUKIC *et al.*, 2014). The mismanagement of products affects the stores' level of service, in other words, the service's quality (SLACK *et al.*, 2010). We can consider that the medium-sized retail chains are among the links involved by food waste (FILIMONAU & GHERBIN, 2017).

This article aims to consolidate knowledge, analyze development and evolution over time. Clarify trends, main themes, and possible gaps linked to the role of collaborative networks in retail. For this, the article is structured as follows: in section 2, the methodology is presented, while unit 3 discusses the main results of the analysis. Section 4 concludes the article by highlighting the directions of future research.

LITERATURE REVIEW

Supermarkets can be termed as relatively large, low-cost, low-margin and high-volume self-service operations. These companies are designed to meet their customers' numerous needs, including food, household cleaning and hygiene (KOTLER, 2000). In Brazil, supermarkets emerged in the 1950s; thus, about 20 years after the United States (KOTLER, 2000). Shopping centers emerged around the 1960s, developing centers to attract customers and facilitate the sale of products and services (MAMEDE, 2000)

Most supermarket chains existing in Brazil in 1980 were made up of national capital. With the establishment of the Real Plan in 1994 and the more significant strengthening of the country's economy, investors from foreign groups felt attracted as American, Dutch, Portuguese, and French capital (CHIESA, 2008). In this way the 1990s stood out for the rapid transformation of the food retail sector. The entry of foreign companies into the country was encouraged by the deepening of commercial opening, which made the inflationary process and saturated European markets, united with economic stabilization, to stimulate national companies' expansion (MONTEIRO, n.d.). Between 1995 and 2001, Brazil had a scenario of vast operations of mergers and acquisitions of medium and large supermarket chains (ESCUDEIRO, 2005). According to the National Bank of Economic and Social Development (BNDES), the movement of economic concentration occurred not only in large firms, but also in better retail chains.

Supermarket chains

A network's concept is generic and complicated; that is why defining an inter-organizational network is a difficult task. Between companies in a field of cooperation, there is a multiplicity of formats, which excludes the possibility of establishing a conceptual homogeneity (CARRÃO, 2004).

Networks can be described as long-term agreements among related, but distinct, companies with specific purposes. Thus, allowing companies to create a competitive advantage over non-network companies (JARILLO, 1988). The companies belonging to the network complete

each other in productive, distributive, and purchasing ways (OLAVE and AMATO NETO, 2001).

According to Balestrin and Vargas, networks can be classified as:

a) Vertical: Used by large distribution networks. Having a clear hierarchical structure, is known as a supply chain; (b) Horizontal: In these cooperation networks, organizations preserve their independence and coordinate their activities to achieve specific objectives; c) Formal: In this case, the networks are formalized through contracts that establish rules of conduct between the actors that make up the network; d) Informal: Networks are formed without a formal agreement and act in accordance with shared interests, based on trust.

For Dotto, Wittmann, and Machado (2002), the existing network forms are: a) centers of purchasing and sales, where the offer of a group of products or the products of a specific group of companies are negotiated; (b) franchises in which a company holds the trademark and determines the methodology and supply of the product and services; c) establishment of consortiums that are composed of a prefixed number of companies that unite through a contract with well defined and determined object and purpose, and there may be no board, board of directors or payment of shares; and d) horizontal business network, which is the union of homogeneous companies, of the same segment, formalizing a legally established entity, to create a business center in which the negotiation is carried out together, and the purchase is individualized; define an ordinary mark; implement new business opportunities; establish partnerships and develop shared marketing.

That way, shared objectives, interaction, and management are fundamental conditions for establishing cooperation networks (BALESTRIN & VERSCHOORE, 2016). The main benefits for companies participating in a network are the definitions of joint strategies, the protection of the company's data; the preservation of individuality; the appreciation of brands; marketing sharing; reduction of costs and risks (SEDAI, 2004). However, the problems to be overcome are: the associates' infidelity, the excess of expectations, cultural changes in members' awareness (DOTTO *et al.*, 2002).

Companies belonging to the supermarket chain present a distribution according to a city's neighborhoods or several towns. They usually show items belonging to the sales sector, and these items arrive directly to retailers and entities centered in the Distribution Center (COELHO, 2017).

According to IBGE, in the added value by Brazilian trade, the retail sector represents more than half of the effort in selling goods. Regarding net operating revenue, hypermarkets and supermarkets are the largest participants, considering that in 2007 it was 9.4% (2007) and in 2016 12.4% (IBGE, 2016).

According to ABRAS (2019), the 2018 data, presented in the ABRAS 2018 Ranking, indicate that the retail sector's 50 largest companies became responsible for 46.5% of the revenue -in the previous year, this percentage was 44.8%- and totaled R\$ 210.5 billion. It is essential to highlight that this Ranking of 2018 does not include the participation of Walmart Brazil. The first five companies (Grupo Carrefour Brasil, GPA, Walmart Brasil Ltda, Cencosud Brasil Comercial Ltda., Irmãos Muffato & Cia Ltda) totaled a gross turnover of around 125 million.

METHOD

For discussing a research theme, an important step is carried out with bibliometry, which objectively evaluates individuals and institutions to identify the prominent authors, publications, and subjects (ABRAMO *et al.*, 2015; MARTÍNEZ *et al.*, 2015; OLCZYK, 2016). Therefore, it is justified to use bibliometric analysis to perform this study, being this study about the theme proposed, discussion and evaluation of scientific production.

A selection of articles' portfolio was made considering leading search engines as the CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) Periodical Portal and the bases Cambridge University Press, Engineering Village, SAGE, Science Direct, Scopus, Taylor and Francis, Web of Science, Wiley. The chosen keywords were Food Retail, Food Retailer, Supermarket, Grocery, Hypermarket, Network, Chain, Collaboration, Cooperation, and Business, and also similar and plural terms. Existing correlated words, the studies were selected.

For all selected databases, the search occurred in July 2020, when a search was performed with the keywords, with the search fields Title, Abstract, and Keywords. No temporal delimitation as considered and only publications of scientific articles in English were used.

The first search was performed in the Scopus database. Based on the search parameters specified earlier, the search resulted in 940 articles. The second search was conducted in the Web of Science database, in which 542 items were found. The investigation carried out in the Cambridge University Press database found 40 articles. In the search carried out in the Engineering Village database, 268 articles were found. In the search performed in the SAGE database, 48 items were found. In the search performed in the Wiley database, 199 articles were found. In the search performed in the ScienceDirect database, 66 articles were found. The investigation carried out in the Taylor and Francis database had 43 items found.

All selected articles were exported to a file compatible with Mendeley bibliographic management software, resulting in 2,146 articles. After the end of the adherence and representativeness test for each database in this research, the later stage consisted of debugging the selected articles, presented in the following topic. After excluding duplicated publications, the crudeo articles database with non-repeated articles presented 1,341 papers submitted to title alignment, aiming to identify only the items aligned with the present study's proposal.

In this sub-stage, we begin reading the abstract and title of the 991 titles of the remaining articles to be aligned with the area of knowledge investigated. So, all items that do not fit the research scope were eliminated, resulting in 861 articles excluded.

The articles addressing the theme of supermarket chains, and collaboration were considered aligned. Then, the remaining publications, 130 items, were considered not repeated and with title and abstract alignment. On 9 December 2020, taking into consideration that Scopus is the base with the largest number of articles, we carried out the research again to update the items, and we added eight more pieces in the review.

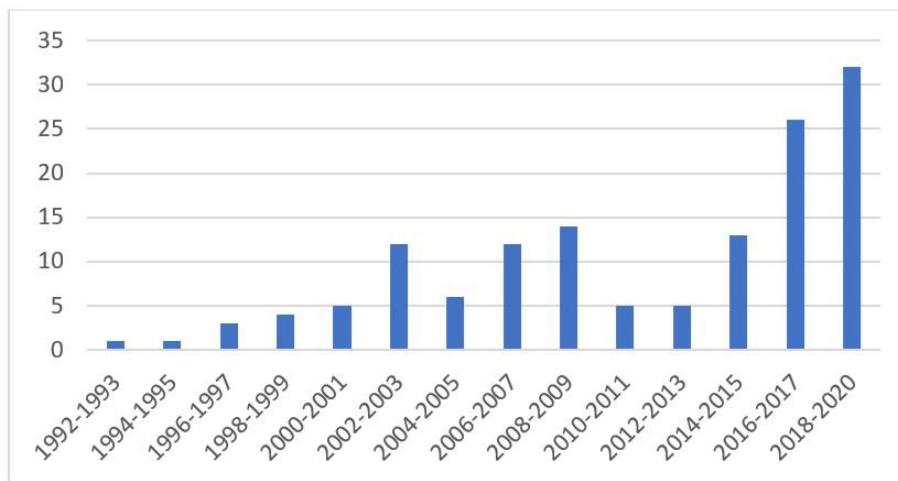
RESULTS

Quantitative analysis

The search performed resulted in 138 articles. Figure 1 shows the evolution in the number of items per year. It is noted that the theme began to take prominence in the years 2016-2017 and also increased the number of publications related to the subject in the year 2018-2020, what indicates it to be a leading topic today.

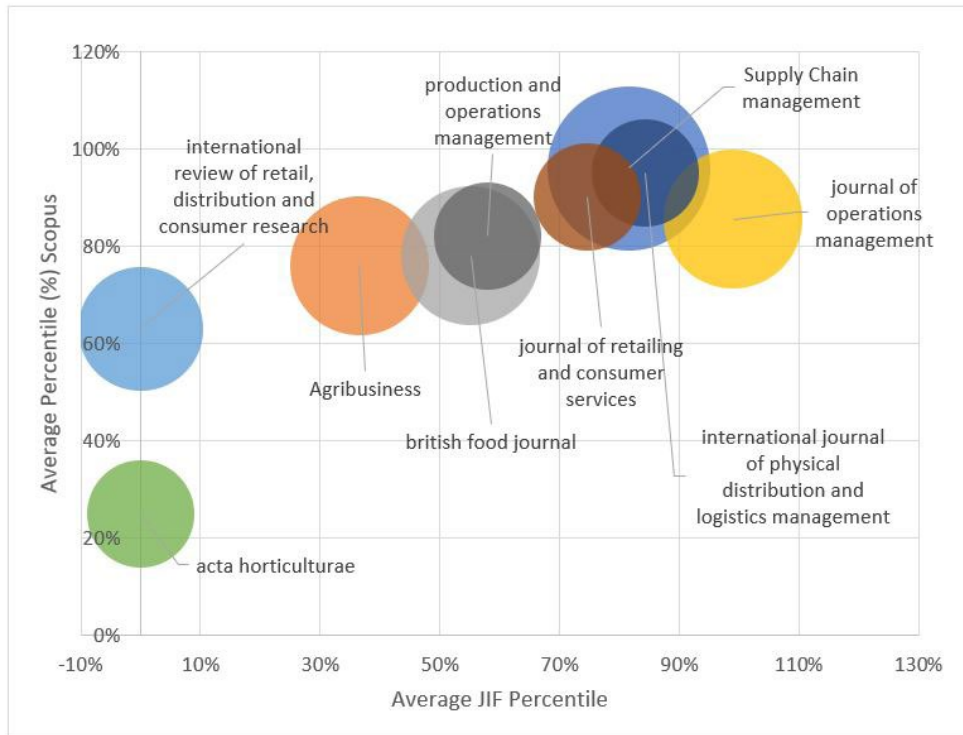
Figure 2 highlights nine journals with the highest number of documents, and the circle size corresponds to the number of documents. These journals were ordered according to the Average Percentile (Scopus) and Average JIF Percentile. It is important to emphasize that the newspaper Acta Horticulturae and International Review of Retail, Distribution, and Consumer Research do not present Average JIF Percentile values.

Figure 1- Distribution of articles by year of publication.



The journal Supply Chain management presents the highest value of the Average Percentile (Scopus), and the Journal of Operations Management has the highest value of the Average JIF Percentile. For this reason, it is highlighted that, depending on the database researched, we will have different journals' prominence values according to the standards that guide the databases and indexed journals.

Figure 2 - Number of articles per journal (9 journals).



In Figure 3, we have the first authors' University country of affiliation. We can note that the United States is the country with the highest number of documents (34), followed by the United Kingdom, Italy, Sweden, and Germany with 29,11,10 and 7, respectively. Brazil is in ninth place with five documents.

Figure 3 - First authors' University country of affiliation.

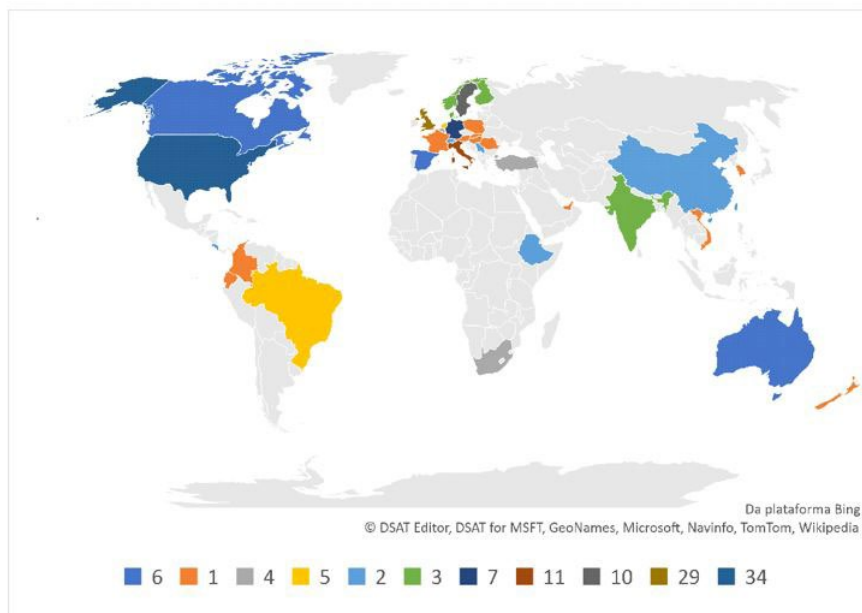
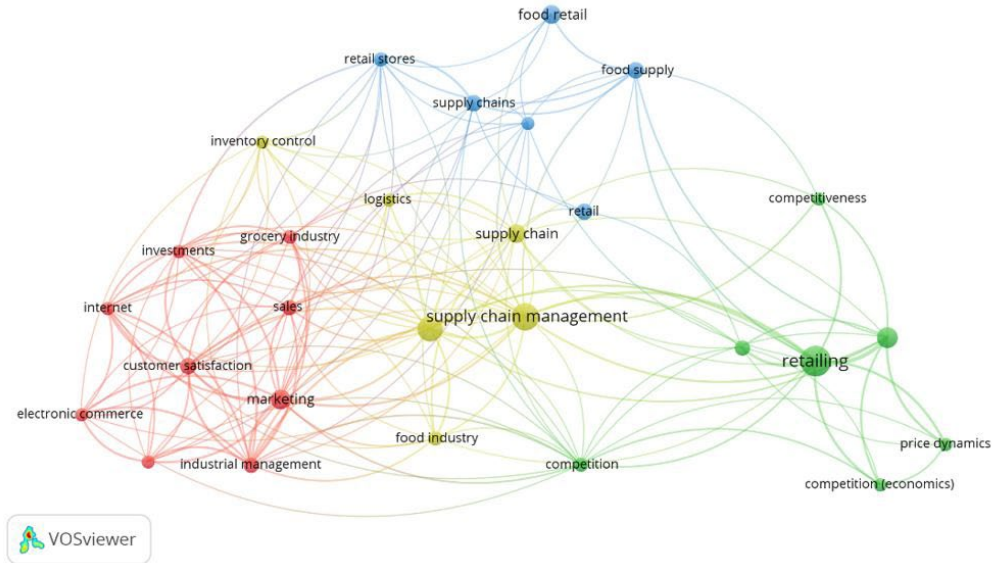


Figure 4 shows the clustering of the keywords analyzed through the VOSviewer software using the minimum occurrence of 4 times per word. One can perceive the formation of 4 clusters divided by the colors red (9 words), green (7 words), blue (6 words), yellow (6 words). In the red cluster we can see interlinked the terms “customer satisfaction”, “electronic commerce”, “grocery industry”, “industrial management”, “internet”, “investments”, “marketing”, “operations research” and “sales”.

Figure 4 - Clustering related terms.



Moving to the green cluster the terms link to the term “competition”, “competition (economics)”, “competitiveness”, “food market”, “price dynamics”, “retailing supermarket”. The blue cluster brings more terms that can be related to food and sustainability such as: “food retail”, “food supply”, “retail”, “retail stores”, “supply chains”, “sustainable development”. In the yellow cluster appear terms more related to management, such as: “food industry”, “inventory control”, “logistics”, “supermarkets”, “supply chain”, “supply chain management”.

Qualitative analysis

The qualitative analysis of the 138 articles retrieved was carried out by reading the abstracts and analyzing bibliographic references in common among them. As a result, it was possible to group 100 items, identifying 10 themes as the most addressed in the articles, and these were classified according to Figure 5.

Figure 5 - Themes found in the literature.

1 Agri-food supply chains									1	1			1				2	3	1	3	1	1	1		17		
2 Distribution									1	2		2	2							2	1	4		1	1	16	
3 Price			1			1	2					2	2		1		1	1	1	1	2			1	1	16	
4 Waste																							1	2	3	3	9
5 Delivery							1	1			1	1			1								1	1	1	1	9
6 Consumers / Brand	1			1			2		1						1				1							1	8
7 Online		1		1				2		1	1												1				7
8 Confidence									1									1		1		1			1	1	6
9 Cooperative systems					1			1					1									1			1	1	6
10 Assortment / Stock													1	1	1						1			1	1	1	6
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total	

Themes related to markets and networks identified in the articles were grouped into ten dimensions. For each theme, a timeline highlights the period in which this item was mentioned in

the analyzed studies. For example, the “Waste” theme was observed in studies published between 2017 and 2020. The number in each space represents the number of studies that mentioned this theme in that year, that is, for the theme “Waste” in the year 2017, 2018, 2019, and 2020 were found 1, 2, 3, 3 articles, respectively. In this case, the “Waste” theme was highlighted by 9 of the 100 studies analyzed. Table 1 shows which of the 100 reviews were classified in each article in question.

Table 1 - Authors and related topics.

Themes	Authors
1st Agri-food supply chains	(ADHIKARI et al., 2013), (ALEMU et al., 2016), (ASSEFA et al., 2016), (ATASOY, 2013), (BARNDT, 2014), (BLANDON et al., 2009), (J DARA BLOOM, 2014), (J D BLOOM & HINRICHS, 2017), (CADILHON et al., 2003), (CHATTERJEE, 2017), (O CHKANIKOVA, 2016), (OLGA CHKANIKOVA et al., 2018), (O CHKANIKOVA, 2016), (DARROCH & MUSHAYANYAMA, 2006), (DUNNING et al., 2015), (O CHKANIKOVA, 2016), (FARINA et al., 2005),
2nd Distribution	(AGRELL et al., 2017), (ALEXANDER & NICHOLLS, 2006), (ALFTAN et al., 2015), (ALI et al., 2017), (BARRATT, 2004), (BUIJS et al., 2016), (ANNA CORINNA CAGLIANO et al., 2017), (A C CAGLIANO et al., 2015), (CAMPOS et al., 2019), (CARRABS et al., 2017), (B. CHOI et al., 2009), (CIGOLINI & ROSSI, 2006), (DOHERTY, 2008), (FRANCIS et al., 2008), (FULLER et al., 2009), (SU et al., 2020).
3rd Price	(AHN, 2019), (ASPLUND & FRIBERG, 2002), (STRANIERI et al., 2017), (BASKER & MICHAEL, 2009), (RAJURKAR & JAIN, 2011), (BASUROY et al., 2001), (BELL & LATTIN, 1998), (BONANNO & LOPEZ, 2009), (BRENES et al., 2015), (CAVALIERE et al., 2016), (CECILIA C. DE ARRUDA & GRANADO, 2013), (CHIDMI & LOPEZ, 2007), (CHIDMI & MUROVA, 2011), (CHINTAGUNTA, 2002), (CIRAVEGNA & BRENES, 2016), (ELLICKSON et al., 2020)
4th Waste	(AKTAS et al., 2020), (BEITZEN-HEINEKE et al., 2017), (BORRERO, 2019), (M. CHOI et al., 2019), (Devin & Richards, 2018), (DREYER et al., 2018), (ROSEN-LUND et al., 2020), (SAORIN-IBORRA & CUBILLO, 2019), (SMYCZEK et al., 2020).
5th Delivery	(ANSELMSSON et al., 2016), (BELAYA & HANF, 2010), (BILKOVA et al., 2018) (BYROM et al., 2001), (CHAVEZ, 2002), (COE & WRIGLEY, 2007), (DAS NAIR, 2019), (ENDRISSAT et al., 2017), (FERNIE et al., 2006).
6th Consumers / Brand	(ANANIA & NISTICÒ, 2014), (ANDERSSON & SWEET, 2002), (BASHIR et al., 2020), (BECKEMAN & OLSSON, 2011), (BLUNDEL & HINGLEY, 2001), (COX & MOWATT, 2004), (FERNIE & PIERREL, 1996), (GABRIELSEN & SØRGARD, 1999).
7th Online	(BELLINI et al., 2017), (K K BOYER et al., 2003), (KENNETH K BOYER & HULT, 2005), (KENNETH K BOYER & HULT, 2006), (CLARK & LEE, 1997), (DELANEY-KLINGER et al., 2003), (FEARON & PHILIP, 1999).
8th Confidence	(BANERJEE & MISHRA, 2017), (BARRATT, 2003), (DUFFY et al., 2013), (FORSLUND, 2015), (MALAGUENO et al., 2019), (NAKANDALA et al., 2020)
9th Competition systems	(ARCIDIACONO, 2018), (BURN & BARNETT, 2000), (BURT & SPARKS, 2003), (CHIMHUNDU, 2016), (ELG & PAAVOLA, 2008), (WORTMANN, 2020).
10th Assortment / Stock	(G AVLIJAS et al., 2015), (GORAN AVLIJAS et al., 2018), (AYDIN & HAUSMAN, 2009), (DANAHER et al., 2008), (FADILOĞLU et al., 2010), (PAK et al., 2019).

Theme number 1, called **Agri-food supply chains**, presents 17 scattered articles from 2003 to 2019. Studies on this subject raise the need of effective farmers’ organizations for agricultural and rural development for Agri-food supply chains (BLANDON *et al.*, 2009). The network effects on business-to-business relationships and supply chain performance in different vegetable supply chains can also be studied using this structure (CADILHON *et al.*, 2003). In cooperatives selling vegetables to supermarkets, cooperative performance depends on the farmer and the property’s characteristics (ELDER, 2019).

The number 2 theme, **the retail distribution and delivery problems**, presents 16 scattered items from 2004 to 2020. So, theme 2 discusses issues such as the importance of adop-

ting performance measures that may reflect cross-docking performance changes from an overall distribution network perspective (BUIJS *et al.*, 2016), explore and develop an intelligent route planning system for cross-docking delivery operations of a supermarket chain using an action research (AR) and an evaluation approach through a scientific design research (DSR) lens (SU *et al.*, 2020). In this way, the articles also discuss the performance of a set of technological tools available to manage the stock and connect the different parts of the production system (FULLER *et al.*, 2009), highlighting the collaboration of retail replenishment by members of a food supply chain (ALFTAN *et al.*, 2015).

We have **Price and buying behavior** on the third theme, highlighting the consumer buying behavior and the retail price format (BELL & LATTIN, 1998). Thus, discussing the effect of multinationals entering the market and short- and medium-term price responses (BASKER & MICHAEL, 2009). A demand function is made clear at the brand chain level for each brand in the product category (CHINTAGUNTA, 2002). Moreover, the mix of stores and brands is geographically related by the consumer's income, impacting the spending in a determined store (ELLICKSON *et al.*, 2020). In this theme, 16 articles were selected from 1998 to 2020, indicating a piece of great relevance even over the years.

Food waste is related to theme 4, discussing the importance of packaging for reducing waste by suppliers, logistics, and consumers, keeping the product along the food supply chain. (BEITZEN-HEINEKE *et al.*, 2017). Also, the importance of balancing supply capabilities with demand requirements improves availability, decreasing inventory levels, reducing waste, aside from optimizing the usage of the logistics system (DREYER *et al.*, 2018). The article by Rosenlund *et al.* (2020) highlights the importance currently given to food waste due to several factors that include the availability of data, the increase of the environmental awareness of society, the formation of networks of actors working together, and the change of attitude among consumers. For this theme, 9 articles were classified, and these were dispersed from 2017 to 2020, which may indicate that this theme is relatively new.

Topic 5 was named **disseminating retail chains** focusing on the impacts of global retail on the host economy, concentrating in the critical and little-studied economic globalization aspect (COE & WRIGLEY, 2007). The entry of multinationals such as Wal-Mart leads to restructuring the food market with low prices and value for money, becoming store choice attributes for UK consumers (FERNIE *et al.*, 2006). Das Nair (2019) evaluated the factors that affect supermarketing and internationalization in Southern Africa, discussing the evolution of consumption habits and demands. Topic 5 may be present from 2002 to 2019, and within this classification, nine articles were allocated.

Theme 6 is about **consumers/brand**, and was present from 1996 to 2020, counting eight articles. It addresses buyer power and the possible exclusion of some brands (GABRIELSEN & SØRGARD, 1999). Also, retailers belonging to the same chain have different pricing strategies (ANANIA & NISTICÒ, 2014). That way, we can see some retailers' strategy to combat strong national brands using their own brands with competitive values (FERNIE & PIERREL, 1996). According to Beckeman and Olsson (2011), retailers want more collaboration with suppliers to differentiate themselves, establishing their brands, and competing with them. On the other hand, Bashir, Gaur, and Sharma (2020) point out that with the increase of shopping sites, the physical customer's behavior is different from the online customer; thus the entry of new market brands

into the market must be facilitated.

Theme 7 was named **online shopping**; this theme was present from 1997 to 2017, and 7 articles were selected. According to Boyer and Hult (2006), it is essential when analyzing purchases, the level of customer experience, method of choice of orders, quality of service, product quality, the freshness of the product, time savings, and behavioral intentions. Boyer and Hult (2005) affirm that customers' behavioral purposes of buying again are directly associated with the product and service quality. Boyer, Hult, and Frohlich (2003) detain that there are challenges such as poor operational execution and poorly planned business models involved in offering home delivery service, although it is considered a value-added service to consumers.

The relationship based on trust is theme eight, which presents six articles. Nakandala, Smith, and Lau (2020) and Duffy *et al.* (2013) highlight that through several transactions, trust-based relationships are developed using customer data by vendors influenced by the sharing of rewards. This way, Malagueño, Gölgeci and Fearné (2019) highlight that, in the relationship between customer and supplier, the fact of being of vital customer is less relevant than the way the relationship flows. That is why the correct treatment given to suppliers is factor of high importance.

Competitive systems named theme 9. This theme was present from 2000 to 2020, and 6 articles were selected. Food networks are trying to restore the old cooperatives' mission and values are cited (ARCIDIACONO, 2018). Thus, referential and expert power bases play a fundamental role that drives the practice of merchandising for store brands and manufacturers (CHIMHUNDU, 2016). Developing competitive retail brands in terms of price and quality and offering unique and specific values to consumers requires long-term mutually beneficial retail and supplier relationships (ELG & PAAVOLA, 2008). On the other hand, Burt and Spaks (2003) considered the changes in the retail market. They outlined a discussion about the power concentrated in a dominant chain.

The **assortment and stock** were named the 10th theme presenting 6 articles from 2008 to 2020. Avlijas, Milicevic, and Golijanin (2018) highlight that there is a high probability of out-of-stock when the density of stock-keeping units and the average store sale are high at the same time, but the purchasing level of the local population does not have real influence on out-of-stocks situations. On the other hand, Pak *et al.* (2019) and Fadiloğlu, Karaşan and Pinar (2010) highlighted that the selection of products for promotional display space could increase the profitability of their stores and so it is essential to know which Stock Keeping Units (SKUs) and the ideal product mix on the shelf.

CONCLUSION

This research listed the main works related to supermarket chains and collaboration between companies belonging to the network, reaching this article's objective by presenting a quantitative analysis of the published articles and qualitative research showing the items' main findings and conducting a survey of the number of articles developed in the ten themes classified in this study. In this study, 1,341 articles were found and, when analyzing their abstract, we could select 130 items that fitted the proposed theme - in addition to the eight articles in the update. Of these, 100 could be allocated in the ten proposed themes. Agri-food supply chains presented 17 items;

distribution had 16 items; price counted with 16 articles; waste presented nine items; delivery came with nine articles; consumers/brand had eight items; online showed seven articles, and confidence, competition systems and assortment/stock had six items each.

REFERENCES

ABRAMO, G., COSTA, C., & D'ANGELO, C. A. (2015). A multivariate stochastic model to assess research performance. *Scientometrics*, 102(2), 1755–1772.

ABRAS. (2019). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS - Ranking Abras 2018. https://static.abras.com.br/pdf/coletiva_rank.pdf

ADHIKARI, R. P., COLLINS, R., & SUN, X. (2013). Relationship management in a value chain involving “bottom of the pyramid” participants: A case study from Nepal. *Acta Horticulturae*, 1006, 41–48. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1006.3>

AGRELL, P. J., LUNDIN, J., & NORRMAN, A. (2017). Supply Chain Management: Horizontal carrier coordination through cooperative governance structures. *International Journal of Production Economics*, 194, 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.10.025>

AHN, D.-Y. (2019). How store format choices and market structure affect agglomeration economies and competition among chain stores in the US supermarket industry. *Applied Economics*, 51(51), 5594–5608. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1616069>

AKTAS, E., BOURLAKIS, M., & ZISSIS, D. (2020). Collaboration in the last mile: evidence from grocery deliveries. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 0(0), 1–15. <https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1740660>

ALEMU, A. E., MAERTENS, M., DECKERS, J., BAUER, H., & MATHIJS, E. (2016). Impact of supply chain coordination on honey farmers' income in Tigray, Northern Ethiopia. *Agricultural and Food Economics*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40100-016-0053-x>

ALEXANDER, A., & NICHOLLS, A. (2006). Rediscovering consumer-producer involvement: A network perspective on fair trade marketing. *European Journal of Marketing*, 40(11–12), 1236–1253. <https://doi.org/10.1108/03090560610702795>

ALFTAN, A., KAIPIA, R., LOIKKANEN, L., & SPENS, K. (2015). Centralised grocery supply chain planning: improved exception management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(3), 237–259. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2014-0017>

ALI, M. M., BABAI, M. Z., BOYLAN, J. E., & SYNTETOS, A. A. (2017). Supply chain forecasting when information is not shared. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*, 260(3), 984–994. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.046>

ANANIA, G., & NISTICÒ, R. (2014). Price dispersion and seller heterogeneity in retail food markets. *Food Policy*, 44, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.12.004>

ANDERSSON, P., & SWEET, S. (2002). Towards a framework for ecological strategic change in business networks. *Journal of Cleaner Production*, 10(5), 465–478. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00011-2)

- ANSELMSSON, J., BONDESSON, N., & MELIN, F. (2016). Customer-based brand equity and human resource management image: Do retail customers really care about HRM and the employer brand? *European Journal of Marketing*, 50(7–8), 1185–1208. <https://doi.org/10.1108/EJM-02-2015-0094>
- ARCIDIACONO, D. (2018). Promises and failures of the cooperative food retail system in Italy. *Social Sciences*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/socsci7110232>
- ASPLUND, M., & FRIBERG, R. (2002). Food Prices and Market Structure in Sweden. *The Scandinavian Journal of Economics*, 104(4), 547–566. <https://doi.org/10.1111/1467-9442.00301>
- ASSEFA, T., ABEBE, G., LAMOOT, I., & MINTEN, B. (2016). Urban food retailing and food prices in Africa: the case of Addis Ababa, Ethiopia. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 6(2), 90–109. <https://doi.org/10.1108/JADEE-02-2015-0009>
- ATASOY, Y. (2013). Supermarket Expansion in Turkey: Shifting Relations of Food Provisioning. *Journal of Agrarian Change*, 13(4), 547–570. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0366.2012.00382.x>
- AVLIJAS, G, SIMICEVIC, A., AVLIJAS, R., & PRODANOVIC, M. (2015). Measuring the impact of stock-keeping unit attributes on retail stock-out performance. *Operations Management Research*, 8(3–4), 131–141. <https://doi.org/10.1007/s12063-015-0104-6>
- AVLIJAS, GORAN, MILICEVIC, N., & GOLIJANIN, D. (2018). INFLUENCE OF STORE CHARACTERISTICS ON PRODUCT AVAILABILITY IN RETAIL BUSINESS. *E a M: Ekonomie a Management*, 21(4), 195–206. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2018-4-013>
- AYDIN, G., & HAUSMAN, W. H. (2009). The role of slotting fees in the coordination of assortment decisions. In *Production and Operations Management* (Vol. 18, Issue 6, pp. 635–652). <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01039.x>
- BALESTRIN, A., & VERSCHOORE, J. (2016). *Redes de Cooperação Empresarial-: Estratégias de Gestão na Nova Economia*. Bookman editora.
- BANERJEE, M., & MISHRA, M. (2017). Retail supply chain management practices in India: A business intelligence perspective. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 34, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2015.09.009>
- BARNDT, W. T. (2014). Corporation-based parties: The present and future of business politics in Latin America. *Latin American Politics and Society*, 56(3), 1–22. <https://doi.org/10.1111/j.1548-2456.2014.00237.x>
- BARRATT, M. (2003). Positioning the Role of Collaborative Planning in Grocery Supply Chains. *The International Journal of Logistics Management*, 14(2), 53–66. <https://doi.org/10.1108/09574090310806594>
- BARRATT, M. (2004). Unveiling Enablers and Inhibitors of Collaborative Planning. *The International Journal of Logistics Management*, 15(1), 73–90. <https://doi.org/10.1108/09574090410700248>
- BASHIR, R., GAUR, B., & SHARMA, B. K. (2020). An analytical view of the moderating effect of gender on online purchase behavior. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(1), 324–328. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85081037576&partnerID=40&md5=e7f8cae83abfb8b6944dde1f84e9046e>

- BASKER, E., & MICHAEL, N. (2009). The Evolving Food Chain: Competitive Effects of Wal-Mart's Entry into the Supermarket Industry. *Journal of Economics & Management Strategy*, 18(4), 977–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2009.00235.x>
- BASUROY, S., MANTRALA, M. K., & WALTERS, R. G. (2001). The impact of category management on retailer prices and performance: Theory and evidence. *Journal of Marketing*, 65(4), 16–32.
- BECKEMAN, M., & OLSSON, A. (2011). The role of Swedish retailers in food innovations. *International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 21(1), 51–70. <https://doi.org/10.1080/09593969.2011.537819>
- BEITZEN-HEINEKE, E. F., BALTA-OZKAN, N., & REEFKE, H. (2017). The prospects of zero-packaging grocery stores to improve the social and environmental impacts of the food supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1528–1541. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.227>
- BELAYA, V., & HANF, J. H. (2010). Foreign direct investment as an agent of change in Russian agrifood business - consequences of the export of chain management concepts by foreign investors. *Post-Communist Economies*, 22(1), 55–72. <https://doi.org/10.1080/14631370903525595>
- BELL, D. R., & LATTIN, J. M. (1998). Shopping behavior and consumer preference for store price format: Why “large basket” shoppers prefer EDLP. *Marketing Science*, 17(1), 66–88. <https://doi.org/10.1287/mksc.17.1.66>
- BELLINI, S., CARDINALI, M. G., & GRANDI, B. (2017). A structural equation model of impulse buying behaviour in grocery retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 36, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2017.02.001>
- BILKOVA, K., KRIZAN, F., HORNAK, M., BARLIK, P., ZUBRICZKY, G., BILKOVÁ, K., KRIŽAN, F., HORNÁK, M., BARLÍK, P., & ZUBRICZKÝ, G. (2018). Food and non-food retail change in a post-communist country: A case study of the Gemer region in Slovakia. *Bulletin of Geography*, 39(39), 7–20. <https://doi.org/10.2478/bog-2018-0001>
- BLANDON, J., HENSON, S., & CRANFIELD, J. (2009). Small-scale farmer participation in new agri-food supply chains: Case of the supermarket supply chain for fruit and vegetables in Honduras. *Journal of International Development*, 21(7), 971–984. <https://doi.org/10.1002/jid.1490>
- BLOOM, J D, & HINRICHS, C. C. (2017). The long reach of lean retailing: Firm embeddedness and Wal-Mart's implementation of local produce sourcing in the US. *Environment and Planning A*, 49(1), 168–185. <https://doi.org/10.1177/0308518X16663207>
- BLOOM, J DARA. (2014). Civil Society in Hybrid Governance: Non-Governmental Organization (NGO) Legitimacy in Mediating Wal-Mart's Local Produce Supply Chains in Honduras. *Sustainability*, 6(10), 7388–7411.
- BLUNDEL, R. K., & HINGLEY, M. (2001). Exploring growth in vertical inter-firm relationships: small-medium firms supplying multiple food retailers. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 8(3), 245–265. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000006824>
- BONANNO, A., & LOPEZ, R. A. (2009). Competition Effects of Supermarket Services. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(3), 555–568. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2009.01255.x>
- BORRERO, J. D. (2019). Agri-food supply chain traceability for fruit and vegetable cooperatives using

Blockchain technology [Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología Blockchain]. CIRIEC-España Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa, 95, 71–94. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.95.13123>

BOYER, K K, HULT, G. T., & FROHLICH, M. (2003). An exploratory analysis of extended grocery supply chain operations and home delivery. *Integrated Manufacturing Systems*, 14(8), 652–663. <https://doi.org/10.1108/09576060310503465>

BOYER, KENNETH K, & HULT, G. T. M. (2005). Extending the supply chain: Integrating operations and marketing in the online grocery industry. *Journal of Operations Management*, 23(6), 642–661. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.01.003>

BOYER, KENNETH K, & HULT, G. T. M. (2006). Customer behavioral intentions for online purchases: An examination of fulfillment method and customer experience level. *Journal of Operations Management*, 24(2), 124–147. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.04.002>

BRENES, E. R., CIRAVEGNA, L., & MONTOYA, D. (2015). Super Selectos: Winning the war against multinational retail chains. *Journal of Business Research*, 68(2), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2014.09.030>

BUIJS, P., DANHOF, H. W., & WORTMANN, J. (HANS. C. (2016). Just-in-Time Retail Distribution: A Systems Perspective on Cross-Docking. *Journal of Business Logistics*, 37(3), 213–230. <https://doi.org/10.1111/jbl.12135>

BURN, J., & BARNETT, M. (2000). Emerging Virtual Models for Global e-Commerce - World Wide Retailing in the e-Grocery Business. *Journal of Global Information Technology Management*, 3(1), 18–32. <https://doi.org/10.1080/1097198X.2000.10856270>

BURT, S. L., & SPARKS, L. (2003). Power and Competition in the UK Retail Grocery Market. *British Journal of Management*, 14(3), 237–254. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00377>

BYROM, J., MEDWAY, D., & WARNABY, G. (2001). Issues of provision and “remoteness” in rural food retailing - A case study of the southern Western Isles of Scotland. *British Food Journal*, 103(6), 400–413. <https://doi.org/10.1108/00070700110400398>

CADILHON, J., FEARNE, A. P., MOUSTIER, P., & POOLE, N. D. (2003). Modelling vegetable marketing systems in South East Asia: phenomenological insights from Vietnam. *Supply Chain Management: An International Journal*, 8(5), 427–441. <https://doi.org/10.1108/13598540310500268>

CAGLIANO, A C, DE MARCO, A., RAFELE, C., BRAGAGNINI, A., & GOBBATO, L. (2015). Analysing the diffusion of a mobile service supporting the e-grocery supply chain. *Business Process Management Journal*, 21(4), 928–963. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2014-0035>

CAGLIANO, ANNA CORINNA, DE MARCO, A., & RAFELE, C. (2017). E-grocery supply chain management enabled by mobile tools. *Business Process Management Journal*, 23(1), 47–70. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-01-2016-0002>

CAMPOS, D. F., LIMA JR, J. T. D. A., SILVA, A. B. DA, & FERNANDES, A. J. (2019). Professional competencies in supply chain management in the mid-sized supermarket sector in Brazil. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(3), 405–416. <https://doi.org/10.1108/SCM-02-2018-0081>

CARRABS, F., CERULLI, R., & SCIOMACHEN, A. (2017). An exact approach for the grocery delivery

problem in urban areas. *Soft Computing*, 21(9), 2439–2450. <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2406-5>

CARRÃO, A. M. R. (2004). Cooperação entre empresas de pequeno porte em pólos industriais: um estudo comparativo. *Revista de Administraç Ão Da Universidade de São Paulo*, 39(2).

CAVALIERE, A., PERI, M., & BANTERLE, A. (2016). Vertical Coordination in Organic Food Chains: A Survey Based Analysis in France, Italy and Spain. *Sustainability*, 8(6), 569. <https://doi.org/10.3390/su8060569>

CECILIA C. DE ARRUDA, M., & GRANADO, L. (2013). Small-Sized Suppliers Entering Large Markets: An Ethical Initiative of the Caras do Brasil Program. *Journal of Business Ethics*, 112(4), 685–696. <https://doi.org/10.1007/s10551-013-1627-0>

CHATTERJEE, S. (2017). Two efficiency-driven networks on a collision course: ALDI's innovative grocery business model vs Walmart. *Strategy & Leadership*, 45(5), 18–25. <https://doi.org/10.1108/SL-06-2017-0057>

CHAVEZ, M. (2002). The Transformation of Mexican Retailing with NAFTA. *Development Policy Review*, 20(4), 503–513. <https://doi.org/10.1111/1467-7679.00186>

CHIDMI, B., & LOPEZ, R. A. (2007). Brand-Supermarket Demand for Breakfast Cereals and Retail Competition. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(2), 324–337. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.00994.x>

CHIDMI, B., & MUROVA, O. (2011). Measuring market power in the supermarket industry: The case of the Seattle-Tacoma fluid milk market. In *Agribusiness* (Vol. 27, Issue 4, pp. 435–449). <https://doi.org/10.1002/agr.20276>

CHIESA, G. A. E. (2008). Uma investigação sobre a importância da operação com centrais de negócios para o consumidor final em supermercados de vizinhança. Universidade de São Paulo.

CHIMHUNDU, R. (2016). Marketing store brands and manufacturer brands: Role of referent and expert power in merchandising decisions. *Journal of Brand Management*, 23(5), 24–40. <https://doi.org/10.1057/s41262-016-0003-7>

CHINTAGUNTA, P. K. (2002). Investigating Category Pricing Behavior at a Retail Chain. *Journal of Marketing Research*, 39(2), 141–154. <https://doi.org/10.1509/jmkr.39.2.141.19090>

CHKANIKOVA, O. (2016). Sustainable Purchasing in Food Retailing: Interorganizational Relationship Management to Green Product Supply. *Business Strategy and the Environment*, 25(7), 478–494. <https://doi.org/10.1002/bse.1877>

CHKANIKOVA, OLGA, KOGG, B., OLGA, C., BEATRICE, K., CHKANIKOVA, O., KOGG, B., OLGA, C., BEATRICE, K., CHKANIKOVA, O., & KOGG, B. (2018). Sustainability governance service providers: the role of third-party product certification in facilitating corporate life cycle management. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(7), 1383–1395. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0865-z>

CHOI, B., TSAI, N., & JONES, T. (2009). Building Enterprise Network Infrastructure for a Supermarket Store Chain. *Journal of Cases on Information Technology*, 11(1), 31–46. <https://doi.org/10.4018/jcit.2009010103>

CHOI, M., RABINOVICH, E., & RICHARDS, T. J. (2019). Supply Chain Contracts and Inventory

- Shrinkage: An Empirical Analysis in the Grocery Retailing Industry. *Decision Sciences*, 50(4), 694–725. <https://doi.org/10.1111/deci.12356>
- CIGOLINI, R., & ROSSI, T. (2006). A note on supply risk and inventory outsourcing. *Production Planning and Control*, 17(4), 424–437. <https://doi.org/10.1080/09537280600650338>
- CIRAVEGNA, L., & BRENES, E. R. (2016). Learning to become a high reliability organization in the food retail business. *Journal of Business Research*, 69(10), 4499–4506. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.03.015>
- CLARK, T. H., & LEE, H. G. (1997). EDI-Enabled Channel Transformation: Extending Business Process Redesign Beyond the Firm. *International Journal of Electronic Commerce*, 2(1), 7–21. <https://doi.org/10.1080/10864415.1997.11518301>
- COE, N. M., & WRIGLEY, N. (2007). Host economy impacts of transnational retail: the research agenda. *Journal of Economic Geography*, 7(4), 341–371. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbm012>
- COELHO, A. F. (2017). Auditoria interna—um estudo no controle de estoque de um centro de distribuição de uma rede de supermercados.
- COX, H., & MOWATT, S. (2004). Consumer-driven innovation networks and e-business management systems. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 7(1), 9–19. <https://doi.org/10.1108/13522750410512840>
- DANAHER, P. J., BONFRER, A., & DHAR, S. (2008). The effect of competitive advertising interference on sales for packaged goods. *JOURNAL OF MARKETING RESEARCH*, 45(2), 211–225. <https://doi.org/10.1509/jmkr.45.2.211>
- DARROCH, M. A. G., & MUSHAYANYAMA, T. (2006). Improving working relationships for smallholder farmers in formal organic crop supply chains: Evidence from KwaZulu-Natal, South Africa. *Agrekon*, 45(3), 339–360. <https://doi.org/10.1080/03031853.2006.9523751>
- DAS NAIR, R. (2019). The spread and internationalisation of South African retail chains and the implications of market power. *International Review of Applied Economics*, 33(1), 30–50. <https://doi.org/10.1080/02692171.2019.1523855>
- DELANEY-KLINGER, K., BOYER, K. K., & FROHLICH, M. (2003). The return of online grocery shopping: A comparative analysis of Webvan and Tesco's operational methods. *TQM Magazine*, 15(3), 187–196. <https://doi.org/10.1108/09544780310469334>
- Devin, B., & Richards, C. (2018). Food Waste, Power, and Corporate Social Responsibility in the Australian Food Supply Chain. *Journal of Business Ethics*, 150(1), 199–210. <https://doi.org/10.1007/s10551-016-3181-z>
- DOHERTY, B. (2008). A truly co-operative venture: The case study of co-operative food, a retailer response to fair trade. *Journal of Strategic Marketing*, 16(3), 205–221. <https://doi.org/10.1080/09652540802117207>
- DOTTO, D. M. R., WITTMANN, M. L., & MACHADO, R. A. (2002). Competitividade e redes pequenas e médias empresas: uma abordagem do setor de varejo alimentício no Rio Grande do Sul. *Redes (St. Cruz Sul, Online)*, 7(4), 211–228.

- DREYER, H. C., KIIL, K., DUKOVSKA-POPOVSKA, I., & KAIPIA, R. (2018). Proposals for enhancing tactical planning in grocery retailing with S&OP. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(2), 114–138. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2017-0018>
- DUFFY, R., FEARNE, A., HORNIBROOK, S., HUTCHINSON, K., & REID, A. (2013). Engaging suppliers in CRM: The role of justice in buyer-supplier relationships. *International Journal of Information Management*, 33(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2012.04.005>
- DUNNING, R., BLOOM, J. D., & CREAMER, N. (2015). The local food movement, public-private partnerships, and food system resiliency. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5(4), 661–670. <https://doi.org/10.1007/s13412-015-0295-z>
- ELDER, S. D. (2019). The impact of supermarket supply chain governance on smallholder farmer cooperatives: the case of Walmart in Nicaragua. *Agriculture and Human Values*, 36(2), 213–224. <https://doi.org/10.1007/s10460-019-09911-8>
- ELG, U., & PAAVOLA, H. (2008). Market orientation of retail brands in the grocery chain: the role of supplier relationships. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 18(2), 221–233. <https://doi.org/10.1080/09593960701868480>
- ELLICKSON, P. B., GRIECO, P. L. E., & KHVASTUNOV, O. (2020). Measuring competition in spatial retail. *The RAND Journal of Economics*, 51(1), 189–232. <https://doi.org/10.1111/1756-2171.12310>
- ENDRISSAT, N., KÄRREMAN, D., & NOPPENNEY, C. (2017). Incorporating the creative subject: Branding outside–in through identity incentives. *Human Relations*, 70(4), 488–515. <https://doi.org/10.1177/0018726716661617>
- ESCUDEIRO, F. H. (2005). Eficiência ou Poder de Monopólio ? Um Estudo sobre a política Antitruste e o Setor Supermercado Brasileiro. Universidade de São Paulo.
- FADILÖĞLU, M. M., KARASAN, O. E., & PINAR, M. C. (2010). A model and case study for efficient shelf usage and assortment analysis. *Annals of Operations Research*, 180(1), 105–124. <https://doi.org/10.1007/s10479-008-0497-9>
- FARINA, E. M. M. Q., NUNES, R., & MONTEIRO, G. F. D. A. (2005). Supermarkets and their impacts on the agrifood system of Brazil: The competition among retailers. *Agribusiness*, 21(2), 133–147. <https://doi.org/10.1002/agr.20039>
- FEARON, C., & PHILIP, G. (1999). An empirical study of the use of EDI in supermarket chains using a new conceptual framework. *JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY*, 14(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/026839699344719>
- FERNIE, J., HAHN, B., GERHARD, U., PIOCH, E., & ARNOLD, S. J. (2006). The impact of Wal-Mart's entry into the German and UK grocery markets. *Agribusiness*, 22(2), 247–266. <https://doi.org/10.1002/agr.20083>
- FERNIE, J., & PIERREL, F. R. A. (1996). Own branding in UK and French grocery markets. *Journal of Product & Brand Management*, 5(3), 48–59. <https://doi.org/10.1108/10610429610126579>
- FILIMONAU, V., & GHERBIN, A. (2017). An exploratory study of food waste management practices in the UK grocery retail sector. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1184–1194.

- FORSLUND, H. (2015). Performance management process integration in retail supply chains. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 43(7), 652–670. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-09-2013-0174>
- FRANCIS, M., SIMONS, D., & BOURLAKIS, M. (2008). Value chain analysis in the UK beef foodservice sector. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(1), 83–91. <https://doi.org/10.1108/13598540810850346>
- FULLER, A., KAKAVELAKIS, K., FELSTEAD, A., JEWSON, N., & UNWIN, L. (2009). Learning, knowing and controlling the stock: the nature of employee discretion in a supermarket chain. *Journal of Education and Work*, 22(2), 105–120. <https://doi.org/10.1080/13639080902854037>
- GABRIELSEN, T. S., & SØRGARD, L. (1999). Discount Chains and Brand Policy. *The Scandinavian Journal of Economics*, 101(1), 127–142. <https://doi.org/10.1111/1467-9442.00145>
- IBGE. (2016). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Serviços e Comércio. Pesquisa Anual de Comércio 2007/2016. 28. https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/2e2338c204a787540cd05c9d890e4631.pdf
- JARILLO, J. C. (1988). On Strategic Networks *Strategic Management Journal* (9). January-February.
- KOTLER, P. (2000). *Administração de marketing*.
- LUKIC, R., KLJENAK, D. V., & JOVANCEVIC, D. (2014). Retail food waste management. *Management Research and Practice*, 6(4), 23.
- MALAGUEÑO, R., GÖLGEÇI, I., & FEARNE, A. (2019). Customer categorization, relational justice and SME performance in supermarket supply chains. *Supply Chain Management*, 24(3), 417–429. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2018-0237>
- MAMEDE, G. (2000). Shopping Centers: A imposição econômica de um varejo de massa e suas consequências jurídicas (ano VIII). *Vanguarda Econômica*.
- MARTÍNEZ, M. A., COBO, M. J., HERRERA, M., & HERRERA-VIDEIRA, E. (2015). Analyzing the scientific evolution of social work using science mapping. *Research on Social Work Practice*, 25(2), 257–277.
- MONTEIRO, G. F. D. A. (n.d.). *Estrutura de mercado e concorrência no varejo de alimentos: o mercado de consumo integrado*. Universidade de São Paulo.
- NAKANDALA, D., SMITH, M., & LAU, H. (2020). Shared power and fairness in trust-based supply chain relationships in an urban local food system. *British Food Journal*, 122(3), 870–883. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2019-0309>
- OLAVE, M. E. L., & AMATO NETO, J. (2001). Redes de cooperação produtiva: uma estratégia de competitividade e sobrevivência para pequenas e médias empresas. *Gestão & Produção*, 8(3), 289–318.
- OLCZYK, M. (2016). Bibliometric approach to tracking the concept of international competitiveness. *Journal of Business Economics and Management*, 17(6), 945–959.
- PAK, O., FERGUSON, M., PERDIKAKI, O., & WU, S.-M. (2019). Optimizing stock-keeping unit selection

for promotional display space at grocery retailers. *Journal of Operations Management*. <https://doi.org/10.1002/joom.1075>

RAJURKAR, S. W., & JAIN, R. (2011). Food supply chain management: Review, classification and analysis of literature. *International Journal of Integrated Supply Management*, 6(1), 33–72. <https://doi.org/10.1504/IJISM.2011.038332>

ROSENLUND, J., NYBLOM, Å., MATSCHKE EKHOLM, H., & SÖRME, L. (2020). The emergence of food waste as an issue in Swedish retail. *British Food Journal*, 122(11), 3283–3296. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2020-0181>

SAORÍN-IBORRA, M. C., & CUBILLO, G. (2019). Supplier behavior and its impact on customer satisfaction: A new characterization of negotiation behavior. *JOURNAL OF PURCHASING AND SUPPLY MANAGEMENT*, 25(1), 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2018.03.002>

SEDAI. (2004). Secretaria do Desenvolvimento e dos Assuntos Internacionais do Estado do Rio Grande do Sul. Redes de cooperação – Manual do consultor.

SLACK, N., CHAMBERS, S., & JOHNSTON, R. (2010). *Operations management*. Pearson education.

SMYCZEK, S., FESTA, G., ROSSI, M., & MAZZOLENI, A. (2020). Contextual complexity in business relationships within the input-output model – evidence of misbehaviour in grocery stores in Poland. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2019-0894>

STRANIERI, S., ORSI, L., & BANTERLE, A. (2017). Traceability and risks: an extended transaction cost perspective. *Supply Chain Management*, 22(2), 145–159. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2016-0268>

SU, S.-L. I., FAN, X., & SHOU, Y. (2020). A design science-based case study of retail chain delivery operations and its implications. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

WORTMANN, M. (2020). The German variety of grocery retailing: A historical institutionalist analysis of a non-core industry. *Competition & Change*, 1024529420941138.

Competências necessárias para suportar a Indústria 4.0

Michele Ines de Barros

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ricardo Augusto Cassel

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Bibiana Porto da Silva

(Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.4

RESUMO

A indústria 4.0 (I4.0) surge através de novas tecnologias industriais. Nesta fase os sistemas de operações de manufatura e tecnologias de informação estão conectados, interagem e cooperam em tempo real. Neste contexto, as organizações precisam se adaptar e compreender quais competências surgem e serão valiosas neste novo cenário industrial. Seguindo esta linha, este artigo tem por objetivo entender quais as competências necessárias para suportar a Indústria 4.0 e como elas são classificadas. Para responder o objetivo de pesquisa, foi realizado uma revisão sistemática de literatura. Como resultado, é apresentando uma lista das futuras competências e suas classificações. A I4.0 mudou e continuará mudando a produção, tecnologia, competências e o perfil de trabalho e desta forma, é importante que os profissionais e as organizações fiquem atentos a estas competências.

Palavras-chave: competências. habilidades. indústria 4,0. revisão sistemática.

INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial os avanços tecnológicos estimulam a produtividade industrial. A transformação econômica e o vínculo entre industrialização e globalização, representam na realidade de hoje um marco rumo a Indústria 4.0 (VELJKOVIĆ *et al.*, 2020). A indústria 4.0 (I4.0) surge através de novas tecnologias industriais e é entendida como uma fase industrial em que sistemas operacionais de manufatura e tecnologias de informação estão conectados, interagem e cooperam em tempo real, formando Sistemas Ciber-Físicos (RÜSSMANN *et al.*, 2015; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). Esta interação permite que processos físicos e informacionais estejam disponíveis quando e onde forem necessários; além de possibilitar coleta e análise de dados.

A adoção destes conceitos relacionados à I4.0, como internet das coisas (IoT) e digitalização de fábricas, estão modificando os modelos de negócio e as relações com a concorrência (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). Isso acontece, pois contribuem para o aumento da produtividade na manufatura, crescimento industrial e transformação da competitividade de empresas e regiões (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; RÜSSMANN *et al.*, 2015).

Neste contexto, as organizações precisam se adaptar para lidar com a I4.0. A digitalização leva a uma transformação na produção, logística, comunicação e gestão de recursos humanos (BIANCO, 2020). Essa revolução dos sistemas produtivos ocasionada pela I4.0 desencadeia uma mudança organizacional e cultural (SCHNEIDER, 2018), uma vez que afeta diversos atores, tais como líderes, funcionários e sociedade (BIANCO, 2020). Para que as organizações suportem esse movimento, é crucial compreender quais competências surgem e serão valiosas neste novo cenário industrial (RODRIGUES; SORDAN, 2019). O desenvolvimento pessoal, principalmente da liderança, será essencial, e para Bianco (2020) será aprimorado na medida que os trabalhadores terão oportunidade de receber novas responsabilidades.

Schneider (2018) destaca que esse processo de transformação pode ser desafiador, e que os gestores precisam controlar e governar este movimento de aceitação e tendência de implementação relacionados à I4.0. Sendo assim, pode-se dizer que readaptação da liderança

é necessária para suportar este novo contexto histórico (BIANCO, 2020). Seguindo essa linha, este artigo tem por objetivo entender quais as competências necessárias para suportar a Indústria 4.0 e como elas são classificadas. Ao estudar a I4.0 e as mudanças que este novo cenário traz nas organizações, explorar e compreender as competências que afetam e surgem nesta novo horizonte se torna fundamental (RODRIGUES; SORDAN, 2019).

METODOLOGIA

Para responder ao objetivo deste artigo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. Revisões sistemáticas são realizadas a fim de responder algum questionamento, o qual precede uma compreensão, definição ou resolução explícita (HALLINGER, 2013). Para Moher *et al.* (2009), a partir de uma questão de pesquisa (QP) formulada, a revisão sistemática é utilizada para identificar, selecionar e avaliar de forma crítica pesquisas existentes e relevantes, as quais serão consideradas no estudo e revisão.

O método adotado para a condução desta revisão sistemática é o PRISMA, o qual possui quatro etapas: identificação, elegibilidade, triagem e inclusão. Deve-se iniciar com a definição dos tópicos centrais de interesse e pesquisa (MOHER *et al.*, 2009). Esses tópicos podem ser organizados em torno de um conjunto de questões, as quais orientam a execução do estudo e constituem o conceito e estrutura para a realização da revisão sistemática (HALLINGER, 2013). As etapas seguidas neste artigo serão descritas nas próximas seções e podem ser vistas de forma resumida na Figura 1.

Figura 1- Etapas Revisão Sistemática

Etapa	Objetivo da etapa
Definir as questões de pesquisa e os critérios de seleção	Direcionar e dimensionar o trabalho
Realizar a busca nas bases de dados	Identificar registros por meio de pesquisa de banco de dados Adicionar registros identificados através de outras fontes Eliminar trabalhos duplicados
Analisar a qualidade dos estudos	Aplicar os critérios de exclusão Definir artigos a serem estudados
Extrair os dados de interesse	Avaliar, analisar e sintetizar dados coletados Descrever o que foi lido
Analisar e discutir os resultados	Responder às questões de pesquisa Identificar principais resultados e limitações

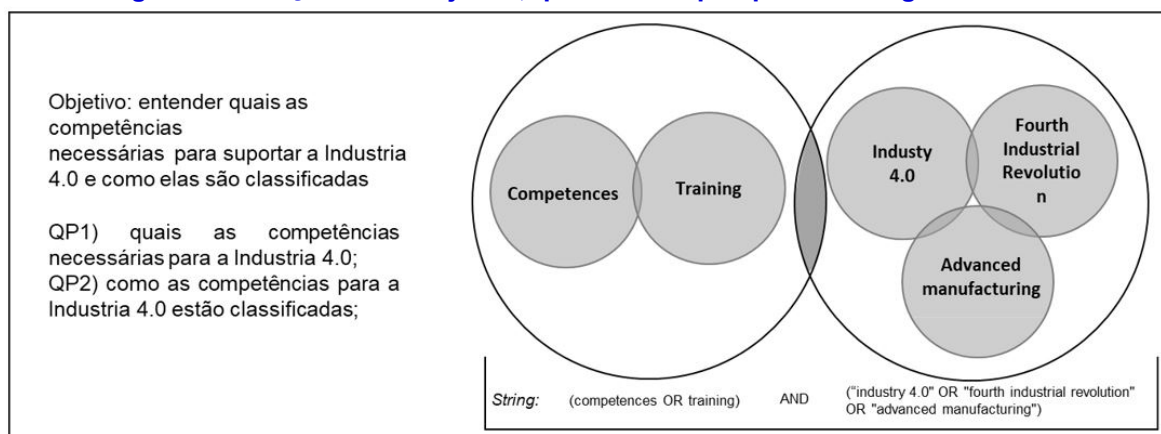
Fonte: Autor (2021)

Questão de pesquisa e critérios de seleção

A partir da definição da temática e objetivo do trabalho, deve-se definir as questões de pesquisa, as quais irão direcionar a revisão sistemática (HALLINGER, 2013). Sendo assim, foram definidas duas questões de pesquisa: QP1) quais as competências necessárias para a Indústria 4.0; QP2) como as competências para a I4.0 estão classificadas. Com base nisto, a string de busca foi composta por termos relacionados com a temática do artigo, resultando em: (competences OR training) AND (“industry 4.0” OR “fourth industrial revolution” OR “advanced manufacturing”), conforme apresentado na Figura 2. Foram escolhidos artigos que tivessem os

termos da string no título, resumo ou palavras chave; e não foram restringidos artigos pela língua e ano de publicação.

Figura 2 - Relação entre objetivo, questões de pesquisa e string de Busca



Fonte: Autor (2021)

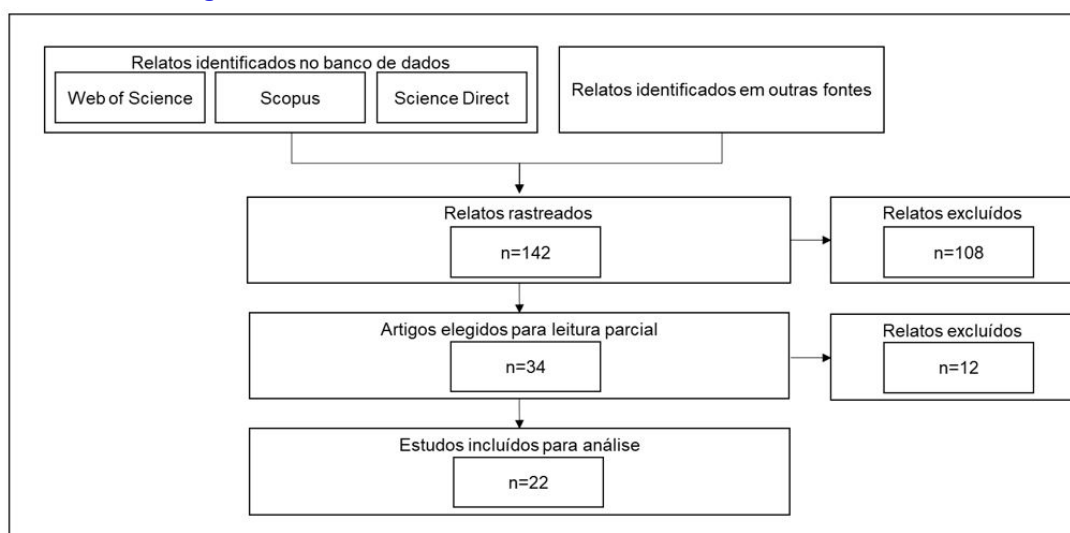
Busca na base de dados e análise da qualidade dos estudos

As revisões sistemáticas são utilizadas para descrever e demarcar o avanço de conhecimento ao longo do tempo. Para isto, são feitas pesquisas em bases de dados, e após são avaliadas e sintetizadas as informações encontradas (HALLINGER, 2013). Para este estudo, foram pesquisadas três bases de dados: *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*. As pesquisas foram realizadas durante o mês de setembro de 2020.

Esta revisão sistemática adotou o sistema de bola de neve (WOHLIN, 2014), isso significa que quando os artigos relacionados não estavam na pesquisa original, mas foram referenciados dentro os artigos identificados, foram posteriormente adicionados. Para a análise da qualidade dos estudos, definiu-se duas etapas de análise e exclusão de artigos. Os artigos eram selecionados e, se o conteúdo do título ou resumo não estava alinhado com objetivo do estudo, o artigo foi excluído.

A segunda etapa de exclusão dos artigos foi através da leitura do resumo e introdução. Para apoiar e etapa de avaliação do conteúdo e análise da qualidade dos estudos, os artigos previamente triados foram avaliados e, com base em seu conteúdo, três questões foram respondidas: a) a ideia central do artigo está direcionada para competências ou habilidades necessárias da Indústria 4.0; b) o artigo aborda de alguma forma competências ou habilidades necessárias para a Indústria 4.0; c) o artigo contribui de alguma forma para definir ou entender as competências necessárias para a I4.0. Desta forma, resultaram 22 artigos para a leitura completa, análise e realização do trabalho. Este processo de seleção de artigos pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Relatos identificados, excluídos e selecionados



Fonte: Autor (2021)

Análise e categorização dos dados

Os artigos selecionados foram lidos na íntegra e os dados foram extraídos. Nesta etapa foi realizada uma avaliação crítica das informações coletadas, comparando-as e destacando tópicos importantes. Apoiando-se nos dados extraídos, foi realizada uma análise detalhada para que fosse possível responder as questões de pesquisa do artigo.

A análise dos dados seguiu um ciclo de cinco fases: compilar, decompor, recompor, interpretar e concluir (YIN, 2016). Após organizar os dados de forma ordenada (fase compilar) os dados foram fragmentados em novos códigos (fase decompor). Esta decomposição utilizou a classificação das competências dos autores dos artigos. A terceira fase (recompor) facilitou o entendimento dos dados analisados, se apoiando em representação gráfica (YIN, 2016), e foi utilizada para responder a QP1. A partir da análise e decomposição do material, foi desenvolvida uma nova narrativa (YIN, 2016), parte fundamental para as discussões finais. Esta etapa de interpretação teve como base as três dimensões de competência de Durand (1998). Esta classificação foi utilizada a fim de responder a QP2.

Figura 4 - Etapas da Análise de Dados

Etapa análise de dados	Descrição da etapa	O que será feito
Compilar	Organizar os dados de forma ordenada	Leitura dos artigos Organização das informações em uma base de dados para posterior análise
Decompor	Fragmentação dos dados em novos códigos	Decompor as competências perante a classificação utilizada pelos autores dos artigos
Recompor	Análise e entendimento dos dados através de representação gráfica	Análise dos dados e classificação feita utilizando gráficos, tabelas e matriz comparativa
Interpretar	Desenvolver uma nova narrativa a qual suportará as discussões finais	Analisar a classificação feita nas etapas Decompor e Recompor comparando-as com as três dimensões de competência.
Concluir	Conclusão do estudo feito com base nas etapas anteriores	Identificar possíveis lacunas na literatura analisada e propor estudos futuros

Fonte: Autor (2021)

A última fase é chamada de conclusão visto que exige a apresentação e conclusão do estudo feito, baseado nas etapas anteriores (YIN, 2016). Este detalhamento pode ser visto de forma agrupada na Figura 4.

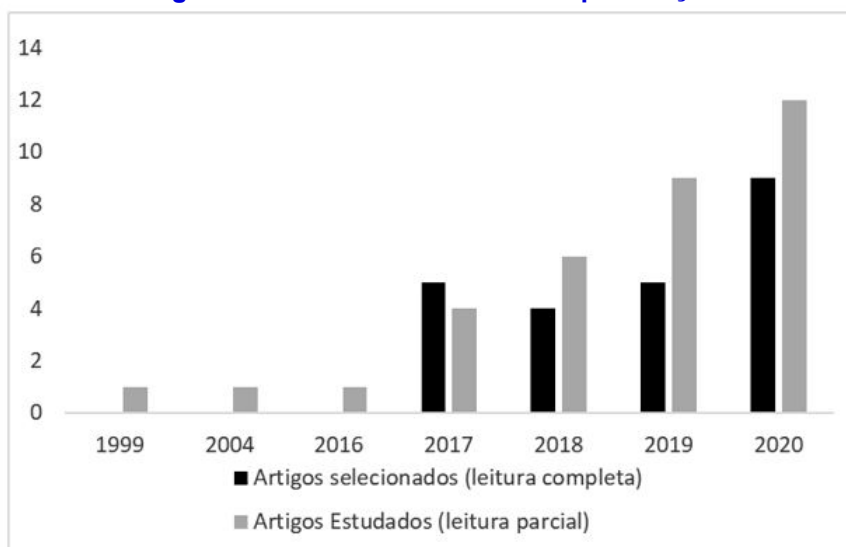
RESULTADOS ENCONTRADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados da análise dos artigos selecionados a partir da revisão sistemática. É apresentado inicialmente, uma visão geral da literatura selecionada. As subseções a seguir têm como objetivo responder as questões de pesquisa deste artigo.

Visão geral da literatura selecionada

Foi realizada uma análise dos estudos considerando o ano de publicação e os periódicos publicados. Na Figura 5 é possível identificar o ano de publicação dos estudos analisados na etapa de leitura parcial e os estudos selecionados para leitura completa e análise.

Figura 5 – Estudos versus ano de publicação



Fonte: Autor (2021)

Percebe-se que existe uma concentração maior de estudos a partir do ano de 2017; isso pode ser justificado visto que a I4.0 possui um importante aumento nas pesquisas a partir de 2015 (JERMAN; PEJIĆ BACH; BERTONCELJ, 2018). Este estudo pode ser considerado relevante e atual, visto que 70% dos artigos selecionados para leitura completa foram publicados entre 2019 e 2020. No Quadro 1 é possível visualizar informações dos artigos utilizados na revisão sistemática. A numeração dos artigos foi feita seguindo o ano de publicação.

Competências necessárias para alavancar a Indústria 4.0

A partir da revisão sistemática de literatura, foram identificadas 108 competências. Diversas competências eram citadas de forma similar, tal como “capacidade de apresentação e comunicação” citada por Prifti *et al.* (2017) e “a capacidade de se comunicar” citada por Jerman, Pejić Bach e Bertonselj (2018). A fim de apresentar uma lista compilada, estas competências foram analisadas e agrupadas conforme similaridade, resultando em uma lista com 21 competências necessárias para a Indústria 4.0.

A I4.0 está transformando a produção, logística, comunicação e o gerenciamento de recursos humanos (BIANCO, 2020). Isto influencia na determinação de habilidades e conhecimentos necessários para os futuros profissionais (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020). Ao analisar as competências mais citadas é possível verificar que a I4.0 está impondo uma mudança de paradigma em relação às estruturas organizacionais e funções humanas e atividades (FLORES; XU; LU, 2020). Isto pode ser conectado a consideração de competências pessoais, emocionais e sociais em praticamente todos os artigos consultados (Figura 7). Além das competências e habilidades técnicas, as habilidades sociais são fundamentais e incluem por exemplo, aprendizado constante, liderança e comunicação (FLORES; XU; LU, 2020; RA *et al.*, 2019; VELJKOVIĆ *et al.*, 2020). Isto reforça o posicionamento de que estas competências são fundamentais para que os funcionários mantenham seus empregos do futuro (FLORES; XU; LU, 2020). A competência classificada como inteligência emocional é considerada importante atrelada ao desenvolvimento humano. Além disso, pessoas com alto grau de inteligência emocional alcançam melhores índices de realizações e desempenho (VELJKOVIĆ

Quadro 1 - Estudos analisados na Revisão Sistemática

Nº	Autores	Ano de Publicação	Título	Periódico
1	Olga López Ríos; Leopoldo Julian Lechuga López; Gisela Lechuga López	2020	A comprehensive statistical assessment framework to measure the impact of immersive environments on skills of higher education students: a case study	International Journal on Interactive Design and Manufacturing
2	Marcela Hernandez-deMenendez; Carlos A. Escobar Díaz; Ruben MoralesMendez	2020	Engineering education for smart 4.0 technology: a review	International Journal on Interactive Design and Manufacturing
3	Silvia Fareri; Gualtiero Fantoni; Filippo Chiarello; Elena Coli; Anna Binda	2020	Estimating Industry 4.0 impact on job profiles and skills using text mining	Computers in Industry
4	K. Sumitha P.N. Kannan; Alaa Garad	2020	Competencies of quality professionals in the era of industry 4.0: a case study of electronics manufacturer from Malaysia	International Journal of Quality & Reliability Management
5	Emmanuel Flores; Xun Xu and Yuqian Lu	2020	Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0	Journal of Manufacturing Technology Management
6	Michael Igielski	2020	Manager's competence model in the face of new economic challenges – research report	Management
7	Slavica Mitrović Veljković; Ana Nešić; Branislav Dudić; Michal Gregus; Milan Delić; Maja Meško	2020	Emotional Intelligence of Engineering Students as Basis for More Successful Learning Process for Industry 4.0	Mathematics
8	Sungsup Ra; Unika Shrestha; Sameer Khatiwadab; Seung Won Yoon; Kibum Kwon	2019	The rise of technology and impact on skills	International Journal of Training Research
9	Shanti Jagannathan; Sungsup Ra; Rupert Maclean	2019	Dominant recent trends impacting on jobs and labor markets - An Overview	International Journal of Training Research
10	Tatyana Kolmykova; Ekaterina Merzlyakova	2019	Human role in the modern robotic reproduction development	Economic Annals-XXI
11	Lara Agostini; Roberto Filippini	2019	Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0	European Journal of Innovation Management
12	I. Karsten; M. van der Merwe; K. Steenekamp	2019	Empowering accounting students to enhance the self-determination skills demanded by the fourth industrial revolution	South African Journal of Higher Education
13	Yasmine Tomasella Rodrigues. Juliano Endrigo Sordan	2019	Competências emergentes na Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura	Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho
14	Benito Echeverría Samanes; Pilar Martínez Clares	2018	Revolution 4.0, Skills, Education, and Guidance	Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria
15	Birgit Oberer; Alptekin Erkollar	2018	Leadership 4.0: Digital Leaders in the Age of Industry 4.0	International Journal of Organizational Leadership

16	Andrej Jerman; Mirjana Pejić Bach; Andrej Bertoncelej	2018	A Bibliometric and Topic Analysis on Future Competences at Smart Factories	Machines
17	Steffen Kinkel; Brita Schemmann; Ralph Lichtner	2017	Critical Competencies for the Innovativeness of Value Creation Champions: Identifying Challenges and Work-integrated Solutions	Procedia Manufacturing
18	Stephan Simonsa; Patrick Abéa; Stephan Nesper	2017	Learning in the AutFab – the fully automated Industrie 4.0 learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt	Procedia Manufacturing
19	Hugo Karre; Markus Hammera; Mario Kleindienst; Christian Ramsauer	2017	Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology	Procedia Manufacturing
20	Loina Prifti; Marlene Knigge; Harald Kienegger; Helmut Krčmar	2017	A Competency Model for “Industry 4.0” Employees	13th International Conference on Wirtschaftsinformatik
21	Fabian Hecklau; Ronald Orth; Florian Kirschun, Holger Kohl	2017	Human Resources Management: Meta-Study - Analysis of Future Competences in Industry 4.0	Proceedings 13th European Conference on Management Leadership and Governance (ECMLG)
22	Fabian Hecklausa; Mila Galeitzke; Sebastian Flachsa; Holger Kohl	2016	Holistic approach for human resource management in Industry 4.0 Fabian	Procedia CIRP

Fonte: Autor (2021)

Figura 6 – Competências necessárias para a I4.0

Competência	Autores											
	2	5	7	8	9	10	13	14	16	20	21	22
Resolução de problemas	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Capacidade de aprendizado	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
Apresentação e comunicação	x	x			x		x	x	x	x	x	x
Trabalhar em equipe	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x
Conhecimento big data, estrutura de rede e Segurança Cibernética	x	x				x	x		x	x	x	x
Tomada de decisões	x						x	x	x	x	x	x
Criatividade	x							x	x	x	x	x
Liderança	x	x						x		x	x	x
Codificação /programação	x	x					x		x		x	x
Capacidade analítica	x				x	x		x				
Flexibilidade	x	x						x		x	x	
Motivação		x		x			x		x			x
Compreensão do processo	x	x					x		x		x	
Adaptabilidade				x	x				x	x		
Inteligência emocional					x	x		x		x		
Trabalhar sob pressão	x						x		x			x
Conhecimento e análise de dados			x				x	x		x		
Alfabetização			x						x		x	
Cooperação	x						x					x
Pensamento crítico				x					x		x	
Capacidade de gestão							x		x		x	

Fonte: Autor (2021)

A capacidade de *resolver problemas* é apontada como crucial para o aprendizado e a obtenção de melhores resultados (RA *et al.*, 2019); além de estar relacionada com a otimização de processos e tomada de decisão em tempo real (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020). Conectado com esta competência, a *tomada de decisão* ganha nova importância na I4.0 (HECKLAU *et al.*, 2017). *Capacidade de aprendizado e criatividade* também são enfatizados. Com a era tecnológica, as tarefas rotineiras são reduzidas alterando

a natureza do trabalho; ou seja, *o aprendizado contínuo, vontade de aprender, flexibilidade e adaptação* aos novos cenários são fundamentais (FLORES; XU; LU, 2020; HECKLAU *et al.*, 2017; RA *et al.*, 2019; VELJKOVIĆ *et al.*, 2020). A *comunicação e cooperação* estão atreladas ao trabalho eficiente e dinâmico necessário na I4.0. Tarefas estratégicas as quais exigem maior responsabilidade tendem a crescer e *competências de liderança, trabalho em equipe, capacidade de gestão e pensamento crítico* são fundamentais (HECKLAU *et al.*, 2016, 2017; PRIFTI *et al.*, 2017; RODRIGUES; SORDAN, 2019).

Outro tópico relevante é conhecimento sobre *big data, estrutura de rede e segurança cibernética*. Hernandez-de-Menendez, Díaz e Morales-Menendez (2020) ressalta que os novos currículos devem considerar tópicos que envolvem o ambiente da I4.0. Este conjunto de habilidades desejadas inclui codificação/programação, cibersegurança, redes digitais, análise de dados, computação em nuvem e gerenciamento das tecnologias da I4.0, tais como impressão 3D, simulação e realidade aumentada e virtual (FLORES; XU; LU, 2020; PRIFTI *et al.*, 2017).

Classificação das competências necessárias para alavancar a Indústria 4.0

O conceito de competência emerge na literatura nos anos 1990. Desde então, muitos modelos de competências foram desenvolvidos (FLEURY; FLEURY, 2001; LE DEIST; WINTER-TON, 2005; PRIFTI *et al.*, 2017). A pesquisa feita por Durand (1998) apresenta três dimensões de competências relacionadas à aprendizagem individual: conhecimento, habilidades e atitudes. Essas dimensões são contempladas em diversos modelos existentes (FLEURY; FLEURY, 2001; LE DEIST; WINTER-TON, 2005; PRIFTI *et al.*, 2017). O conhecimento está relacionado à compreensão do mundo através de interpretações. Contempla acessar dados, transformá-los em informações aceitáveis e integrá-los com esquemas já existentes. As habilidades estão conectadas ao agir de forma concreta e de acordo com os objetivos e processos existentes; está relacionada com a capacidade de aplicar e fazer uso produtivo do conhecimento. A atitude muitas vezes é negligenciada pelas organizações, e está relacionada com a execução e aplicação das habilidades e conhecimentos (DURAND, 1998, 2000). Estas dimensões possuem subdimensões, as quais podem ser vistas na Figura 7.

Figura 7 – Dimensões de competência

Dimensão de Competência.	Relação com o saber	Subdimensão
Conhecimento É a compreensão do mundo através de interpretações. Contempla acessar dados, transformá-los em informações aceitáveis e integrá-los com esquemas já existentes	Saber algo	Saber o quê Está relacionado ao saber fazer, por meio de intuição.
		Saber por que Representa a expertise do conhecedor e com a visão estratégica.
Habilidade Agir de forma concreta e de acordo com os objetivos e processos existentes.	Saber fazer	Tecnologias Baseada na ciência com explicações claras de por que funciona.
		Técnicas Essencialmente empíricas. Pouca compreensão de porquê funciona.
		Habilidades Capacidades processuais individuais e coletivas.
Atitude Execução e aplicação das habilidades e conhecimentos	Querer fazer	Comportamento Saber como se comportar perante a uma determinada situação.
		Determinação Vontade e empenho perante a uma situação.
		Cultura Identidade da organização.

Fonte: Adaptado de (Durand, 1998, 2000)

Visando responder a QP2, esta sessão apresenta as classificações utilizadas para as competências necessárias para a I4.0 e uma análise perante as dimensões de competências desenvolvidas por Durand (1998). O fácil entendimento bem como a ampla popularidade das definições de competência apresentadas por Durand, foram considerados para a escolha deste modelo como base de análise do artigo. Porém, é possível identificar uma limitação dos estudos perante esta classificação, visto que nenhum dos estudos analisados utilizou na totalidade as dimensões de competência (conhecimento, habilidade e atitude). Os autores abordam diferentes classificações para competências e habilidades. Hernandez-de-Menendez, Díaz e Morales-Menendez (2020) cita que os profissionais precisam ter conhecimento e habilidades para enfrentar um sistema altamente tecnológico e interconectado. Apresenta habilidades sociais tais como, liderança, comunicação, flexibilidade, adaptabilidade, equipe trabalho e tomada de decisão. Porém, os autores não explicitam a diferença entre conhecimento e habilidade; e utilizam as classificações de competências técnicas, metodológicas, sociais e pessoais. Ríos, López e López (2020) definem habilidades como “a integração consciente de conhecimentos, vantagem, habilidades, atitudes e valores, os quais permitem o indivíduo enfrentar situações estruturadas e incertas com sucesso”. Utilizam no seu estudo competências disciplinares e transversais.

Flores et. al (2020) apresenta competência como “combinação de atributos, habilidades, conhecimento e experiência de uma pessoa, que são necessários para o desempenho papéis na vida e no trabalho”. Detalha as diferenças entre as diversas classificações de habilidades. Utiliza o termo “*hard skill*” para conhecimento especializado em uma determinada ocupação, as quais requerem destreza especial, treinamento ou experiência (compreensão de padrões, técnicas de resolução de problemas, configurações de rede digital, segurança digital e codificação ou programação).

Igielski (2020) define competências como disposições individuais na área de conhecimento, habilidades e atitudes que permitem desempenhar as funções profissionais no nível esperado. Apresenta as competências em ordem de prioridade, mas sem classificação específica. Veljkovic *et al.* (2020) relaciona as competências às características pessoais dos funcionários que podem englobar conhecimento, inteligência emocional, habilidades ou métodos de trabalho. Ra *et al.* (2019) analisa as habilidades cognitivas, como pensamento crítico, análise e resolução de problemas; habilidades sociais e pessoais (motivação, curiosidade, trabalho em equipe, coragem, resiliência). Defende que as habilidades pessoais, melhoram a aprendizagem e promovem o desenvolvimento das habilidades cognitivas.

Na Figura 7 é possível verificar as diferentes classificações utilizadas para as competências necessárias para a I4.0, o que pode demonstrar uma falta de uniformização entre os autores (JERMAN; PEJIĆ BACH; BERTONCELJ, 2018).

Figura 8 – Classificação utilizada para as competências apresentadas

Classificação utilizada	Autores											
	2	5	7	8	9	10	13	14	16	20	21	22
Competências amplas		x					x					
Competências digitais		x				x	x					
Competências metodológicas	x						x		x		x	x
Competências Pessoais, Humanas e Emocionais	x	x	x		x		x		x	x	x	x
Competências Sociais	x	x					x		x		x	x
Competências técnicas	x						x	x	x	x	x	x
Habilidades básicas									x		x	
Habilidades Cognitivas		x		x	x				x			
Habilidades Digitais		x		x								
Habilidades Sociais				x	x				x			
Habilidades técnicas					x							

Fonte: Autor (2021)

Competências Pessoais, Humanas e Emocionais foi a classificação mais utilizada, e inclui capacidade de aprendizado, adaptabilidade, flexibilidade, motivação e trabalhar sob pressão. A classificação competências sociais é destaque entre os autores. Representa a habilidade de apresentação e comunicação, cooperação, trabalho em equipe e liderança (FLORES; XU; LU, 2020; HECKLAU *et al.*, 2016, 2017; HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; JERMAN; PEJIĆ BACH; BERTONCELJ, 2018; PRIFTI *et al.*, 2017; RODRIGUES; SORDAN, 2019; VELJKOVIĆ *et al.*, 2020)

Competências técnicas também foi uma classificação utilizada em abrangência; e inclui conhecimento big data, estrutura de rede e segurança cibernética, codificação/programação, compreensão do processo e resolução de problemas (HECKLAU *et al.*, 2016, 2017; HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; JERMAN; PEJIĆ BACH; BERTONCELJ, 2018; PRIFTI *et al.*, 2017). A classificação competências metodológicas foi utilizada por cinco autores e se referem a criatividade, resolução de problemas, tomada de decisão e capacidade analítica (HECKLAU *et al.*, 2016, 2017; HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; JERMAN; PEJIĆ BACH; BERTONCELJ, 2018; RODRIGUES; SORDAN, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo entender quais as competências necessárias para suportar a I4.0 e suas classificações. A I4.0 mudou e continuará mudando a produção, tecnologia, competências e o perfil de trabalho. Através da revisão sistemática de literatura este artigo apresenta contribuições teóricas na lista de futuras competências. É importante que os profissionais fiquem atentos a estas competências, visando atender as necessidades do mercado de trabalho. Da mesma maneira, é importante que as empresas estejam atentas às suas necessidades, para que desta forma tenham profissionais capacitados e que agreguem valor à organização. Quanto à classificação das competências, é possível identificar uma lacuna na padronização das classificações. Como pesquisas futuras, sugere-se uma análise mais profunda das classificações e

competências perante às dimensões de competências de Durand. Isto possibilitaria uma lista das competências necessárias para a I4.0 classificadas em conhecimento, habilidades e atitudes.

REFERÊNCIAS

BIANCO, Débora. Competências da liderança no lean manufacturing e na indústria 4.0: identificação e relacionamentos. *SELL Journal*, v. 5, n. 1, p. 55, 2020.

DURAND, Thomas. Forms of incompetence. In: , 2000. *Proceedings Fourth International Conference on Competence-Based Management*. Oslo: Norwegian School of Management. 2000.

DURAND, Thomas. The alchemy of competence. *Strategic Flexibility*, p. 303–330, 1998.

FLEURY, Maria Tereza Leme; FLEURY, Afonso. Construindo o conceito de competência. *Revista de administração contemporânea*, v. 5, n. SPE, p. 183–196, 2001.

FLORES, Emmanuel; XU, Xun; LU, Yuqian. Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 31, n. 4, p. 687–703, 2020.

HALLINGER, Philip. A conceptual framework for systematic reviews of research in educational leadership and management. *Journal of Educational Administration*, Porto Alegre, v. 51, n. 2, p. 126–149, 2013.

HECKLAU, Fabian *et al.* Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. *Procedia Cirp*, v. 54, p. 1–6, 2016.

HECKLAU, Fabian *et al.* Human resources management: Meta-study-analysis of future competences in Industry 4.0. In: , 2017. *Proceedings of the International Conference on Intellectual Capital, Knowledge Management & Organizational Learning*. [S. l.: s. n.], 2017. p. 163–175.

HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, Marcela; DÍAZ, Carlos A Escobar; MORALES-MENENDEZ, Ruben. Engineering education for smart 4.0 technology: a review. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, v. 14, n. 3, p. 789–803, 2020.

IGIELSKI, Michał. Managers competence model in the face of new economic challenges-research report. v. 24, n. 1, p. 114–12, 2020.

JERMAN, Andrej; PEJIĆ BACH, Mirjana; BERTONCELJ, Andrej. A bibliometric and topic analysis on future competences at smart factories. *Machines*, v. 6, n. 3, p. 1–13, 2018.

LE DEIST, F D; WINTERTON, J. What is competence? *Human resource development international*. v. 8, n. 1, 2005.

MOHER, D *et al.* Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement (Reprinted from *Annals of Internal Medicine*). *Physical Therapy*, v. 89, n. 9, p. 873–880, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

PRIFTI, Loina *et al.* A Competency Model for” Industrie 4.0” Employees. In: , 2017. *13th International Conference on Wirtschaftsinformatik*. 2017. p. 46–60.

RA, Sungsup *et al.* The rise of technology and impact on skills. *International Journal of Training*

Research, v. 17, n. sup1, p. 26–40, 2019.

RÍOS, Olga López; LÓPEZ, Leopoldo Julian Lechuga; LÓPEZ, Gisela Lechuga. A comprehensive statistical assessment framework to measure the impact of immersive environments on skills of higher education students: a case study. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, v. 14, n. 4, p. 1395–1410, 2020.

RODRIGUES, Yasmine Tomasella; SORDAN, Juliano Endrigo. COMPETÊNCIAS EMERGENTES NA INDÚSTRIA 4.0. In: , 2019. SITEFA-Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho. [S. l.: s. n.], 2019. p. 307–317.

RÜSSMANN, Michael *et al.* Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, v. 9, n. 1, p. 54–89, 2015.

SCHNEIDER, P. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. *Review of Managerial Science*, hlm. Vol. 12. *Review of Managerial Science*, v. 12, n. 3, p. 803–848, 2018.

VELJKOVIĆ, Slavica Mitrović *et al.* Emotional Intelligence of Engineering Students as Basis for More Successful Learning Process for Industry 4.0. *Mathematics*, v. 8, n. 8, p. 1321, 2020.

WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 37, p. 517–527, 2015.

WOHLIN, Claes. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: , 2014. *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering*. 2014. p. 1–10.

YIN, Robert K. *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Porto Alegre: Penso Editora, 2016.

Análise comparativa de ferramentas líderes de Business Intelligence

*Ravenna Lins Rodrigues
Cecir Barbosa de Almeida Farias
João Vitor da Silva Alves
Rodrigo Silva de Moura
Pedro Florêncio Almeida Lima*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.5

RESUMO

Os empreendimentos modernos estão cada vez mais buscando soluções na qual otimizem seus sistemas para uma melhor tomada de decisão, aliado a isso as novas tecnologias têm apresentado softwares que propiciam uma análise rápida e segura através de dados interativos e de fácil compreensão. Nesse aspecto, configura-se como de grande importância a definição dos parâmetros e de métodos de avaliação dos indicadores de Business Intelligence, de forma a permitir estabelecer análises comparativas que possibilitem gerar informações para tomadas de decisões e, com isto, conduzir a uma relação mais equilibrada para os ambientes da produção. Com isso o presente estudo busca fazer uma análise sobre as ferramentas de Business Intelligence líderes no mercado e através deste estudo desenvolver um Dashboard funcional, moderno, e de fácil entendimento, para que a empresa beneficiada possa notar as diferenças e vantagens que tal ferramenta pode proporcionar nas tomadas de decisões do cotidiano conturbado das grandes e médias empresas. O trabalho demonstrou diversas limitações e comparativos entre as três ferramentas líderes, Power BI, Tableau e Qlik; levando a indagações que resultaram em estudo de características a fim de determinar a melhor escolha de ferramenta para cada tipo de trabalho a ser realizado.

Palavras-chave: business intelligence. quadrante mágico do Gartner. Power BI. Tableau. Qlik.

ABSTRACT

Modern enterprises are increasingly looking for solutions that optimize their systems for better decision-making, combined with this, new technologies have presented software that provides a quick and safe analysis through interactive and easy to understand data. In this aspect, the definition of parameters and evaluation methods of Business Intelligence indicators is of great importance, in order to allow the establishment of comparative analyzes that make it possible to generate information for decision-making and, with this, lead to a relationship more balanced for production environments. With this, the present study performs an analysis on the leading Business Intelligence tools in the market and through this study, it develops a functional, modern and easy to understand Dashboard, so that the benefited company can perceive the differences and advantages that such a tool can provide. in decision-making in the troubled daily life of large and medium-sized companies. The work showed several limitations and comparisons between three market leading tools: Power BI, Tableau and Qlik, leading to inquiries that resulted in a study of characteristics in order to determine the best choice of tool for each type of work to be performed.

Keywords: business intelligence. Gartner magic quadrant. Power BI. Tableau. Qlik.

INTRODUÇÃO

A globalização exacerbada e a volátil evolução das tecnologias têm exigido das organizações novos comportamentos para que estas alcancem destaque em um mercado cada vez mais competitivo. A tomada de decisão é um processo constante dentro das organizações e para que tais decisões sejam tomadas da forma mais assertiva possível, o conhecimento estratégico de negócio tem sido fundamental (FREITAS, 2017).

Nesse contexto, as ferramentas de BI têm se apresentado como um diferencial no desenvolvimento das organizações, visto que suas aplicações são capazes de coletar, organizar, analisar e compartilhar dados, transformando-os em informações que geram conhecimentos até então implícitos (MORUMBI e STEFANINI, 2017), tanto sobre o próprio negócio, quanto do mercado e até mesmo de concorrentes, além de fornecer suporte no processo decisório (BERNARDINO, FIGUEIREDO e LAPA, 2014). Tal conhecimento é o resultado do acúmulo de dados de uma organização em três níveis de negócios: operacional, tático e estratégico.

De acordo com um estudo da Forbes Insights (2016), baseado em entrevistas com executivos de TI e de negócios, cerca de 60% das organizações planejam aumentar seus investimentos em ferramentas de BI pois acreditam que a análise de dados pode gerar “informações valiosas”. Além disso, 54% dos entrevistados relataram que a visualização dos dados de sua organização era um diferencial estratégico.

É válido salientar que antes de tomar uma decisão sobre qual ferramenta utilizar é importante determinar os objetivos da empresa, bem como, ter conhecimento prévio sobre a abordagem da ferramenta, isto é, se essa fornece mais subsídio em análise ou apresentação de dados, visto que existem plataformas com maior foco em determinados aspectos (ROST, 2016).

Dessa forma, a Gartner, empresa desenvolvedora do termo “*Business Intelligence*”, dedica-se a pesquisas que possuem um alto nível de aceitação. O Quadrante Mágico do Gartner é um estudo que compreende uma série de relatórios de pesquisa de mercado, publicados regularmente pela empresa de consultoria de TI Gartner (DA SILVA, 2022). Esta é uma representação gráfica e temporal do mercado tecnológico, que avalia provedores de tecnologia para as mais diversas aplicações, além de propiciar uma visão ampla sobre o mercado, sobre as tendências, mas também sobre a evolução das tecnologias.

Diante do contexto abordado, o presente estudo objetivou elucidar a relevância da implementação de BI como alicerce na tomada de decisão estratégica, bem como, fornecer subsídio às organizações na escolha de ferramentas de BI. Para tal, foram selecionadas as ferramentas eleitas líderes de mercado de acordo com o quadrante mágico de Gartner do ano de 2021.

BUSINESS INTELLIGENCE

O termo “*Business Intelligence*” refere-se à inteligência de negócios. Para De Castro e Da Silva (2018), a inteligência de negócios visa fornecer suporte sustentável e contínuo às empresas, buscando maximizar sua competitividade por meio da obtenção de informações eficazes para tomadas de decisões assertivas. Dessa forma, por meio do uso de tecnologias e métodos apropriados, os dados são transformados em informações e posteriormente em conhecimento, sendo este o processo básico da inteligência de negócios.

O BI utiliza dados históricos já existentes nas organizações para entender o que aconteceu, compreender o que está acontecendo e para apoiar na construção das estratégias futuras. Neste cenário o BI:

[...] refere-se às aplicações e tecnologias para consolidar, analisar e oferecer acesso a grandes quantidades de dados, para ajudar os usuários a tomar melhores decisões empresariais e estratégicas. As aplicações de BI oferecem visões históricas, atuais e previsíveis das operações de negócio (RAINER; CEGIELSKI, 2015).

Pode-se dizer que a excessiva quantidade de dados armazenados nas organizações dificulta a extração de informações táticas e estratégicas para o processo decisório. Neste contexto, torna-se evidente que uma solução para resolver esse problema, é utilizar o BI para extrair e integrar os dados de múltiplas fontes e transformá-los em informações úteis.

Os autores, supracitados acima, relatam que através do BI é possível trabalhar com uma grande quantidade de dados e que suas aplicações oferecem visões históricas e atuais para auxiliar os usuários a tomar decisões baseadas em fatos.

Existem diversas definições para Inteligência de Negócios, e uma das mais aceitas vem do Gartner: “um termo abrangente que inclui os aplicativos, infraestrutura e ferramentas e as melhores práticas que permitem o acesso e análise de informações para melhorar e otimizar decisões e desempenho (FORBES INSIGHTS, 2016).

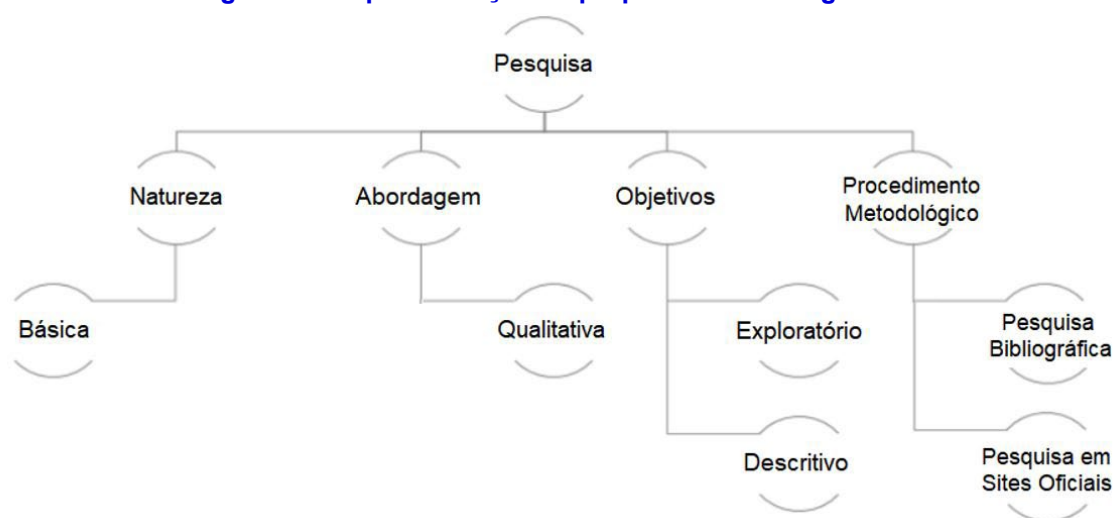
METODOLOGIA

Tipo de Pesquisa

A presente pesquisa configura-se como de natureza básica. A abordagem utilizada foi qualitativa, visto que busca compreender o comportamento das ferramentas abordadas, estudando as suas particularidades e experiências individuais, entre outros aspectos com o propósito de descrever, analisar e explicar o objeto de estudo. Quanto aos objetivos, a pesquisa é considerada como um estudo exploratório e descritivo. Em relação aos procedimentos metodológicos, este contou com uma pesquisa bibliográfica.

Também se utilizou como fonte de pesquisa os sites das ferramentas citadas, para que então, com base nas informações fornecidas pelos fabricantes e desenvolvedores das ferramentas para que fosse possível fazer uma demonstração das principais características. A Figura 1 apresenta a esquematização do processo metodológico adotado.

Figura 1 - Esquematização da proposta metodológica



Fonte: Autoria Própria (2022)

Etapas da Pesquisa

Inicialmente realizou-se uma pesquisa por meio do relatório de Gartner do ano de 2021, onde verificou-se no quadrante mágico, as ferramentas contempladas como líderes de mercado. Em seguida, sucedeu-se uma análise comparativa através do *Google Trends* visando, por meio da popularidade de buscas, comparar o interesse do público pelas ferramentas.

Foi realizada, também, uma análise comparativa das características das ferramentas identificadas como líderes de mercado, tendo em vista, uma melhor compreensão das particularidades de cada uma das ferramentas. Ao fim da análise comparativa, foram abordadas algumas considerações sobre cada ferramenta, tendo em vista contribuir para trabalhos que buscam auxílio no processo de escolha da ferramenta que melhor se adequa aos objetivos do estudo, bem como ao perfil do utilizador.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise comparativa entre ferramentas líderes no mercado de BI

O relatório de *Gartner* consolida a visão de especialistas, gestores, mas também de clientes avaliando o mercado, a evolução das tecnologias e a necessidade das organizações. Sobre este cenário, o relatório analisa os principais fornecedores de tecnologia sobre aspectos como: pontos fortes da plataforma/tecnologia, pontos fracos da plataforma/tecnologia, modernização e visão do mercado, capacidade de entrega, suporte e por fim, apoio aos clientes.

O mercado mundial de ferramentas de software de BI e *Analytics* é composto de três segmentos principais: (1) consulta (query) pelos utilizadores finais, relatórios (*reporting*) e ferramentas de análise; (2) ferramentas de análise avançada e preditiva; (3) e ferramentas de análise de conteúdo. Dentro destes segmentos de mercado existe uma gama diversificada de ferramentas para dar resposta a soluções específicas (VESSET et.al., 2016).

Segundo Gomes (2016), o Quadrante Mágico de Gartner divide as ferramentas em quatro grupos segundo suas avaliações e pontuações obtidas, da seguinte forma: quadrante superior direito estão localizados os líderes (leaders); quadrante inferior direito os visionários (visionaries); quadrante superior esquerdo os desafiadores (challengers) e quadrante inferior esquerdo fornecedores de nicho (niche players), porém estar presente em qualquer dos quadrantes já indica que a empresa é uma referência mundial no tipo de solução que desenvolve e fornece.

De acordo com o Quadrante Mágico de 2021, apresentado na Figura 2, as plataformas líderes de BI e Analytics baseadas no grau de execução e visão foram a Microsoft, Tableau e Qlik. Estar no quadrante “Líderes” significa que estes oferecem melhores resultados e competitividade, sendo assim os líderes de mercado.

Figura 2 - Quadrante mágico de Gartner para plataformas de análise e inteligência de negócios



Fonte: Microsoft (2021)

Quanto mais alto e mais para a direita da imagem a ferramenta estiver posicionada, esta será a que possui maior habilidade para ser executada e maior integridade de visão. É possível constatar, na Figura 2, que a Microsoft (com o Power BI) posicionado no quadrante dos líderes é o mais visionário dos softwares e que possui maior capacidade de execução, características que podem explicar o acelerado crescimento do mercado. O relatório mais recente da Gartner 2021, apresenta o reflexo desse crescimento reconhecendo pelo 14º ano consecutivo a Microsoft como líder no quadrante mágico de 2021 para plataformas de análise e inteligência de negócios, fato que atesta a sustentabilidade desta ferramenta. Logo atrás da Microsoft apresenta-se a plataforma Tableau, também reconhecida como líder, pelo nono ano contínuo, bem como a Qlik que tem se apresentado como líder no Quadrante Mágico pelo 11º ano consecutivo.

Apesar da quantidade de soluções disponíveis no mercado e a indicação das líderes, as melhores ferramentas são aquelas que se adequam à realidade da organização, de forma simples e completa, buscando atender às necessidades e particulares, bem como alcançar os melhores resultados.

A subseção 4.2 apresenta a popularidade das ferramentas líderes de BI no Brasil e no Mundo, a partir dos resultados obtidos por meio de buscas no Google Trends.

Popularidade no Google Trends

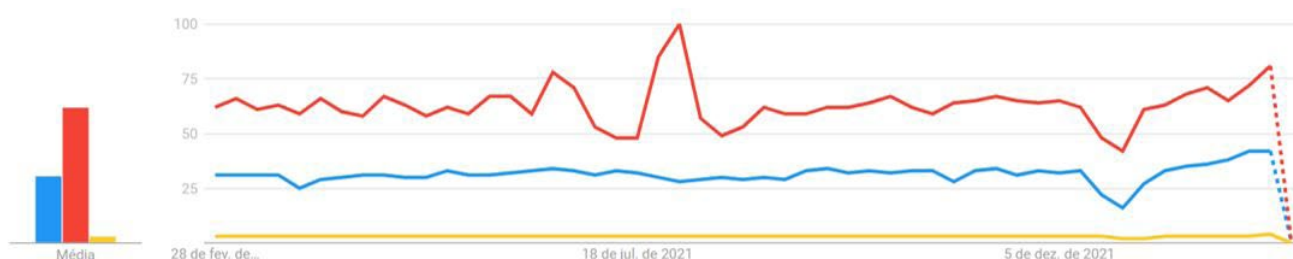
O Google Trends é um site cujo principal objetivo é realizar comparações de diversos assuntos e apresentar tendências de interesses, com base na quantidade de buscas e na popularidade dos termos e assuntos. Todas essas informações vêm da base de dados de pesquisas do Google. O termo ou assunto mais pesquisado significa tendência de mercado por ser popular.

Neste sentido, o Google Trends foi utilizado para triagem e comparação das três ferramentas líderes de BI: Power BI, Tableau e Qlik. Atualmente o Power BI possui maior popularida-

Apesar das ferramentas Tableau e Qlik possuírem maior popularidade em alguns estados, de forma geral, todas as regiões do Brasil apresentaram o Power BI como a de maior popularidade. No Apêndice 1 é possível observar a pontuação que cada ferramenta teve em relação a cada região.

No mundo, quem domina é o Tableau, com destaque em toda América do Norte. Enquanto, o Power BI apresenta metade da popularidade do Tableau, sendo predominante na América do Sul. O Qlik, por sua vez, apresenta graficamente uma linearidade com uma média baixa de buscas. Na figura 5 é possível visualizar de forma comparativa a disposição gráfica dessas ferramentas.

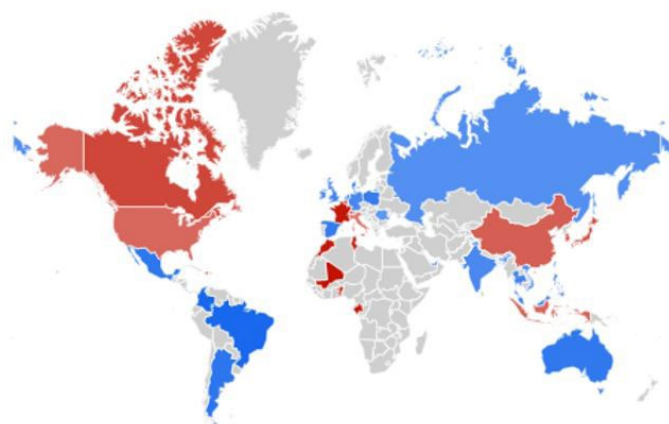
Figura 5 - Comparação entre os software Power BI, Tableau e Qlik no Mundo



Fonte: Google Trends (2022)

Figura 6 - Amostragem das regiões do Mundo com relação ao Power BI, Tableau e Qlik

● power bi ● tableau ● qlik



Fonte: Google Trends (2022)

Na figura 6 é apresentado o interesse, por países do mundo, nas ferramentas Power BI representado na cor azul, Tableau referenciado pela cor vermelha e o Qlik representado pela cor amarelo.

Análise Comparativa das Características das Ferramentas

Nesta subseção estão descritas algumas características dos softwares. As três ferramentas selecionadas são fortes concorrentes umas das outras e existe uma crescente atenção para equiparar funcionalidades. Partindo do princípio que todas tendem a igualar-se em funcionalidades de modo a reduzir a vantagem competitiva alheia, buscou-se comparar características de cada ferramenta, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das Ferramentas Líderes de BI

Nome	Software	Sistema Operacional	Licença	Escalabilidade	Extensibilidade	Versão Mais Recente e Data
Power BI	-Aplicação Desktop; -Aplicação Web	-Windows 7 -Windows Server 2008; -R2 ou posterior; -Dispositivos móveis: iOS, Android, Windows	-Comercial; -Versão gratuita	+++ Apache Hive, MongoDB, Teradata, etc.	-REST API; -JavaScript API;	2.102.683.0 17 de fevereiro de 2022
Tableau	-Aplicação Desktop; -Aplicação Web	-Windows 7 -Windows Server 2008 -R2 ou posterior; Dispositivos móveis: iOS, Android, Windows	-Comercial; -Software proprietário; -Versão trial por 14 dias	++ Apache Hive NoSQL, etc.	-Tableau Developer Program; -REST API; -JavaScript API;	2021.4.4 24 de fevereiro de 2022
Qlik	-Aplicação Desktop -Aplicação Web	-Windows 7 -Windows Server 2008 -R2 ou posterior; Dispositivos móveis: iOS	-Comercial; -Versão gratuita	++ MongoDB, Teradata, etc.	-API -JavaScript/COM/ -QMS; -QVX SDK.	12.0.20000 20 de novembro de 2021

Fonte: Adaptado de Lousa, Pedrosa e Bernardino (2019)

1. **Software Category:** permite categorizar o tipo de software presente na plataforma. Permite diferenciar aplicações desktop (aplicações stand-alone que não necessitam de outro tipo de software auxiliar), aplicações ou serviços baseados na web, e bibliotecas de software (p.e Javascript). Nesse sentido, observou-se que as três ferramentas: Power BI, Tableau e QlikView possuem a versão desktop, bem como a aplicação web.
2. **Sistema Operacional:** sistema operativo em que a plataforma opera (p.e., Linux, Mac OS, Windows), ou se apenas opera na web. Identificou-se Windows: Windows 8.1 / Windows Server 2012 R2 ou posterior. Dispositivos móveis: iOS, Android e Windows. É recomendável usar uma versão cliente do Windows, como o Windows 10, em vez do Windows Server. Por exemplo, o Power BI Desktop não dá suporte ao uso da Configuração de Segurança Avançada do Internet Explorer, pois ela impedirá que o Power BI Desktop entre no serviço do Power BI (MICROSOFT., 2022). Já o Tableau tem como sistema operativo o Windows: Microsoft Windows 8/8.1, Windows 10 (x64); Mac: macOS Mojave 10.14, macOS Catalina 10.15 e Big Sur 11.4+; Dispositivos móveis: iOS e Android; Ambientes virtuais: Ambientes Citrix, Microsoft Hyper-V, Parallels e VMware. É importante ressaltar que todos os produtos da Tableau funcionam em ambientes virtualizados quando configurados com o sistema operacional Windows adequado e os requisitos mínimos de hardware. CPUs devem ser compatíveis com conjuntos de instruções SSE4.2 e POPCNT. Sendo assim, qualquer modo de Compatibilidade de Processador deve ser desativado. Quanto ao QlikView, este opera em Windows: Microsoft Windows 8.1 x64, Microsoft Windows 10 x64, Microsoft Windows Server 2012, Microsoft Windows Server 2012 R2, Microsoft Windows Server 2016, Microsoft Windows Server 2019; Dispositivos móveis: iOS e Android.
3. **Licença:** permite a diferenciação entre ferramentas comerciais e open-source respeitando várias licenças (p.e., Apache License, MIT, GNU GPL, etc); Há três tipos de licenças do Power BI por usuário: Gratuito (open-source), Pro e Premium (comerciais)

por usuário. Um usuário com uma licença gratuita só pode usar o serviço do Power BI para se conectar a dados e criar relatórios e dashboards no Meu Workspace. Eles não podem compartilhar conteúdo com outras pessoas nem publicar conteúdo em outros workspaces, como é possível através da licença Pro. Quando os workspaces estão na capacidade Premium, os usuários podem publicar conteúdo em outros workspaces, compartilhar dashboards, assinar dashboards e relatórios, compartilhar com usuários que têm uma licença Premium por usuário, além de distribuir conteúdo para usuários que têm licenças gratuitas e Pro (MICROSOFT, 2022). Já no Tableau os tipos de licença são hierárquicos. Os Creators podem acessar a funcionalidade completa do Tableau Prep Builder, Tableau Desktop e Tableau Server/Online para criar conteúdo. Os Explorers têm acesso a um subconjunto de recursos do Creator apenas por meio do Tableau Server/Online, para criar um novo conteúdo com base em fontes de dados e pastas de trabalho publicadas existentes. Os Viewers recebem um conjunto limitado de recursos com base nas necessidades de alguém que visualiza e interage apenas no Tableau Server/Online (TABLEAU, 2021). O QlikView é oferecido através de um modelo de combinação servidor e Licença de Acesso por Cliente (CAL). A Qlik oferece uma versão gratuita do QlikView para uso pessoal. Essa versão destina-se a usuários domésticos, estudantes ou pequenas empresas. O QlikView Personal Edition é o produto QlikView Desktop completo e usa o mesmo pacote de instalação (QLINK., 2021). A única diferença é o fato de que o QlikView Personal Edition é executado sem uma chave de licença. Desse modo, com o QlikView Personal Edition, não é possível usar seus documentos em outros computadores, bem como compartilhar documentos com outro usuário não registrado, além de não ser possível, também, abrir um documento QlikView de outro usuário (exceto os documentos preparados especialmente para uso pessoal pela Qlik). No entanto, os documentos criados no QlikView Personal Edition podem ser usados com uma cópia licenciada do QlikView Desktop e também podem ser publicados em um QlikView Server. Outro ponto é que os usuários do QlikView Personal Edition não têm direito ao suporte por telefone ou e-mail da Qlik, mas podem obter suporte excelente para o QlikView na comunidade de usuários. O QlikView Enterprise Edition Server é uma versão paga que foi desenvolvida para ser usada em implantações maiores e mais complexas, pois este Server tem uma série de recursos adicionais para ambientes corporativos, tais como: Não existe número máximo de licenças Named User CALs; Suporta AJAX clients e Plug-in (Java e QV); Suporta Balanço de Carga; Usuários CAL podem criar Objetos e compartilhar no Server; dentre outros benefícios (OLIVEIRA, 2014). O QlikView possui, ainda, outros tipos de licença, tais como: QlikView Small Business Edition Server – SBE; Named User CAL; Document CAL; Session CAL e Usage CAL; No entanto, as mais comuns são as citadas anteriormente. Ambas licenças têm compatibilidade com tablets e celulares tornando o licenciamento QlikView mais versátil.

4. Escalabilidade: corresponde à capacidade que as ferramentas têm de se ligarem a grandes volumes de dados (Hadoop, Teradata, etc). É utilizada a seguinte +Fraca, ++Moderada,+++Forte; O Power BI apresenta uma forte escalabilidade, pois este possui, para workspaces em capacidade compartilhada, um limite de armazenamento por workspace de 10 GB. Para workspaces na capacidade Premium há um limite de 100 TB por capacidade Premium e não há limite de armazenamento por usuário.

O Power BI pode se conectar com Apache Hive, MongoDB, Teradata, dentre outros. Já o site do Tableau possui uma escalabilidade moderada e dispõe de 100 GB de capacidade de armazenamento. As pastas de trabalho, as fontes de dados publicadas e os fluxos contam para essa capacidade de armazenamento. Este pode se conectar com o Apache Hive, NoSQL, dentre outros. O QlikView, assim como o Tableau, possui uma escalabilidade moderada. Este oferece um armazenamento em nuvem total de 500 GB. O tamanho máximo do aplicativo é 250 MB. O QlikView pode se ligar ao MongoDB, Teradata, dentre outros.

5. Extensibilidade: este critério está relacionado com os mecanismos que alargam as funcionalidades das plataformas através de add-ons ou plugins como também a capacidade de se conectar a soluções de armazenamento já existentes. Podendo assim conectar-se a Matlab ou R através dos seus conectores ou através de APIs as ferramentas podem ser melhoradas em diferentes aspectos; O Power BI permite conexão com REST API; JavaScript API; Python, R, dentre outros. Enquanto o Tableau possui extensibilidade com Tableau Developer Program; REST API; JavaScript API. Já o QlikView é extensível com API JavaScript/COM/ QMS; QVX SDK (FERNANDES, 2016).
6. Versão mais recente e data: compara as datas da última versão da ferramenta. Essa busca foi realizada em 05 de março de 2022 onde foi possível verificar que a versão mais atualizada do Power BI é a 2.102.683.0 publicada no dia 17 de fevereiro de 2022. A última versão do Tableau é a 2021.4.4 publicada no dia 24 de fevereiro de 2022. Já a versão mais recente do QlikView 12.0.20000 foi divulgada no dia 20 de novembro de 2021.

Diante da análise observa-se que se o volume de dados a utilizar for massivo e complexo será uma boa escolha a ferramenta Tableau pois permite excelentes visualizações de uma forma rápida e grande facilidade na hora de lidar com um grande volume de dados. Se o investimento reservado para esta área for reduzido e tiver um volume pouco significativo de dados, o Power BI e QlikView são as melhores escolhas.

O Power BI oferece uma versão gratuita que lida muito bem com este tipo de situações, além da versão Pro que possui a capacidade de processamento de um grande volume de dados. O QlikView por sua vez também disponibiliza de uma versão pessoal grátis que permite uma forte análise de dados.

Considerando estas situações e a análise efetuada, podemos concluir que cada ferramenta se destaca em determinados parâmetros. Estas são constantemente atualizadas tendo em vista se diferenciar diante da concorrência e assim obter vantagens competitivas. Neste sentido, a melhor ferramenta será aquela que atende as necessidades dos usuários e melhor se adequa ao projeto a ser desenvolvido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas de BI estão em constante evolução, quer seja em funcionalidades como em qualidade. Assim, foi possível observar que algumas ferramentas se destacaram mais em alguns critérios do que em outros, dessa forma o processo de seleção da ferramenta que melhor

se adequa a uma organização depende de fatores como: o investimento que a organização está disposta a efetuar, recursos humanos disponíveis, mas o mais importante será o objetivo que a ferramenta irá atender.

Por exemplo, se o volume de dados a utilizar for massivo e complexo será uma boa escolha a ferramenta Tableau pois permite excelentes visualizações de uma forma rápida e grande facilidade na hora de lidar com um grande volume de dados. Se o investimento reservado para esta área for reduzido e tiver um volume pouco significativo de dados, a Power BI e QlikView são as melhores escolhas.

O Power BI oferece uma versão gratuita que lida muito bem com este tipo de situação. A QlikView por sua vez também disponibiliza de uma versão pessoal grátis que permite uma forte análise de dados. Há ainda, a possibilidade de customizá-las utilizando mecanismos de extensibilidade, de forma complementar. Vale ressaltar a importância da observação das datas de atualização das versões, visto que esta é uma tecnologia que tem avançado com bastante rapidez.

REFERÊNCIAS

BONEL, Claudio. Power BI Black Belt: Um treinamento faça na caveira através dos principais pilares de um projeto prático de Business Intelligence, usando o Microsoft Power BI . Primeira Edição. Rio de Janeiro: Clube de Autores, 2020.

DA SILVA, Rômulo Ferreira. Utilizando Modelo Multicritério na Seleção de Dispositivo UTM (Unified Threat Management): Um Estudo de Caso. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Sorocaba, p. 75. 2022.

DE CASTRO, Lucas Medeiros; DA SILVA, Marcos Alberto Lopes. Business Intelligence (BI): Análise comparativa entre as ferramentas líderes no mercado. e-RAC, v. 8, n. 1, 2018.

FERNANDES L.C. Novidades no Qlinkview 11. 2016. Disponível em: <https://silo.tips/download/qlikviewcom-os-cinco-temas-do> Acesso em: 08/03/2022.

FORBES INSIGHTS (2016). Breakthrough Business Intelligence - How Stronger Governance Becomes a Force For Enablement. Disponível em: https://images.forbes.com/forbesinsights/qlik_bi/BreakthroughBusinessIntelligence.pdf Acesso em: 20/03/2022.

FREITAS, Danilo Ferreira de. Análise de ferramentas de business intelligence: como ferramentas open source podem reduzir custos em negócios. 2017.

Gartner Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms 2021. Microsoft, 2021. Disponível em: <https://info.microsoft.com/ww-Landing-2021-Gartner-MQ-for-Analytics-and-Business-Intelligence-Power-BI.html?LCID=EN-US>. Acesso em: 18/03/2022.

GARTNER. (2019). Analytics and Business Intelligence (ABI). Retrieved October 12, 2019, from <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/businessintelligence-bi>

GOMES, Pedro César Tebaldi. O que é o quadrante mágico do Gartner?. OPSERVICES, 2016. Disponível em: <https://www.opservices.com.br/o-que-e-o-quadrante-magico-do-gartner/>. Acesso em: 15/03/2022.

GOOGLE TRENDS. Google. Disponível em < <https://trends.google.com.br/trends/explore?q=power%20bi,Tableau,qlik> >. Acesso em: 16/03/2022.

LAPA, Joaquim; BERNARDINO, Jorge; FIGUEIREDO, Ana. A comparative analysis of open source business intelligence platforms. In: Proceedings of the International Conference on Information Systems and Design of Communication. 2014. p. 86-92.

LOUSA, André; PEDROSA, Isabel; BERNARDINO, Jorge. Avaliação e Análise de Ferramentas Business Intelligence para Visualização de Dados. Ieeeexplore. Ieee. Org, June, p. 19-22, 2019.

LOUZADA, Paula. Quais os benefícios do Power BI? Por que usá-lo em sua organização?. fm2s educação e consultoria, 2019. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/quais-os-beneficios-do-power-bi-por-que-usa-lo-em-sua-organizacao/>. Acesso em: 11/05/2022.

MICROSOFT. Documentação de introdução do Power BI. 2022. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. Acesso em: 11/05/2022.

MORUMBI, U.; STEFANINI, C. Business Intelligence (Bi): Um Estudo Exploratório Sobre O Uso Do Bi Visando Alcançar Vantagem Competitiva. 2017.

OLIVEIRA R. [Curso Qlikview] - Alguns tipos de licenciamentos Qlikview. 2014. Disponível em: <http://smalldata.com.br/curso-qlikview-alguns-tipos-de-licenciamento-qlikview/> Acessado em: 08/05/2022.

QLIK. QlikView Personal Edition. 2021. Disponível em: https://help.qlik.com/pt-BR/qlikview/May2021/Subsystems/Client/Content/QV_QlikView/QlikView_Personal_Edition.htm. Acesso em: 14/03/2022.

RAINER, R. Kelly; CEGIELSKI, Casey G. Introdução a sistemas de informação. 5.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 480 p.

RIOS, Afonso Augusto Santana Sales. Qlik, o que é?. Alura. Disponível em: https://www.alura.com.br/artigos/qlik-o-que-e?gclid=Cj0KCQjwvpv2TBhDoARIsALBnVnlyPwt7IsPGUngBj78ZbML9VjamflatuqQVtYtVczsGjJ0qsfIEYGkaAoAXEALw_wcB. Acesso em 12/05/2022.

ROST, Lisa Charlotte. What I learned recreating one chart using 24 tools. Source, 2016.

TABLEU. Tipos de licença Tableau 2021. Disponível em: https://help.tableau.com/current/blueprint/pt-br/bp_license_types.htm. Acesso em 22/03/2022.

SANTOS, Maribel Yasmina ; RAMOS, Isabel - "Business Intelligence : tecnologias da informação na gestão de conhecimento". Lisboa : FCA Editora de Informática, 2006.

SOUZA, Clayton. Tableau: O que você precisa saber?. BDAsolutions, 2020. Disponível em: <https://bdasolutions.com.br/2020/10/tableau-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 12/05/2022.

U. MORUMBI, AND C.STEFANINI, "BUSINESS INTELLIGENCE (BI): Um estudo exploratório sobre o uso do BI visando alcançar vantagem competitiva"., Maio de 2017.

VESSET, D. *et al.* Worldwide Business Analytics Software Market Shares, 2015: Healthy Demand Despite Currency Exchange Rate Headwinds. IDC Analyse the Future, p. 1-11, 2016.

Abordagem teórica de materiais cerâmicos e compósitos cerâmicos: estrutura, propriedades e aplicações

Aimée Giovanna Jerônimo de Brito

Jéssica Micaelli Mendes da Silva

Breno César Cabral de Oliveira

Mayara Suellen da Silva Nascimento

Renata Arcelino da Silva

Kallyandra Maria Silva de Souza Amorim

Jair Dantas Nacre Junior

Verônica Cristhina de Souza Diniz

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.6

RESUMO

Com o avanço das pesquisas e tecnologia, as cerâmicas foram adquirindo aplicações mais específicas e revolucionárias, criando-se uma nova categoria, as cerâmicas especiais. Descobriu-se também que, utilizando a cerâmica com outros materiais, era possível obter um material mais desenvolvido e com propriedades melhores, os materiais compósitos de matriz cerâmica. Neste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica sobre os materiais cerâmicos e compósitos de matriz cerâmicas e suas determinadas aplicações.

Palavras-chave: cerâmicas especiais. argilas. compósitos.

ABSTRACT

With the advancement of research and technology, ceramics acquired more specific and revolutionary applications, creating a new category, special ceramics. It was also discovered that, using ceramics with other materials, it was possible to obtain a more developed material with better properties, the ceramic matrix composite materials. In this work, a bibliographic review was carried out on clays and ceramic matrix composites and their specific applications.

Keywords: special ceramics. clays. composites.

INTRODUÇÃO

Pode-se classificar as cerâmicas em tradicionais e avançadas. A primeira se refere aquelas fabricadas a partir de matérias-primas naturais, enquanto a segunda utiliza materiais mais refinados ou sintéticos e podem possuir microestruturas otimizadas. As cerâmicas avançadas foram desenvolvidas nos últimos 100 anos. Devido às suas interessantes propriedades, a citar elevada dureza, rigidez, resistência à compressão, inércia química e refratariedade, e baixa condutividade térmica, entre outras, elas podem ser incorporadas a vários componentes, entre eles, placas refratárias em fornos, isolantes térmicos, isolantes elétricos e próteses para aplicações biomédicas (STOCCO,2021).

As cerâmicas tradicionais são compostas por argilominerais, além dos argilominerais, possuem normalmente, outros materiais e minerais tais como “matéria orgânica”, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, e podem ter também minerais não cristalinos ou amorfos. (PEREIRA,2014).

Muitas vezes os materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos não alcançam isoladamente a combinação de propriedades requeridas para projetos específicos. O material compósito é o produto da combinação de dois ou mais tipos de materiais com características distintas. Ele é projetado para alcançar um conjunto de propriedades que os materiais convencionais não conseguem oferecer com o mesmo desempenho. A versatilidade de ser projetado com uma combinação de propriedades desejável para cada aplicação é um dos principais diferenciais dessa classe de materiais. (ALVES,2017)

Antes que o material possa ser classificado como um compósito, é necessário satisfazer três critérios (DIAS, 2013).

- Ambos os constituintes devem ter propriedade diferentes;
- As fases constituintes devem ter propriedades diferentes;
- As propriedades do compósito devem ser notoriamente diferentes daquelas dos materiais constituintes atuando independentemente.

Na Figura 1 pode-se ver a classificação dos compósitos quanto à matriz:

Figura 1- Classificação dos Materiais Compósitos. Fonte: DIAS,2013.



Diante deste cenário, será visto as principais cerâmicas especiais e compósitos cerâmicos e as suas aplicações.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

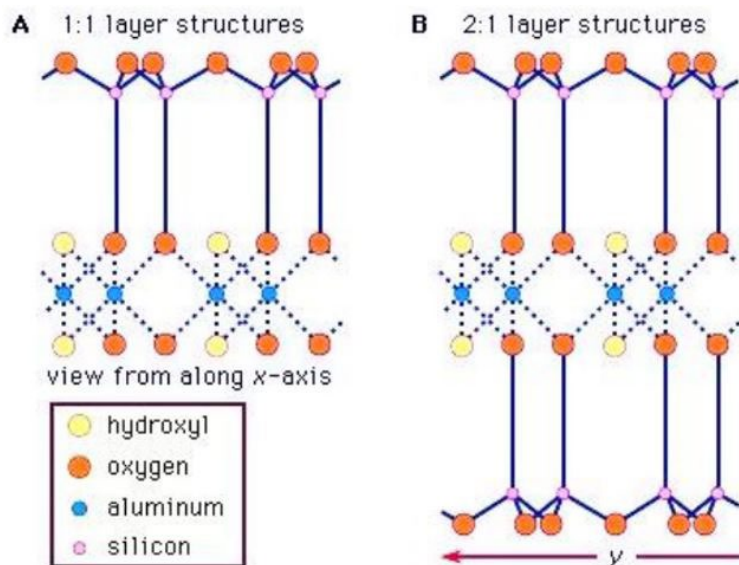
Materiais cerâmicos tradicionais

O principal componente da mistura cerâmica é a argila. Esta matéria-prima é facilmente encontrada na natureza, muito abundante, com baixos custos de extração e processamento. É altamente versátil em aplicações industriais, além de ser, historicamente, a principal matéria-prima utilizada na indústria cerâmica (MAGALHÃES *et al.*, 2022).

As argilas são compostas por argilominerais que por sua vez são compostos por silicatos lamelares hidratados de alumínio, magnésio e ferro (filossilicatos), contendo ainda, na maioria das vezes, pequenos teores de elementos alcalinos e alcalino terrosos (PEREIRA,2014).

Sendo assim, os argilominerais cristalinos podem ser divididos em duas classes: os silicatos de estrutura lamelar e os silicatos de estrutura fibrosa. Os silicatos de estrutura lamelar são divididos em duas famílias: a) que compreendem as camadas 1:1 que se inserem o grupo da caulinita, serpentina; e b) camadas 2:1 que se inserem o grupo das esmectitas, vermiculitas e micas. Os silicatos de estrutura fibrosa 2:1 em que se tem o grupo da paligorsquita (atapulgita) e sepiolita (BALDUINO,2014). Pode-se observar suas estruturas na Figura 2:

Figura 2- Representação esquemática de A) estrutura de camadas 1:1 e; B) estrutura de camadas 2:1.



Fonte: VIEIRA,2019.

As argilas classificadas como industriais ou tecnológicas compreendem: caulins; “ball clay” (argila plástica para cerâmica branca); argila refratária; bentonita; terra fuller; argilas comuns como as argilas para fins da construção civil (cerâmica vermelha, cimento); argilas diversas como a vermiculita; talco; pirofilita; amianto ou asbesto (BALDUINO,2014).

O caulim é uma rocha, geralmente de cor branca, e de boa inércia química; devido as suas características, é amplamente utilizada na indústria. Possui grande importância em aplicações tecnológicas, destacando-se suas aplicações como carga na indústria do papel, sendo também utilizado como matéria-prima na produção de tintas, indústria cerâmica, borrachas, plásticos, remédios, fibra de vidro, catalisadores, fertilizantes, e outros (VIEIRA,2019).

Além do termo caulim ser utilizado para a rocha, ele também é designado para o subgrupo de filossilicatos que compreende os minerais caulinita, haloisita, dickita e nacrita. Por vezes chamadas de argilominerais, sua fórmula geral é $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$. (VIEIRA,2019).

A caulinita é um argilomineral de camada 1:1 ou T-O (tetra:octaédrica) de distância interreticular de 7,1 Å. É classificada como um silicato de alumínio dioctaédrico de fórmula química $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ e considerada hidrofílica. Seu uso e aplicações são relevantes devido a sua grande abundância natural, pelo fato ser facilmente encontrada em seu estado puro, além de ter uma estrutura cristalina bem característica (VIEIRA,2019).

As argilas esmectíticas apresentam atualmente uso crescente em inúmeras aplicações como em fertilizantes, catalisadores, areias de fundição, tijolos refratários, agentes descolorantes e clarificantes de óleos e gorduras, tintas, agentes de filtração, cargas para polímeros e elastômeros, papel, adsorventes, etc (ZADINELO, 2014). SILVA e FERREIRA (2017) em um artigo de revisão apresentaram 140 usos industriais das argilas esmectitas. Isso ocorre devido à variedade de argilas existentes e também às interessantes propriedades que esses materiais apresentam, como: inchamento, plasticidade, propriedades reológicas e coloidais, adsorção, etc.

As argilas esmectíticas são geralmente constituídas por partículas cristalinas muito pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como argilominerais, podendo ser com-

postas por partículas de um argilomineral ou por uma mistura de vários argilominerais, esse termo é usado para designar especificamente os filossilicatos que são hidrofílicos e conferem a propriedade de plasticidade às argilas. (PEREIRA, 2014)

Montmorilonita (também anteriormente denominada de esmectita) é o argilomineral mais abundante do grupo das esmectitas, cuja fórmula química geral é dada pela $M_x(\text{Al}_{4-x}\text{Mg}_x)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$. Possui partículas de tamanhos que podem variar de 2 μm a tamanhos bastante pequenos como 0,1 μm em diâmetro, com tamanho médio de 0,5 μm e formato de placas ou lâminas. Pertence ao grupo dos filossilicatos 2:1, cujas placas são caracterizadas por estruturas constituídas por duas folhas tetraédricas de sílica com uma folha central octaédrica de alumina, que são unidas entre si por átomos de oxigênio que são comuns a ambas as folhas. (PAIVA, 2008)

As argilas do grupo esmectitas, principalmente a montmorilonita, são muito utilizadas na preparação das argilas organofílicas devido às pequenas dimensões dos cristais, a elevada capacidade de troca de cátions, e a capacidade de inchamento em água que fazem com que a intercalação de compostos orgânicos, utilizados na síntese, seja rápida e eficiente (SILVA e FERREIRA, 2008).

As argilas bentoníticas pertencem ao grupo das esmectitas (2:1), dispendo de uma lamela octaédrica e duas lamelas tetraédricas. O cátion predominante define as propriedades finais da bentonita. A bentonita sódica tem maior adsorção de água se for comparada à cálcica (SILVA e MONTE, 2022).

Segundo ROSS e VALENZUELA-DIAZ, 1929 e 1992, o espaçamento basal das bentoníticas pode variar de 11,8 Å a um máximo de 18 Å em estado seco, onde as camadas sucessivas estão ligadas frouxamente entre si e camadas de água podem penetrar entre elas, separando-as e deixando-as livres, quando o espaçamento basal atinge valores superiores a 40 Å, caracterizando um elevado grau de delaminação.

Essa estrutura fornece ao material propriedades de grande interesse, como a capacidade de inchamento e a tixotropia. Devido às suas características, as bentonitas possuem mais de quarenta aplicações diferentes, o que justifica a variedade de estudos realizados ao longo dos anos. Dentre elas, estão a aplicação na área de fluidos de perfuração para indústria de petróleo, clarificação de bebidas e óleos, barreiras de isolamento de resíduos radioativos e até mesmo na área farmacológica e cosmética (MACHADO et al, 2018).

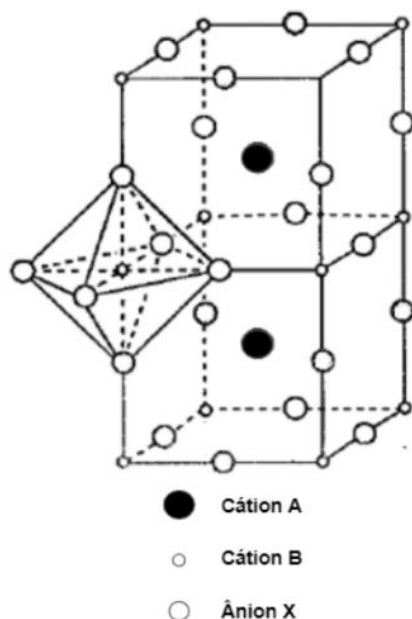
Materiais cerâmicos especiais

De acordo com U.S. Congres (1988), os materiais avançados como as cerâmicas avançadas, são classificados desta maneira por se tratar de materiais que apresentam propriedades (como resistência à elevadas temperaturas, alta dureza e peso leve) superiores aos cerâmicos tradicionais e aos materiais metálicos como aço e alumínio. Alguns exemplos de cerâmicas avançadas como: Perovskitas (ABX_3), Zircônia (ZrO_2), Carbetto de Silício (SiC), Nitreto de Silício (Si_3N_4) e Alumina (Al_2O_3), serão vistas a seguir.

Perovskitas convencionais são aquelas que possuem a mesma estrutura do CaTiO_3 . Similar ao ocorrido com diversos minerais, seu nome foi utilizado para referenciar uma classe de outros compostos posteriormente descobertos com a mesma estrutura, ABX_3 , pode-se ver sua estrutura na Figura 3 sua estrutura. Uma característica fundamental para perovskitas é que ela

possui mais de um cátion (A e B), compõem a célula unitária, apresentando diferentes tamanhos e poliedros de coordenação com os ânions compensadores de cargas (DIAS, 2019).

Figura 3 - Estrutura de Perovskita ideal ABX₃, mostrando o octaedro formado contendo o íon B em uma estrutura cúbica tridimensional. Fonte:LIMA,2019.



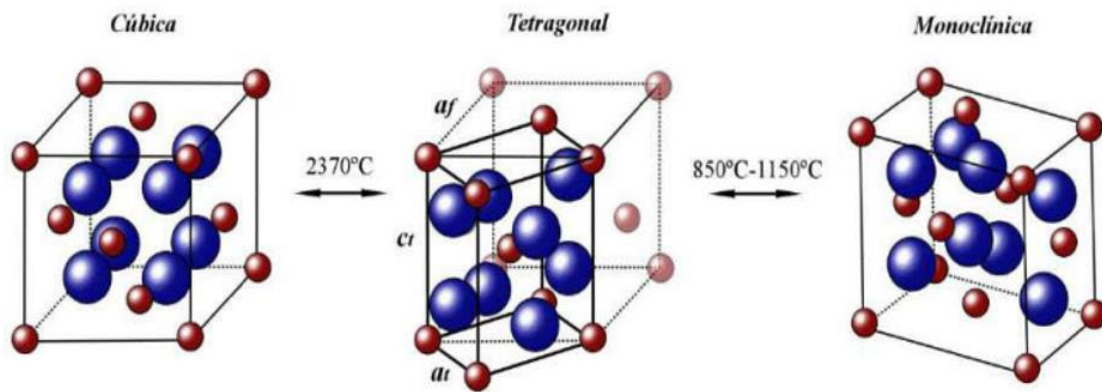
Perovskitas possuem propriedades ópticas e eletrônicas únicas relacionadas ao tamanho de seus nanocristais e à composição da sua estrutura cristalina. A forte intensidade de luminescência que apresentam é uma das propriedades mais interessantes visando à aplicação em dispositivos optoeletrônicos (MAYRINCK et al,2020)

As células solares de perovskita tornaram-se uma promissora tecnologia fotovoltaica (PV) fina devido ao alto coeficiente de absorção de luz, comprimento de difusão do portador longo e processabilidade da solução de materiais de perovskita de haleto metálico. Atualmente, a maior eficiência de conversão de energia de células solares de perovskita atingiu 25,5%, superando o recorde eficiência de cobre índio gálio selênio solar células solares e aproximando-se das células solares de Si cristalino (WU et al,2021).

A zircônia, denominada também de dióxido de zircônio (ZrO₂), é uma cerâmica policristalina em que os átomos de zircônio e oxigênio se arranjam em um padrão de cristal formando grãos cristalinos (MONTEIRO,2020).

A zircônia pura apresenta três formas polimórficas dependendo da temperatura. A fase cúbica tem uma estrutura corpo face centrada (CFC) é estável em temperaturas de 2370°C até a fusão (2680°C). A fase tetragonal é estável em temperaturas entre 1150 °C e 2370 °C e possui uma célula primitiva centrada no corpo (CCC). Finalmente, a fase monoclinica é estável em temperaturas abaixo de 850°C (MUÑOZ-TABARES,2009). Pode-se observar suas estruturas na Figura 4:

Figura 4 - Estruturas Cristalinas da Zircônia. Fonte: MUÑOZ-TABARES, 2009.



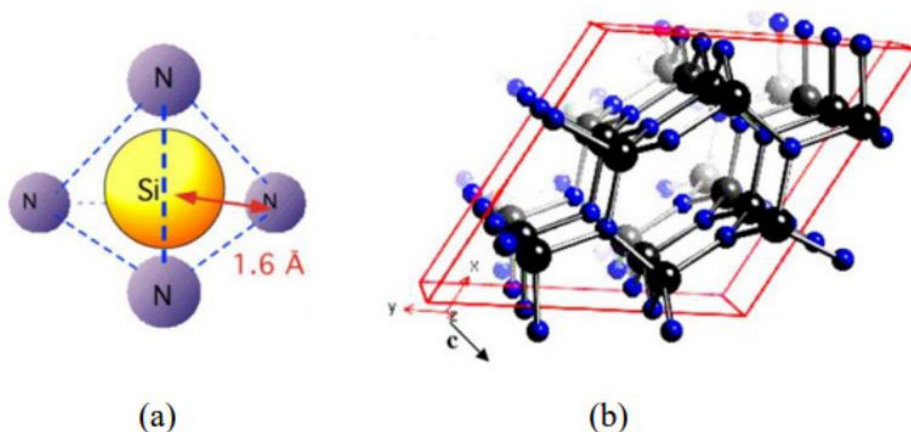
A zircônia foi sugerida como a primeira candidata para contornos completos restaurações monolíticas devido às suas vantagens significativas, como excelentes propriedades mecânicas, superiores às de outros sistemas cerâmicos, desempenho estético comparável ao das metalocerâmicas restaurações, radiopacidade, baixo potencial de corrosão, boas propriedades químicas, estabilidade volumétrica e valores de módulo de elasticidade comparáveis ao aço. De acordo com estudos *in vitro*, as restaurações de zircônia exibem valores de resistência à flexão ou flexão de 900–1200 MPa e resistência à fratura de 9–10 MPa (KONTONASAKI, 2020).

Do ponto de vista de aplicações tecnológicas, a zircônia dopada com cálcia é o material preferido para a confecção de tubos que são amplamente utilizados em células eletroquímicas, além de bocais para escoamento de metais fundidos (MUCCILLO, 2006).

A zircônia policristalina apresenta alta resistência e opacidade, e são usadas como material de escolha para restaurações submetidas a uma alta concentração de tensões (MONTEIRO, 2020).

O nitreto de silício, possui fórmula química Si_3N_4 e existe em quatro formas estruturais bem estabelecidas, a fase amorfa $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ e as fases cristalinas, trigonal $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, hexagonal $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ e a recente descoberta (1998) fase cúbica $\gamma\text{Si}_3\text{N}_4$ formada em alta pressão (>15 GPa) (CAILLAHUA, 2018). Pode-se ver a estrutura cristalina do nitreto de silício na Figura 5:

Figura 5 - (a) estrutura cristalina de um tetraedro de SiN_4 e (b) Célula unitária do Si_3N_4 . Fonte: CAILLAHUA, 2018.

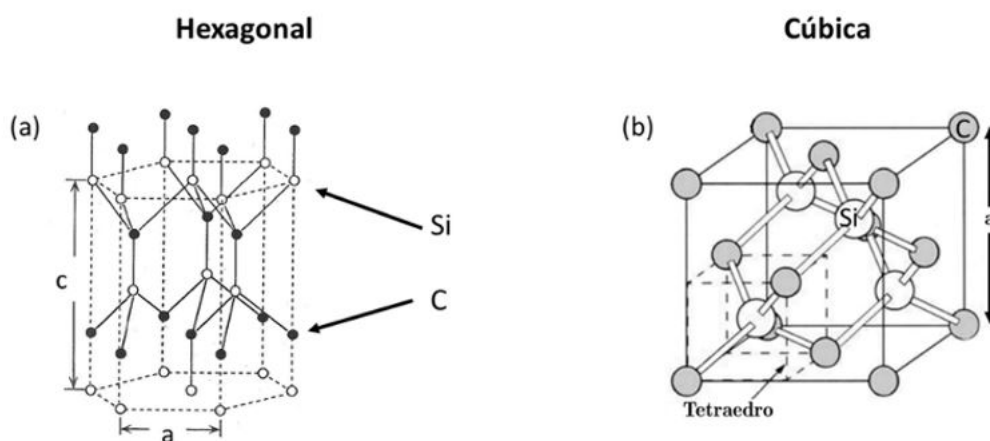


Ao longo dos últimos anos, o nitreto de silício vem sendo muito utilizado em esferas para a confecção de rolamentos híbridos. Apresenta um tempo de vida útil superior aos rolamentos em aço, devido a menor densidade, maior módulo de elasticidade, maior dureza, maior resis-

tência à corrosão, menor coeficiente de atrito, resultando em menores deformações e desgaste. Atualmente, o nitreto de silício é encontrado também em turbinas eólicas, equipamentos de automobilismo, discos de drives de computador, atuadores de flap em aeronaves ou onde quer que a corrosão, o desgaste rápido e campos magnéticos limitem o uso de metais (DRESCH,2019).

O carbeto de silício, SiC, é um semicondutor que também se apresenta tanto na forma amorfa como na forma cristalina. Das formas cristalinas mais regulares, estão a α -SiC, de estrutura hexagonal do tipo wurtzite ou romboédrica e a β -SiC, com uma estrutura cristalina cúbica. Em ambas formas cristalinas, o carbeto de silício possui átomos de silício ligados covalentemente com quatro átomos de Carbono, formando um tetraedro. (RIBAS,2019). Pode-se ver suas formas cristalinas na Figura 6:

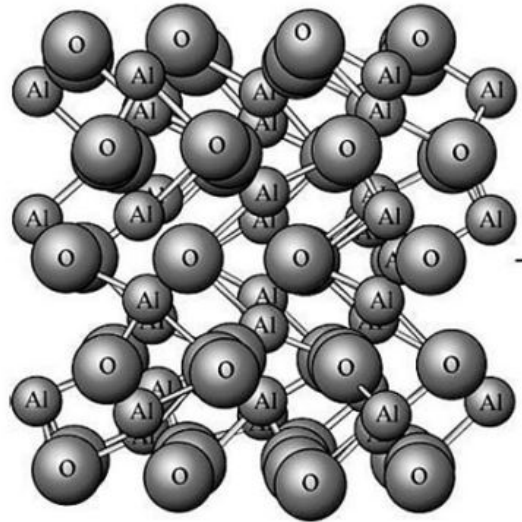
Figura 6 - Estruturas cristalinas pertinentes ao SiC. Na figura (a), temos a estrutura cristalina do SiC Hexagonal, e em (b), a estrutura cristalina do SiC cúbico. Fonte:RIBAS,2019.



O SiC tem excelentes propriedades mecânicas em alta temperatura, estabilidade térmica e química e resistência à oxidação em atmosferas ricas em oxigênio e alta emissividade de calor ($\sim 0,95$). O carbeto de silício disposto na forma de um compósito bidirecional reforçado com fibras de SiC- β , possui alta condutividade térmica na direção das fibras (70 W/m.K) e uma baixa condutividade na direção transversal ao plano das fibras (15 W/m.K). (NETO,2016).

A alumina é uma das matérias-primas mais utilizadas em materiais compósitos, devido principalmente a dois fatores: suas propriedades – elevado módulo de elasticidade, a alta resistência ao ataque químico, e ao desgaste e estabilidade química a elevadas temperaturas – e o baixo custo de obtenção quando comparado aos outros óxidos. Dentre os diversos polimorfos existentes da alumina, a fase romboédrica é a mais estável termodinamicamente, sendo conhecida como córindon (α – alumina) (STOCCO, 2021). Segue abaixo, na Figura 7, sua estrutura:

Figura 7 - Estrutura atômica da α -alumina. Fonte: STOCCO,2021.



Os revestimentos de alumina encontraram um lugar de destaque na indústria de engenharia devido aos seus diversos méritos, como alta dureza, resistência ao desgaste, características de isolamento, durabilidade, etc. aumentar a vida útil de várias peças. Uma das formas mais eficientes de produzir esses revestimentos em superfícies metálicas é por pulverização de plasma. As vantagens resultantes da aplicação deste processo são a alta temperatura da chama, aumento da velocidade das partículas, propriedades de superfície louváveis, etc. (MARCINAUSKAS *et al.*, 2020).

Materiais compósitos de matriz cerâmica

Os materiais cerâmicos encontram diversas aplicações por suas propriedades de alta rigidez, resistência à compressão, resistência ao desgaste, resistência química e habilidade de suportar elevada temperatura. No entanto, sua inerente fragilidade e baixas tenacidade e confiabilidade ainda restringem seu uso. Os compósitos de matriz cerâmica têm sido alvo de diversos estudos, considerando diferentes formas de se aperfeiçoar esses materiais (MINATTO,2011).

Compósitos de matriz cerâmica têm se mostrado como uma boa opção no que se refere ao aumento da tenacidade, quando comparados ao material monolítico. Neste sentido, os compósitos cerâmicos multicamadas (CCMs), que contam com alternância de camadas de dois cerâmicos distintos, compondo camadas espessas e camadas finas (intercamadas), intercaladas de forma simétrica, destacam-se por seu menor custo de fabricação e mais fácil processamento quando comparados aos compósitos reforçados com fibras, por exemplo (MINATTO,2011).

Os materiais cerâmicos têm elevado ponto de fusão e apresentam dificuldade de conformação passando pelo estado líquido. A plasticidade necessária para a sua moldagem é conseguida antes da queima, por meio de mistura das matérias primas em pó com líquido (DIAS,2013).

Os compósitos de matriz cerâmica podem ser classificados em dois grupos. O primeiro tem como elementos de reforço partículas ou *whiskers*, os quais exibem comportamento frágil mesmo com aumentos consideráveis de tenacidade à fratura e resistência mecânica. O segundo grupo consiste em compósitos com fibras contínuas que exibem um comportamento de trinca quase dúctil acompanhado de *fiber pullout* (tipo de falha em compósitos com fibra onde as fibras “escorregam” pelo material matriz quando submetidas a trincas) (SILVA,2014).

A fabricação de compósitos cerâmicos utilizando fibras cerâmicas envolve uma série de dificuldades em razão da fragilidade das fibras, tornando-se difícil incorporá-las na matriz cerâmica pelos métodos convencionais, que envolvem a prensagem do pó e a sinterização a altas temperaturas (DIAS, 2013).

Compósitos de matriz cerâmica reforçados por fibras são materiais desenvolvidos para contornar a fragilidade e a baixa confiabilidade das cerâmicas monolíticas. As fibras conferem uma maior tolerância ao dano, tornando esses compósitos aptos a aplicações extremas em que sejam requisitadas altas temperaturas de operação, baixa densidade, resistência à corrosão e tolerância adequada ao dano (SCHMIDT,2004).

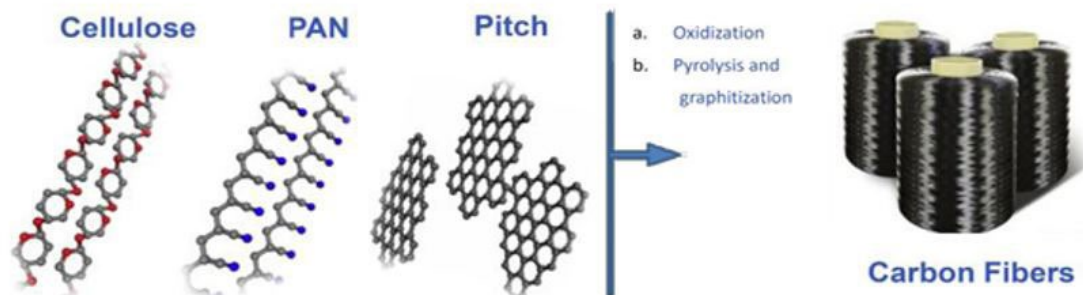
A natureza da interação entre matriz e fibras é fundamental para os mecanismos de tenacificação responsáveis pelo aumento na resistência mecânica dos CMCs. Interfaces fortes tornam as fibras susceptíveis à propagação das trincas durante a fratura da matriz. Interfaces fracas favorecem a integridade das fibras. Portanto, os compósitos mantêm alguma resistência mecânica mesmo com a fratura da matriz, graças aos mecanismos de tenacificação como deflexão da trinca (*crack deflection*) e arrancamento (*pull out*) da fibra (HABLITZEL,2011).

Os carbonos são de extremo interesse para a criação de materiais compósitos, em razão do fato de que são os únicos materiais que mantêm a resistência mecânica praticamente inalterada, como também podem aumentar o limite de resistência de componentes produzidos com estes, a temperaturas superiores a 1.500°C, em atmosfera não oxidante. As matrizes carbonosas utilizadas em compósitos são basicamente obtidas pela pirólise controlada de materiais orgânicos, como, por exemplo, resinas termorrígidas e piches de alcatrão e hulha e de petróleo, ou pela decomposição de gases hidrocarbonetos, como metano e propano. As matrizes carbonosas são divididas em dois grupos: as obtidas por decomposição de polímeros termorrígidos e termoplásticos e as obtidas por decomposição de gases. (NETO,2016).

Os CMCs mais importantes, tanto do ponto de vista de investigação quanto de disponibilidade comercial são C/C em forma de fibras, C/SiC, SiC/SiC e Al₂O₃/Al₂O₃. Os CMCs se diferem de suas cerâmicas convencionais nas seguintes propriedades: alongamento de até 1% antes da ruptura; tenacidade à fratura consideravelmente mais elevada; elevada resistência a choque térmico; capacidade de carregamento dinâmico aprimorada; propriedades anisotrópicas seguindo a orientação das fibras (SILVA,2014).

A fibra de carbono é descrita na Textile Terms and Definition como contendo pelo menos 90% de carbono no seu processamento pirolítico, sendo que a fibra grafitizada atinge 99% de carbono, na sua estrutura. O diâmetro de seus filamentos mede, em regra, de 5 a 15 µm. Comparativamente, é dez vezes mais forte e cinco vezes mais leve que o aço. Tais propriedades são decorrentes da orientação dos átomos de carbono ao longo do eixo da fibra. É possível destacar três principais materiais orgânicos como fontes de obtenção da fibra: piche (mesofásico e isotrópico), celulose e poliacrilonitrila (PAN) (SOUTO,2015). É possível observar suas estruturas na Figura 8.

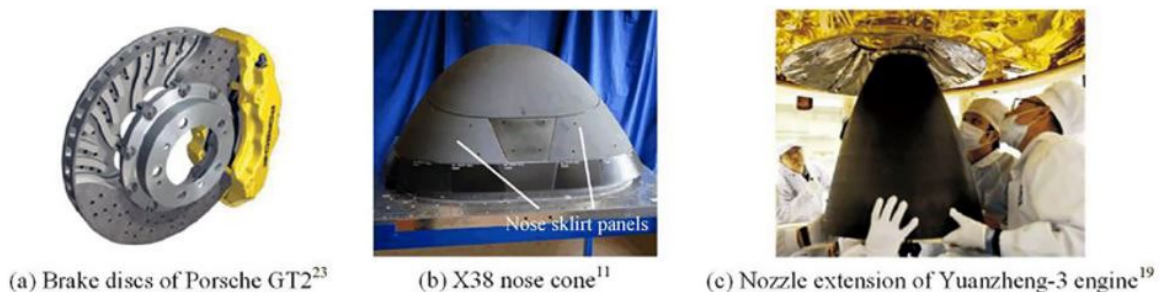
Figura 8 - Carbonização de precursores de celulose, PAN e piche para fabricar fibras de carbono convencional Fonte: DUEÑAS,2018.



Fibras de carbono são materiais sinônimos de leveza e alta resistência, além de apresentarem função estética apreciável. São materiais com vasta aplicabilidade, como, por exemplo, no setor de construção civil, na indústria aeronáutica e aeroespacial, em carros da Fórmula 1, nos itens esportivos entre outros. Com toda essa atratividade, é um material que precisa ser estudado para a otimização na sua produção, empregabilidade em novos setores e, para diminuição do seu custo (GUIMARÃES,2018).

O material composto SiC–C e SiC–SiC oferece várias combinações de propriedades de materiais, que são necessárias para a indústria aeroespacial, construção leve e indústria automobilística. Em particular, a combinação de baixo peso, alta resistência a altas temperaturas, boa corrosão resistência e baixo desgaste tornam este material único. A maioria das propriedades pode resistir também a altas temperaturas e condições extremas, o que permitem aplicações críticas de segurança, como disco de freio (ZIMMER et al,2022).Pode-se ver algumas das aplicações do SiC na Figura 9:

Figura 9 - Aplicações do SiC em a) discos de freio do Porsche GT2, b) cone de nariz X38 e; c) extensão do bocal do motor Yuanzheng-3. Fonte: QINGLONG et al,2021.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os avanços tecnológicos do último século é possível notar que as cerâmicas especiais vêm sendo amplamente utilizadas não somente em aplicações estruturais mas também na engenharia com propriedades superiores, baixo custo de matéria-prima, facilidade de processamento e não causar impacto negativo para o meio ambiente. É possível ter aplicações desde a indústria de cosméticos até a indústria do petróleo.

Então como os materiais compósitos de matriz cerâmica podem obter melhores propriedades mecânicas como aumento da tenacidade em comparação com o material cerâmico, elétricas e magnéticas. É uma alternativa promissora para ser utilizada na indústria, visto que esses materiais podem atingir um bom desempenho em várias aplicações como a indústria aeroespacial e automobilística.

REFERÊNCIAS

- ALVES R. A. A., Desenvolvimento e caracterização de compósitos cerâmicos e cerâmico-poliméricos destinados a restauração de monumentos históricos fabricados em esteatito (pedra-sabão), São João Del Rei, 2017.
- BALDUINO A. A. Z., Estudo da Caracterização e composição de argilas de uso cosmético, Jataí, 2016.
- MUÑOZ-TABARES, J. A., An Overview of Zirconia Ceramics-Structure, Properties and Applications, México, 2009.
- CAILLAHUA, M. C., Síntese e Caracterização de Nanoestruturas de Nitreto de Silício a partir da Reação Química em Fase Vapor , Rio de Janeiro, 2018.
- DRESCH A. B., Cerâmicas Balísticas de Alumina com adições de Nitreto de Silício: Aprimoramento da Relação Resistência à flexão/ densidade, Porto Alegre, 2020.
- DIAS, J. A. Perovskitas Óxidas para Aplicação Eletroquímica e Fotovoláica, São Carlos, 2019.
- DIAS L.G., Estudo do Processo de Secagem em Estufa e por microondas de compósitos cerâmicos de Argila e Resíduos de Esteatito, São João Del Rei, 2013.
- DUEÑAS V.A.G. “Preparación de Fibras Híbridas de Composito Carbono-Carbono” , Monterrey Nuevo León, 2018.
- DUTRA R.P.S., *et al.* Comportamento Térmico de Argilas Plásticas do Rio Grande do Norte: Otimização das Curvas De Queima, Natal, 2005.
- GUIMARÃES B. S. S., Estudo do Tratamento Superficial de Fibras de Carbono para Aplicação no Setor Aeronáutico, Londrina, 2018.
- GONÇALVES W. P., *et al.* Avaliação da influência de diferentes tratamentos térmicos sobre as transformações de fases esmectitas, Campina Grande, 2014.
- HABLITZEL M.P., GARCIA D.E., HOTZA D. Interfaces fracas em compósitos de matriz cerâmica de alumina/alumina, Santa Catarina, v. 16, n. 3, pp. 788 - 794, 2011.
- KONTONASAKI, E. *et al.*, Strength and aging resistance of monolithic zirconia: an update to current knowledge, Greece, 2020.
- LIMA, P. P. Revisão Sistemática de Perovskitas Inorgânicas Aplicadas em Fotocatalisadores, Porto Alegre, 2021.
- MACHADO M. C. P *et al.* Estudo do comportamento e caracterização de argilas bentoníticas após processo de liofilização, SC, 2018.
- MAGALHÃES R. S. *et al.*; Caracterização físico-química, mineralógica e tecnológica de argilas de Caxias/MA, 2022.
- MARCINAUSKAS L. *et al.* Tribological Properties of Plasma Sprayed Alumina, Alumina–Titania and Alumina–Zirconia Coatings , Kaunas University of Technology,, 2020.

- MAYRINCK, C. *et al*, Nanocristais de Perovskitas Coloidais: Histórico, Propriedades e Aplicações, São João del Rei- MG,2020.
- MINATTO F. D., *et al*.; Estudo de composições cerâmicas à base de alumina e vitrocerâmico do sistema LZSA para obtenção de estruturas multicamadas por tape casting, Santa Catarina, Brasil, 2017.
- MONTEIRO, R. V. Influência de Diferentes Tratamentos de Superfície na Resistência de União Adesiva de Coroas de Zircônia na Estrutura Dentária, Florianópolis, 2020.
- NETO F. L., Pardini L. C., Compósitos Estruturais Ciência e Tecnologia, 2º edição. 2016.
- PAIVA, L. B.; Morales, A. R.; Díaz, F. R. V. Anoverview on organophilic clays: properties, routes of preparation and applications. Applied Clay Science, 2008.
- PEREIRA I. D. S , Silva I. A. , Cartaxo J. M. , Menezes , R. R. , Santana L. N. L., Neves G. A., Ferreira H. C. Estudos de caracterização dos novos depósitos de argilas esmectíticas do município de Sossego, PB, Campina Grande, 2014.
- QINGLONG A.N. *et al*, Machining of SiC ceramic matrix composites: A review, China, 2021.
- RIBAS, E. G. Síntese de SiC através de implantação iônica de carbono em SiO₂/Si: influência da espessura da capa de SiO₂ e de padrões de áreas finas produzidos por litografia, Porto Alegre, 2019.
- ROSS, C.S. & Shannon, E.V., Minerals of Bentonite and Related Clays and Their Physical Properties, Journal of American Ceramic Society 9, 77, 1926.
- SANTOS P. S., Ciência e Tecnologia de Argilas, Ed. Edgard Blucher Ltda., 2a Ed., S. Paulo, SP (1992).
- SCHMIDT, S., BEYER, S., KNABE, H., *et al.*, “Advanced ceramic matrix composite materials for current and future propulsion technology applications”, Acta Astronautica, v. 55, n. 3-9, pp. 409- 420, 2004.
- SILVA, A.R.V., FERREIRA, H. C. Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande,2008.
- SILVA M, C., MONTE C. N. Aplicabilidade de argilas bentoníticas para a mitigação da contaminação ambiental em áreas de aterros sanitários: uma revisão, Curitiba ,2022.
- SILVA I. A., *et al*. Efeito do armazenamento de argilas esmectíticas nas suas propriedades reológicas, João Pessoa, 2017.
- SILVA M, V., D. Stainer; H. A. Al-Qureshi; D. Hotza. Blindagens cerâmicas para aplicações balísticas: uma revisão. Florianópolis,2014.
- SOUTO F., *et al*. Fibras de carbono a partir de lignina: uma revisão da literatura, Rio de Janeiro,2018.
- STOCCO A, F., Estudo comparativo das técnicas de fabricação e do comportamento de fratura de compósitos cerâmicos multicamadas à base de alumina, Londrina, 2021.
- U.S. Congress, Advanced Materials by Design, Office of Technology Assessment - OTAE351, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, Junho. 1988.

VALENZUELA-DÍAZ F. R., SANTOS P. S., SANTOS H. S., *Quim. Ind.* 42 (1992) 33.

VIEIRA, B. F. G., *Caracterização de cerâmicos filossilicatos caulíníficos após sinterização e avaliação de suas propriedades para aplicações eletrônicas*, 2019.

WU, T. *et al.*, *The Main Progress of Perovskite Solar Cells in 2020–2021*, 2021.

ZADINELO I. V., *Eficiência de argilas esmectitas na adsorção da amônia de efluentes sintéticos e aquícolas e, sua aplicação sob a influência de diferentes temperaturas durante o cultivo de jundiá (Rhamdia quelen)*, 2014.

ZIMMER K., *et al.* *Etching of SiC–SiC-composites by a laser-induced plasma in a reactive gas*, 2022.

Alocação e dimensionamento otimizado de geração distribuída utilizando algoritmo genético

Brenda Leal Mota Santos

Universidade Federal da Bahia, UFBA

Renato Santos Freire Ferraz

Universidade Federal do Espírito Santo, UFES

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.7

RESUMO

A integração de Geração Distribuída (GD) em sistemas de distribuição está cada vez mais difundida na atualidade. Isso porque, a ascensão desse tipo de geração promove diversos benefícios, como redução das perdas elétricas nas linhas de transmissão e distribuição, redução da emissão de gases poluentes e melhora da confiabilidade e Qualidade da Energia Elétrica (QEE) da rede. Entretanto, a instalação desse tipo de geração não é trivial, já que a integração de GD no sistema de distribuição requer recursos e procedimentos operativos adicionais em relação às redes convencionais, além de modificarem algumas variáveis elétrica como corrente de linha, tensão nodal e fator de potência. Dessa forma, a proposta desse trabalho consiste na utilização de técnicas de otimização a fim de minimizar o desvio de tensão de um sistema de distribuição, através da alocação de GD, respeitando as restrições, que englobam os limites operacionais do sistema e dos geradores. Para isso, o método de otimização de algoritmo genéticos foi utilizado, e para avaliar a metodologia proposta, o sistema de teste do IEEE de 34 nós foi adotado. Por fim, através da implementação da técnica de otimização, foi possível melhorar o perfil de tensão do sistema, que passou a respeitar os limites estabelecidos pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

Palavras-chave: geração distribuída. otimização. qualidade da energia elétrica.

INTRODUÇÃO

A Geração Distribuída (GD) é caracterizada pela inserção de geradores de pequeno porte, geralmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica, conectada diretamente na rede de distribuição da concessionária ou ao consumidor [1],[2]. Além de ser uma área chave para a sustentabilidade e geração de energia limpa, a ascensão da GD causa um grande impacto em todo o sistema de transmissão e distribuição de energia [3].

Dessa forma, vários benefícios podem ser observados a partir da integração de GD nas redes de distribuição, tais como melhoria no nível de tensão, redução de perdas, aumento da eficiência e confiabilidade energética, e diversificação do fornecimento de energia [4],[5]. Entretanto, é importante notar que, se a integração de GD na rede elétrica for feita de forma inadequada pode gerar diversos problemas no sistema de distribuição, uma vez que, pode modificar algumas variáveis elétrica como corrente de linha, tensão nodal e fator de potência, podendo, dessa forma, desrespeitar os limites estabelecidos pelas normas vigentes [6],[7].

Nesse contexto, alguns estudos têm sido desenvolvidos com a finalidade de otimizar alguns parâmetros do sistema, como perdas elétricas ou custos, por meio da alocação e dimensionamento ótimo de GD e respeitando as restrições operacionais e físicas da rede e dos geradores. Em [8] e [9], por exemplo, foi proposta a otimização da localização e potência nominal das unidades de GD, através de algoritmos de otimização baseado no Algoritmo Genético (AG). De forma similar, em [10] foi abordada o problema de alocação de GD com a finalidade de minimizar os custos de investimentos e as perdas elétricas do sistema em condições normais de operação. Para isso, o autor utiliza um modelo de otimização baseado na Otimização por Enxame de Partículas (PSO).

Por esse motivo, nesse trabalho, será realizada a alocação e o dimensionamento otimizado de GD em um sistema de distribuição, com a finalidade de melhorar o perfil de tensão do alimentador, respeitando as restrições, que englobam os limites operacionais do sistema e dos geradores. Para isso, o AG será utilizado, devido à sua capacidade de adaptação, além da sua operação paralela, o qual, baseado na seleção, mutação e recombinação, é capaz de buscar de forma eficiente a solução otimizada. Para avaliação da metodologia proposta, o alimentador de teste de 34 nós do IEEE será utilizado, que por ser radial trifásico desequilibrado, o torna similar aos sistemas de distribuição reais, promovendo uma maior aplicabilidade dos modelos de otimização propostos.

Algoritmo Genético

Problemas de otimização são encontrados nos mais diversos campos da engenharia [11]. Dependendo do grau de complexidade dos problemas, uma ou outra técnica pode ser mais aconselhável para busca do ponto de ótimo, resultando em soluções rápidas e com baixo esforço computacional [11],[12].

Dentre os principais algoritmos encontra-se o AG. O Método de AG baseia-se no princípio de seleção natural para abordar uma gama de problemas, incluindo a busca de soluções para problemas de otimização. Esse algoritmo de otimização, consiste em uma técnica metaheurística, inspirado na teoria que explica a evolução das espécies, proposta por Darwin [13]. Dessa forma, a ideia principal do método consiste em diversificar os indivíduos da população, para que no final do processo, esses indivíduos estejam mais bem adaptados para a função objetivo e as restrições do problema de otimização. Vale salientar que, o método usado nesse estudo, tem a sequência de passos descrita abaixo [12],[13]:

- Inicialização: cria-se uma população de forma aleatória [12],[13];
- Avaliação: avalia-se as soluções, através de uma função que melhor representa o problema, de forma que não viole as restrições do problema e assim são atribuídos pesos referentes a sua aptidão [12],[13];
- Seleção: são selecionados os indivíduos para reprodução, sendo que indivíduos mais aptos têm maior probabilidade de serem escolhidos para reprodução [12],[13];
- Cruzamento: as características dos indivíduos são recombinadas, ampliando, dessa forma a diversidade genética dos indivíduos da população [12],[13];
- Mutação: responsável pela manutenção da diversidade genética, garantindo que novas características sejam introduzidas na população [12],[13];
- Atualização: os indivíduos criados nestas gerações são inseridos na população [12],[13];
- Finalização: é verificado se as condições de encerramento da evolução foram atingidas, caso negativo, é retornado para a etapa de avaliação, caso contrário encerra-se a execução [12],[13].

Pode-se resumir as etapas do método através do fluxograma da Figura 1.

Fig. 1- Fluxograma do AG.



Para o problema de alocação e dimensionamento otimizado de GD, serão utilizadas duas populações: uma para a variável binária Z_g que indica se há ou não GD no nó g e a outra variável para a potência ativa da GD.

Formulação do Problema de Otimização

O objetivo deste estudo é definir a melhor localização e potência de fornecimento da GD com a finalidade de melhorar o perfil de tensão do sistema; portanto, a técnica de otimização torna-se uma etapa vantajosa neste processo de tomada de decisão.

Nesse contexto, a função objetivo que deve ser minimizada no processo de otimização é composta pelo desvio de tensão que é avaliado em cada nó do sistema, presente em (1), através da alocação e do dimensionamento da GD. Dessa forma, o algoritmo de otimização deve encontrar a melhor localização dos geradores distribuídos e as potências que deverão fornecer.

$$M_{inf} = \sum_{n=1}^{34} \sum_{f=1}^3 (|V_{n,f} - 1|) \quad (1)$$

Os problemas de otimização dentro da modelação de fenômenos físicos, em particular os problemas de engenharia, estão sujeitos a restrições, ou seja, limites que variáveis ou valores relacionados às variáveis podem assumir. Assim, as restrições para esse problema de otimização são apresentadas em (2), (3) e (4), que especificam os limites da tensão dos nós do sistema, a potência nominal e a quantidade de GD disponível para alocação na rede de distribuição.

$$0,93 pu \leq V_{i,f} \leq 1,05 pu \quad (2)$$

$$P_{GD} \leq 50 kW \quad (3)$$

$$n_{GD} \leq 5 \quad (4)$$

onde $V_{i,f}$, em (2), é a tensão no nó i na fase f , P_{GD} , em (2), é a potência nominal da GD e n_{GD} , em (3) corresponde ao número de geradores distribuídos disponíveis para alocação no sistema de distribuição.

É importante notar, para uma operação adequada dos sistemas de distribuição, é necessário que as características elétricas estejam dentro de padrões estabelecidos, no caso do Brasil, por meio do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), o qual regulamenta e estabelece indicadores referentes à qualidade da energia elétrica (QEE). Nesse aspecto, a inserção da GD de forma inadequada, pode contribuir para que limites, no que tange a QEE sejam excedidos.

Dessa forma, em (2) estão definidos os limites aceitáveis de tensão definido pelo PRODIST para uma operação adequada em pontos de conexão em tensão nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV [14].

Sistema de Distribuição

Para avaliar a metodologia proposta nesse trabalho, inicialmente, foi utilizado o alimentador de 34 nós do IEEE, (do inglês, *IEEE 34-Node Test Feeder*), o qual apresenta uma topologia adequada para aplicações na distribuição primária. Esse sistema consiste em um alimentador de distribuição radial trifásico, o que torna similar aos sistemas de distribuição reais, promovendo uma maior aplicabilidade dos modelos de otimização propostos [13]. Além disso, o sistema teste, na Figura 2, possui algumas características relevantes, como por exemplo, uma tensão nominal de 24,9 kV, contudo, considera-se na barra de referência (barra 1) 1,05 pu [15].

Fig. 2. Sistema de teste de 34 nós do IEEE.

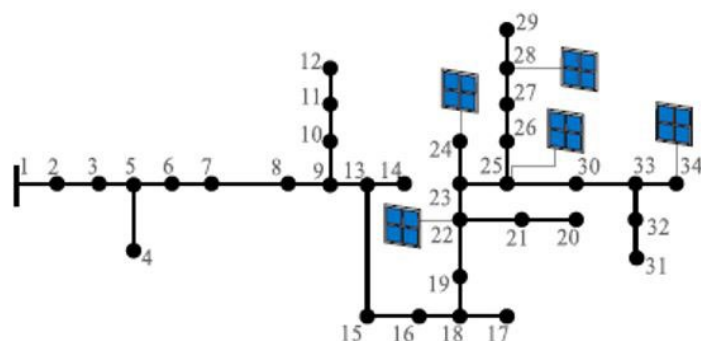


Outro aspecto importante presente no sistema apresentado da Figura (2) é que o fato de ser bastante longo e levemente carregado, faz com que haja uma elevada queda de tensão nos nós mais distantes, proporcionada pelos elementos que constituem o sistema [15].

Resultados e Discussão

Foram consideradas 5 unidades de GD disponíveis para alocação e a potência nominal (P_{nom}) desses sistemas é limitada à 50 kW. Com relação ao AG, a simulação foi realizada utilizando uma população de 50 indivíduos, com uma taxa de *crossover* de 60%, uma taxa de mutação de 30% e o número máximo de gerações de 1000. Assim, considerando a função objetivo (1) e as restrições, apresentadas em (2), (3) e (4), foi possível alcançar a localização e a potência nominal dos geradores distribuídos no alimentador de distribuição analisado, através do método de otimização, como é exibido na Figura 3.

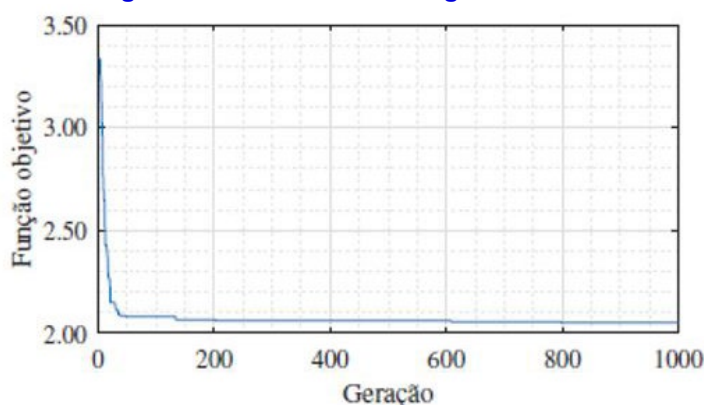
Fig. 3 - Localização da GD no sistema de teste de 34 nós do IEEE.



Ainda na Figura 3 é possível observar que as unidades de GD foram alocadas nos nós 22, 24, 25, 28 e 34, que são mais afastados da subestação, com os seguintes valores de potência nominal, respectivamente, para cada gerador distribuído alocado foi 50, 50, 50, 49 e 50 kW.

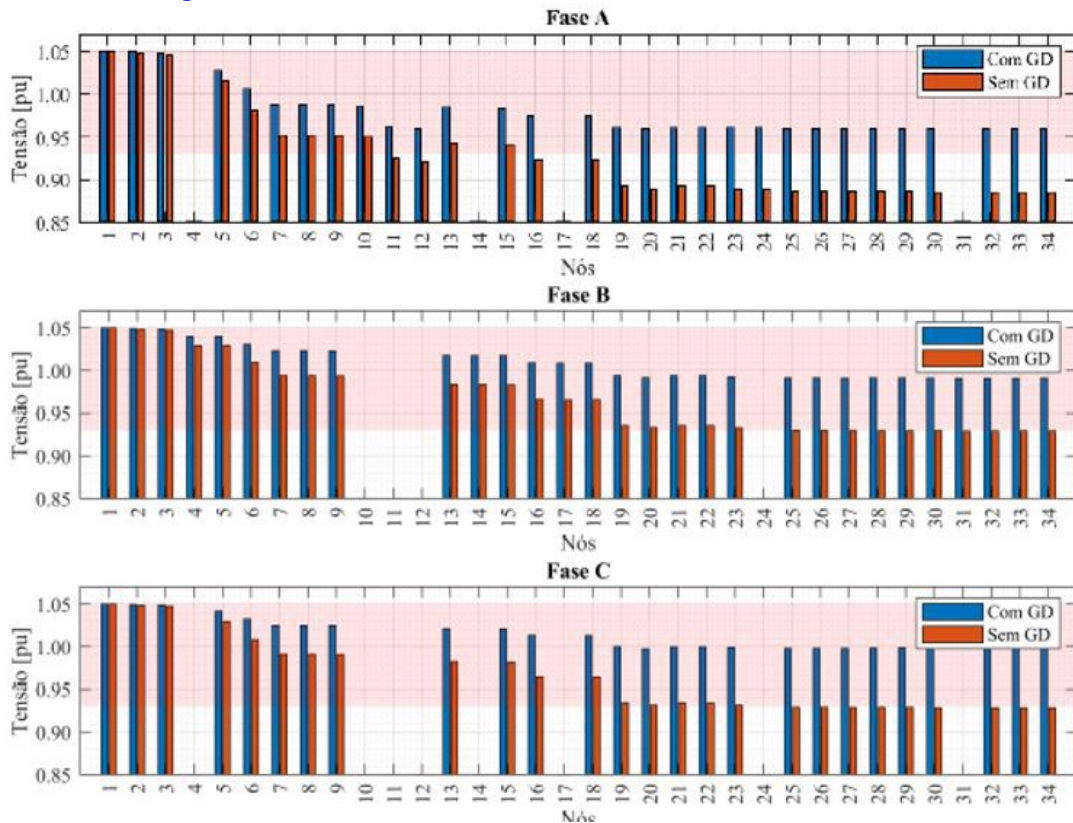
Além disso, a convergência do método do AG é apresentada na Figura 4. É possível observar que a convergência é alcançada antes das 1000 gerações; entretanto, para garantir a confiabilidade dos resultados, foram consideradas 1000 gerações.

Fig. 4 - Processo de convergência do AG.



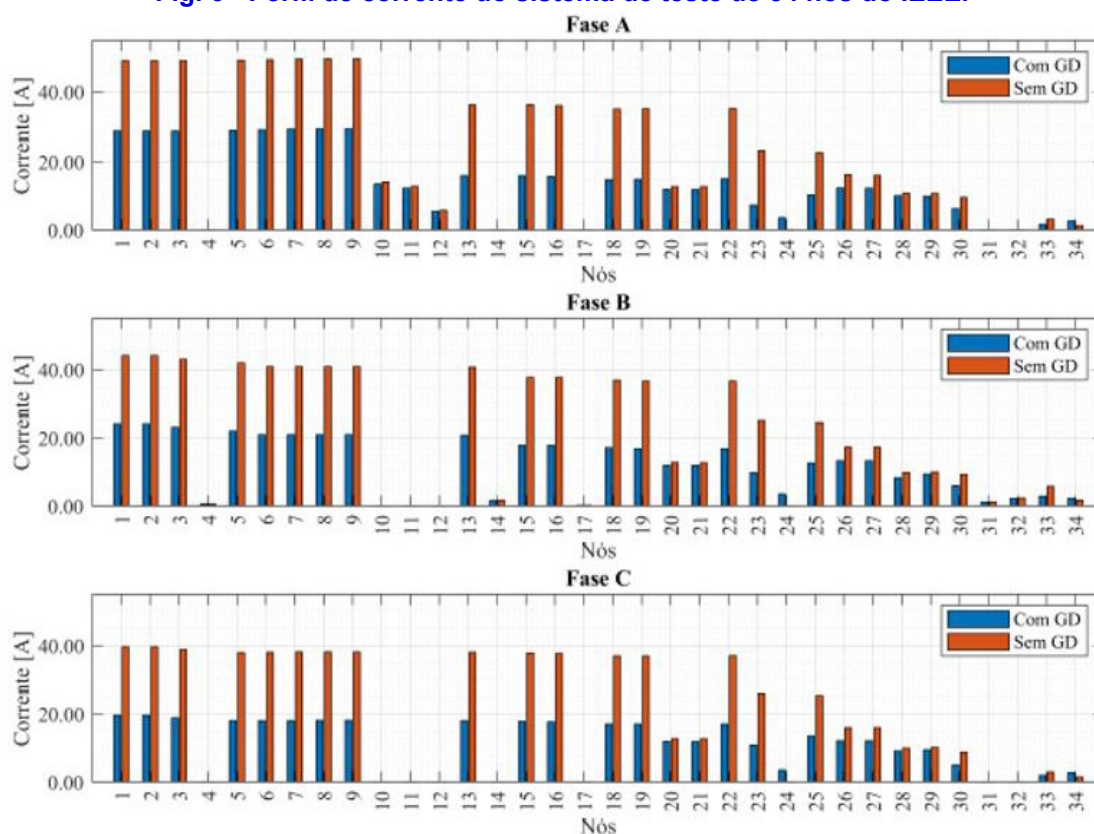
Na Figura 5 são apresentadas as comparações entre o perfil de tensão de cada nó do sistema e suas respectivas fases sem a inserção de GD, e com os geradores distribuídos instalados. É importante notar que, a tensão dos nós reduzem a medida que os nós se afastam da subestação, devido à queda de tensão nas linhas de distribuição. Sendo que no cenário sem GD, para alguns nós, o nível de tensão é inferior ao valor recomendado pelo PRODIST para esse nível de tensão (0,93 pu), o que promove uma redução da qualidade do serviço fornecido. No entanto, com a integração dos geradores distribuídos, este problema é solucionado.

Fig. 5 - Perfil de tensão do sistema de teste de 34 nós do IEEE.



De forma similar, na Figura 6 são apresentadas as comparações entre as magnitudes de corrente do sistema e suas respectivas fases sem a inserção de GD, e com os geradores distribuídos instalados. É evidente que com a integração GD os valores de corrente são reduzidos de forma significativa, o que promove uma redução das perdas elétricas (geradas pelas impedâncias das linhas), e conseqüentemente, uma melhora do perfil de tensão. Além disso, essa atenuação posterga a necessidade de projetos de expansão a longo prazo, uma vez que alivia os condutores elétricos.

Fig. 6 - Perfil de corrente do sistema de teste de 34 nós do IEEE.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, foi proposta a utilização do AG com a finalidade de melhorar o perfil de tensão do sistema de teste do IEEE de 34 nós, através da alocação e dimensionamento de GD. Com base nos resultados alcançados, foi possível reduzir o desvio de tensão em 63,19% a partir da inserção de 5 GDs nos nós 22, 24, 25, 28 e 34 do sistema. Dessa forma, os limites de tensão definidos para alimentadores com tensão entre 1 kV e 69 kV, dados por 0,93 e 1,05 pu, foram respeitados nesse novo cenário. Vale salientar que isso foi possível devido à proximidade dos geradores distribuídos em relação às cargas, o que promove uma redução da corrente de linha do sistema, e por conseguinte, uma redução das perdas elétricas.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Viral and D. Khatod, "Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review," *Renewable and sustainable energy Reviews*, vol. 16, no. 7, pp. 5146–5165, 2012.
- [2] Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Governo Federal, Ministério de Minas e Energia, 2016
- [3] Y. Lopes, N. Fernandes, and D. Muchaluat-Saade, "Geração distribuída de energia: Desafios e perspectivas em redes de comunicação," in *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, Janeiro 2015, p. 55.
- [4] P. CHIRADEJA, "Benefit of distributed generation: A line loss reduction analysis," in *2005 IEEE/PES Transmission Distribution Conference Exposition: Asia and Pacific*, 2005, pp. 1–5.

- [5] M. C. VARGAS, M. A. MENDES, and O. E. BATISTA, “Impacts of high pv penetration on voltage profile of distribution feeders under brazilian electricity regulation,” in 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), 2018, pp. 38–44.
- [6] E. Mulenga, M. H. Bollen, and N. Etherden, “A review of hosting capacity quantification methods for photovoltaics in lowvoltage distribution grids,” *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, vol. 115, p. 105445, 2020. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061519306490>
- [7] P. Chaudhary and M. Rizwan, “Voltage regulation mitigation techniques in distribution system with high pv penetration: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 3279–3287, 2018.
- [8] P. S. Zanin J´unior *et al.*, “Modelo multiobjetivo de alocação e dimensionamento de geração distribu´ıda para redes de distribução,” *Mestrado em Engenharia El´etrica*, Universidade Federal de Goi´as, Goiˆania, 2018.
- [9] V. Y. M. d. Oliveira, “Alocação ´otima de geração distribu´ıda em redes de distribução utilizando algoritmo h´ıbrido baseado em cuckoo search e algoritmo gen´etico,” *Doutorado em Engenharia El´etrica*, Universidade Federal de Par´a, Bel´em, 2018.
- [10] J. Giacomini Junior, “Alocação inteligente de geração fotovoltaica em redes el´etricas de distribução para redução de perdas financeiras em consumidores industriais sens´ıveis a afundamentos de tens˜ao,” *Mestrado em Engenharia El´etrica*, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, 2020.
- [11] M. Gerchman, “Problemas de otimização na engenharia de produção e transportes,” *Mestrado em Engenharia El´etrica*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), Poto Alegre, 2016.
- [12] D. C. Lucas, “Algoritmos gen´eticos: uma introdução,” *Apostila referente a disciplina de Inteligencia Computacional*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2002.
- [13] R. Santos Freire Ferraz, “Alocação e dimensionamento de geração distribu´ıda e coordenação otimizada de religador-fus´ıvel baseados em algoritmos gen´eticos,” *Mestrado em Engenharia El´etrica*, Universidade Federal do Esp´ırito Santo (UFES), Vit´oria, 2020.
- [14] P. Procedimentos de Distribuo, “M´odulo 8–qualidade da energia el´etrica,” *Agˆencia Nacional de Energia El´etrica–ANEEL*, 2010.
- [15] B. M. Lasseeter and P. M. Paigi, “Ieee power engineering society winter meeting,” *New York, USA*, vol. 1, pp. 146–149, 2001.

Campos girantes e a sua atuação nas máquinas elétricas rotativas

Rotating fieldades and their operation in rotating eletric machines

Brenda Leal Mota Santos

Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA, Brasil

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.8

RESUMO

O presente estudo tem o intuito de verificar a atuação do campo girante para perspectivas diferentes do funcionamento das máquinas elétricas. Inicialmente observaram-se os efeitos e consequências ao aplicar correntes trifásicas simétricas no sistema, para diferentes instantes de tempo, analisando e verificando que a amplitude do campo girante manteve-se permanente trafegando com velocidade constante. Em seguida repetiu-se a análise, embora agora para situações de desequilíbrio, ora para um sistema com correntes de alimentação assimétricas por amplitude, ora por um sistema assimétrico oriundo do desequilíbrio no defasamento. Posteriormente, repetiu-se a análise, contudo para uma alimentação bifásica equilibrada, com defasagem espacial de 90°.

Palavras-chave: assimétricas. bifásica. campo girante. equilibrada. máquinas elétricas. trifásicas.

ABSTRACT

The present study aims to verify the performance of the rotating field for different perspectives of the operation of electric machines. Initially the effects and consequences were observed when applying symmetrical three-phase currents in the system, for different instants of time, analyzing and verifying that the amplitude of the rotating field remained permanent traveling with constant velocity. Then the analysis was repeated, albeit now for unbalanced situations, now for a system with asymmetric amplitude feed currents, or for an asymmetric system arising from the imbalance in the lag. Subsequently, the analysis was repeated, however, for a balanced biphasic feed, with a 90 ° spatial lag.¹

Keywords: asymmetrical. biphasic. rotating field. balanced. electric machines. three phase.

INTRODUÇÃO

As máquinas elétricas rotativas podem assumir formas diversificadas, bem como podem ser reconhecidas com diversas nomenclaturas, como por exemplo: CC, síncronas, de imã permanente, de indução, assim por diante. Apesar das máquinas serem aparentemente diferentes, os fundamentos físicos que discorrem o seu comportamento são similares. [1]

As máquinas CA, atuando como geradores, convertem energia mecânica em energia elétrica CA, enquanto como motores convertem energia elétrica CA em energia mecânica. Convencionalmente são subdivididas em duas categorias principais: síncronas e de indução. [2]

Nas síncronas, os contatos rotativos fixados na parte estacionária do motor fornecem as correntes do enrolamento do rotor. Por outro lado, as de indução, através da associação da variação no tempo de correntes no estator e do movimento do rotor em relação ao estator, são induzidas as correntes nos enrolamentos do rotor. [1]

Análoga às máquinas CA, as máquinas CC utilizam o mesmo princípio de conversão eletromecânica de energia, entretanto a energia elétrica é caracterizada como CC. Além disso, estas contêm tensões e correntes CA em seu interior, e para que a saída seja CC, existe um me-

¹ Nota de rodapé na página inicial será utilizada apenas pelo editor para indicar o andamento do processo de revisão. Não suprima esta nota de rodapé quando editar seu artigo.

canismo que converte as tensões CA internas em tensões CC em seus terminais, denominado comutador. [2]

Assim comparando os princípios físicos de ambas tem-se que no caso de uma máquina CC, segundo as considerações de Fitzgerald, associadas tanto com rotor como ao estator, há distribuições fixas de fluxo magnético no espaço e que as características de produção de conjugado da máquina CC provêm da tendência desses fluxos e alinhar entre si. Em contrapartida, a máquina CA de indução, por exemplo, apesar de apresentar inúmeras diferenças, utiliza-se do mesmo princípio, onde embora sejam estacionárias, identificam-se essas mesmas distribuições de fluxo relacionadas ao rotor e estator, estas girando em sincronismo, assim como no motor CC, distanciadas por uma separação angular constante, resultando num conjugado, que é produzido pela tendência dessas distribuições de fluxo a se alinhar entre si. [1]

Em uma máquina trifásica, os enrolamentos das fases individuais estão afastados entre si 120° elétricos no espaço ao redor da circunferência do entreferro e as correntes trifásicas que são de mesma intensidade são defasadas 120° entres si, então a corrente que fluirá no enrolamento trifásico fará com que surja um campo magnético girante de intensidade constante. [1] e [2]

Dessa maneira, possibilita-se verificar o comportamento do campo girante para diferentes situações relatando as condições gerais que levaram aos possíveis resultados. Partindo do pressuposto que campo girante consiste em um dos princípios fundamentais para o entendimento de máquinas elétricas rotativas, na área de Engenharia Elétrica se aplica como princípios norteadores para o funcionamento das mesmas.

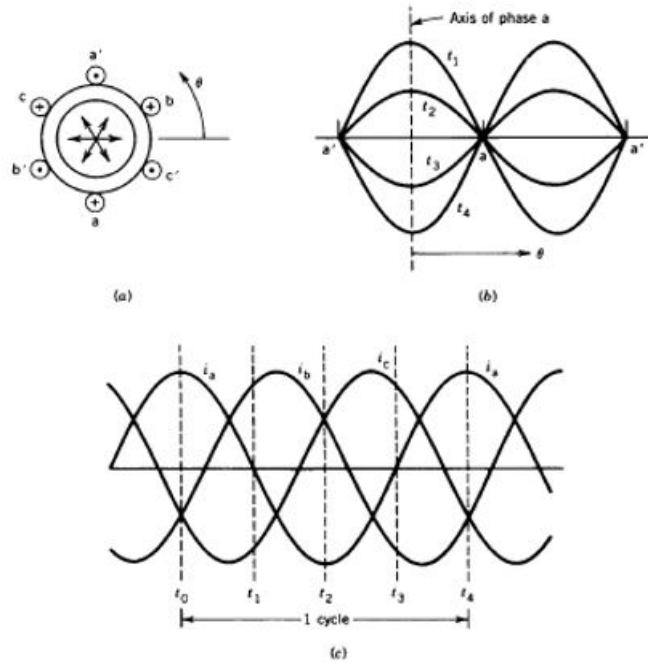
Campo Magnético Girante

O caráter girante ou estacionário do campo de máquinas elétricas girantes depende na realidade do sistema de referência adotado. [3] Assim, por exemplo, um observador que esteja localizado no induzido de uma máquina síncrona com indutor girante, tem-se um campo girante, enquanto em relação ao outro, que esteja localizado no seu indutor (rotor), o campo é estacionário.

Para o entendimento de como é formado um campo rotativo, é necessário entender o efeito de cada fase na distribuição de campo magnético ao longo de todo circuito magnético da máquina.

As correntes que fluem dos enrolamentos de uma máquina trifásica, representados na Figura 1a, por aa' , bb' , cc' , estão deslocados entre si 120 graus elétricos no espaço. É produzida uma força magnetomotriz (FMM) pela corrente que flui através da bobina fase, a FMM resultante é distribuída senoidalmente centrada no eixo da bobina representando o enrolamento de fase. [4]

Fig. 1 - FMM pulsante. [4]



Cada fase é excitada por uma corrente alternada que varia de forma senoidal no tempo. [1] A FMM pulsante é produzida por essa corrente tendo amplitude e direção caracterizadas pelo valor instantâneo da corrente através do enrolamento. A Figura 1b ilustra a distribuição de FMM no espaço em vários instantes devido ao fluxo de corrente alternada na bobina aa'. Cada enrolamento de fase produzirá ondas de FMM similarmente senoidais distribuídas, porém deslocadas por 120 graus elétricos no espaço entre si. [1] e [4]

As correntes que alimentam cada fase são descritas através das expressões:

$$I_a = I_m \cos \omega t \quad (1)$$

$$I_b = I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (2)$$

$$I_c = I_m \cos(\omega t + 120^\circ) \quad (3)$$

O tempo é adotado arbitrariamente como sendo o instante em que a corrente da fase a é máxima positiva. Adotando-se a sequência de fase como positiva, tem-se a Figura 1c que ilustra graficamente as correntes expressas nas equações 1, 2 e 3. A força magnetomotriz é dada através da equação:

No caso, essa análise equivale à fase a, análoga à análise para as demais fases. A direção no espaço é dado pelo vetor unitário $e_{j.0^\circ}$ e assim o vetor de força magnetomotriz é dado por:

$$FMM = NI_a \quad (4)$$

A distribuição de campo tem direção fixa no espaço, sempre orientados segundo a direção do eixo da fase, neste caso a fase A, com a magnitude variável de acordo com a corrente que percorre a bobina dessa fase. [4]

A análise para as demais fases se dá de forma análoga, diferenciando-se apenas na sua direção. Assim as distribuições das fases b e c serão expressas:

$$\overrightarrow{FMM}_b = FMM_b e^{j.120^\circ} \quad (6)$$

$$\overrightarrow{FMM}_c = FMM_c e^{j.240^\circ} \quad (7)$$

Sendo a FMM resultante dada por:

$$\overrightarrow{FMM}_R = \overrightarrow{FMM}_a + \overrightarrow{FMM}_b + \overrightarrow{FMM}_c \quad (8)$$

Sob condições de equilíbrio trifásico, o enrolamento trifásico produz uma onda FMM de entreferro que gira a uma velocidade angular síncrona ω_s . [1]

$$\omega_s = \left(\frac{2}{\text{pólos}} \right) \omega_e \quad (9)$$

A velocidade síncrona em RPM pode ser expressa através:

$$n_s = \left(\frac{120}{\text{pólos}} \right) f_e \quad \text{rpm} \quad (10)$$

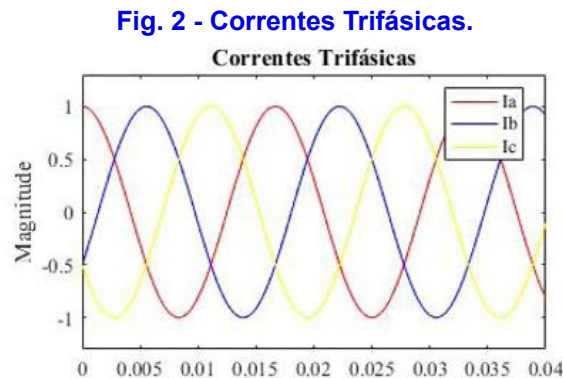
A produção de uma onda FMM girante e fluxo magnético girante correspondente é a chave de operação das máquinas elétricas rotativas polifásicas. É a interação dessa onda de fluxo magnético com o fluxo do rotor que produz o conjugado. [1]

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentadas as análises referentes ao campo girante para diferentes situações.

A. Primeira etapa

As correntes de mesma magnitude e defasadas 120° , ilustradas na Figura 2.



As correntes da Figura 2 aplicadas irão produzir em cada instante de tempo um vetor de campo resultante, composto pelas componentes instantâneas dos vetores individuais de cada fase.

No instante de tempo $\omega t = 0^\circ$, substituindo este valor nas Equações 1, 2 e 3, tem-se:

$$I_a = I_m \cos(0^\circ) = I_m \quad (11)$$

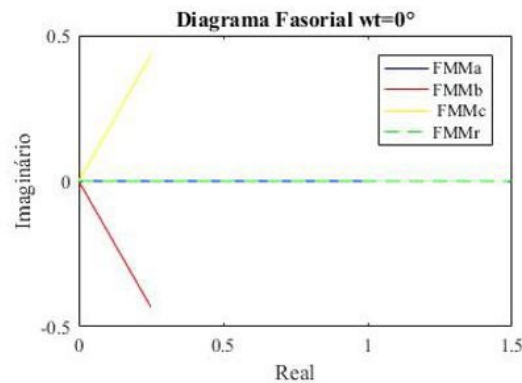
$$I_b = I_c = I_m \cos(\pm 120^\circ) = -0,5 I_m \quad (12)$$

Substituindo em 8, a FMM resultante ficará:

$$\overrightarrow{FMM}_R = 1FMM_a e^{j.0^\circ} - 0,5FMM_b e^{j.120^\circ} - 0,5FMM_c e^{j.240^\circ} = 1,5FMM e^{j.0^\circ} \quad (13)$$

Na Figura 3, está presente o diagrama fasorial para $\omega t = 0^\circ$.

Fig. 3 - Diagrama Fasorial $\omega t=0^\circ$.

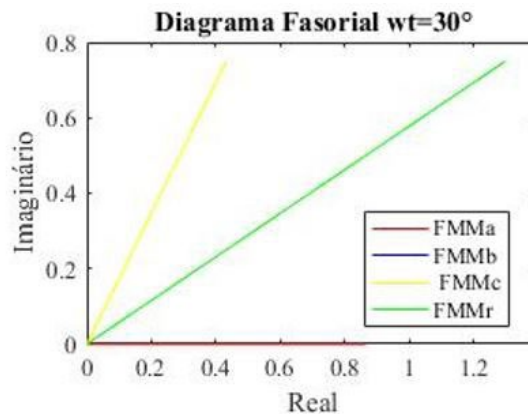


Tanto como os resultados encontrados nos cálculos, como na análise da Figura 3, é possível observar que a força magnetomotriz resultante tem então amplitude máxima igual a 1,5 vezes maior que a amplitude máxima da fase a, que é a que possui um pico mais elevado neste instante de tempo.

No instante de tempo $\omega t = 30^\circ$, a fase b não produz contribuição para a formação do campo resultante, como fica evidente na Figura 4, entretanto as correntes I_a e I_b apresentam os seguintes valores de contribuição $0,866 \text{ Im}$ e $-0,866 \text{ Im}$, respectivamente. Substituindo esses valores na Expressão 8, tem:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{FMM_R} &= 0,866FMM_a e^{j.0^\circ} + 0 & (14) \\ -0,866FMM_c e^{j.240^\circ} &= 1,5FMM e^{j.30^\circ} \end{aligned}$$

Fig. 4 - Diagrama Fasorial $\omega t=30^\circ$.



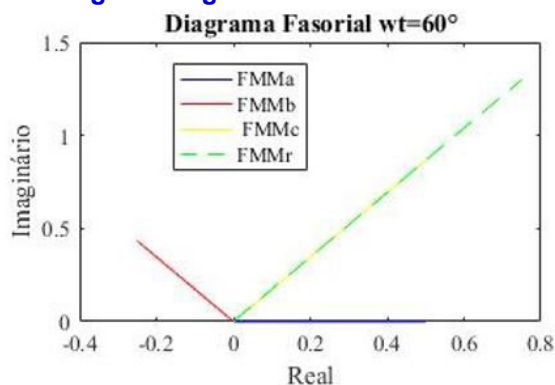
Assim, o campo girante permanece constante em magnitude, porém deslocado 30° no espaço.

Para o instante de tempo $\omega t = 60^\circ$ as correntes nas fases a e b apresentam a mesma magnitude $0,5 \text{ Im}$, enquanto $I_c = -1 \text{ Im}$. O campo resultante ficará:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{FMM_R} &= 0,5FMM_a e^{j.0^\circ} + 0,5FMM_b e^{j.120^\circ} & (15) \\ -1FMM_c e^{j.240^\circ} &= 1,5FMM e^{j.60^\circ} \end{aligned}$$

Mantendo a mesma magnitude em relação aos outros instantes de tempo. Na Figura 5 é possível observar a contribuição de cada fase para $\overrightarrow{FMM_R}$ e o sentido de cada vetor.

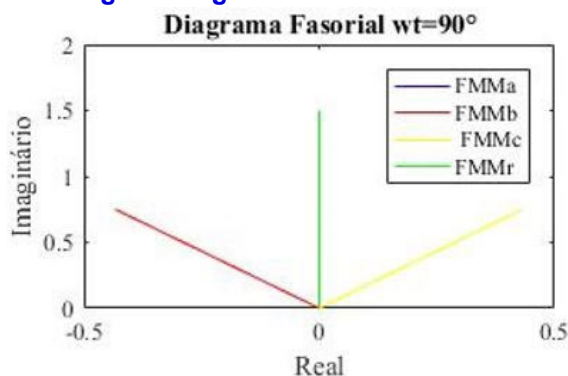
Fig. 5 - Diagrama Fasorial $\omega t=60^\circ$.



Em $\omega t = 90^\circ$, a fase I_a não apresenta contribuição para o campo, como mostrado na Figura 6, enquanto isso as fases a e b as correntes apresentam magnitudes iguais a $0,866 I_m$ e $-0,866 I_m$, respectivamente. Logo a FMM resultante ficará:

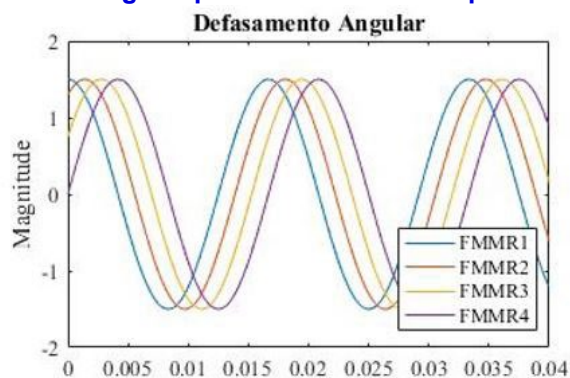
$$\overrightarrow{FMM_R} = 0 + 0,866FMM_b e^{j.120^\circ} - 0,866FMM_c e^{j.240^\circ} = 1,5FMM e^{j.90^\circ} \quad (16)$$

Fig. 6 - Diagrama Fasorial $\omega t=90^\circ$.



Em suma, em todos os instantes de tempo analisados pode-se observar que apesar dos campos relacionados a cada fase manterem sua direção fixa, alterou-se o seu módulo e às vezes até mesmo seu sentido em função da corrente aplicada, enquanto isso o vetor manteve sua amplitude constante, embora alterasse sua direção ao longo do espaço, como mostrado na Figura 7. Nota-se que o campo do entreferro percorreu um deslocamento angular ao longo do tempo, criando assim, o que vem a ser um campo rotativo.

Fig. 7 - Defasamento Angular para Instantes de tempo diferentes-1ªEtapa.



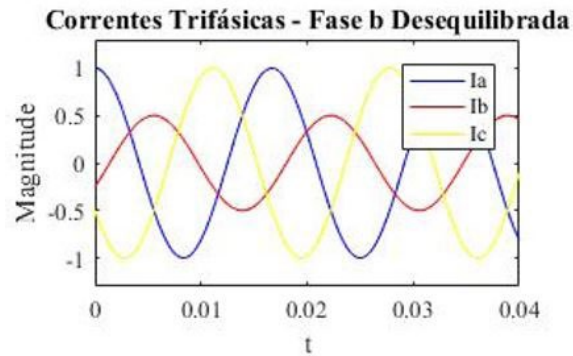
A velocidade angular do vetor resultante é a mesma frequência angular das correntes, chamada de velocidade angular síncrona do campo rotativo. Considerando uma bobina de dois pólos magnéticos, ao alimentar essa bobina com correntes trifásicas de 60 Hz, através da Equação 10 o campo rotativo apresenta uma velocidade síncrona de 3600 RPM, nesta nota-se que

para tal resultado leva-se em conta a frequência e número de pólos da máquina, que são grandezas constantes, o que leva a crer que a velocidade também será constante.

B. Segunda Etapa

Para essa análise será levado em consideração que a amplitude da fase é metade das fases a e mantendo um defasamento angular de 120° . Dessa forma o gráfico para as correntes é mostrado na Figura 8.

Fig. 8 - Correntes Trifásicas Desequilibradas (Amplitudes).



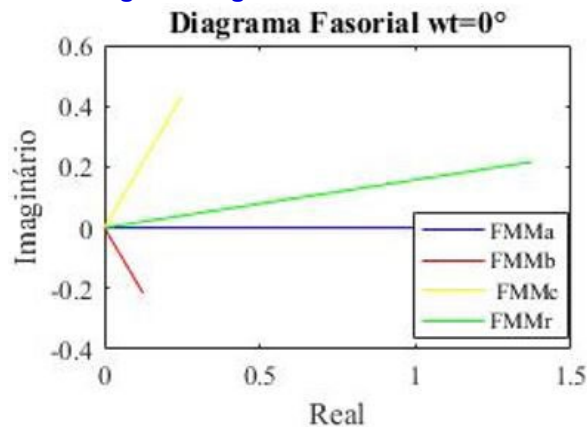
As correntes da Figura 8 produzirão um vetor resultante para cada instante de tempo.

No instante de tempo $\omega t = 0^\circ$, as magnitudes das correntes assumem os valores: $I_a = 1 I_m$, $I_b = -0,25 I_m$ e $I_c = -0,5 I_m$, mostrado na Figura 9. A FMM resultante ficará:

$$\overrightarrow{FMM_R} = 1FMM_a e^{j.0^\circ} - 0,25FMM_b e^{j.120^\circ} - 0,5FMM_c e^{j.240^\circ} = 1,4FMM e^{j.9^\circ} \quad (17)$$

A amplitude da FMM resultante é 1,4 vezes maior que amplitude da fase a.

Fig. 9 - Diagrama Fasorial $\omega t=0^\circ$.

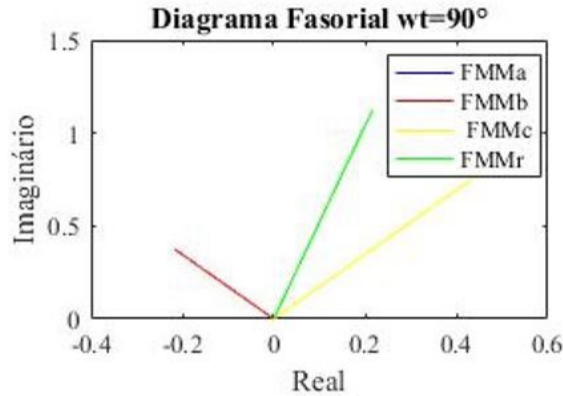


No instante $\omega t = 90^\circ$ terá $I_a = 0 I_m$, $I_b = 0,433 I_m$ e $I_c = -0,866 I_m$, como mostrado na Figura 10, a fase a não apresenta contribuição para FMM resultante, que será, portanto:

$$\overrightarrow{FMM_R} = 0 + 0,433FMM_b e^{j.120^\circ} - 0,866FMM_c e^{j.240^\circ} = 1,15FMM e^{j.79^\circ} \quad (18)$$

A magnitude e a direção da FMM resultante apresentam-se diferentes em relação ao instante de tempo anterior.

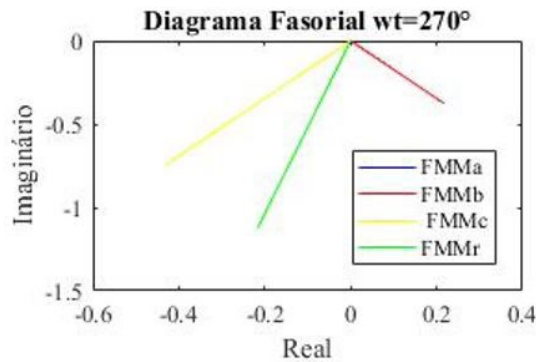
Fig. 10 - Diagrama Fasorial $\omega t=90^\circ$.



No instante $\omega t = 270^\circ$, terá $I_a = 0$, $I_b = -0,433I_m$ e $I_c = 0,866$, como ilustrado na Figura 11, para este instante de tempo, assim como em $\omega t = 90^\circ$ a fase a não apresenta contribuição, e os sentidos da fase b e c, são opostos a este instante, desta forma a FMM resultante:

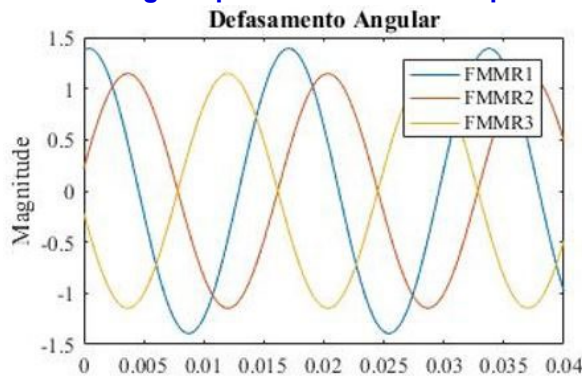
$$\overline{FMM}_R = 0 - 0,433FMM_b e^{j.120^\circ} + 0,866FMM_c e^{j.240^\circ} = 1,15FMM e^{j.-100,9^\circ} \quad (19)$$

Fig. 11- Diagrama Fasorial $\omega t=270^\circ$.



Percebe-se que nos instantes de tempo analisados notou-se, assim como a análise da primeira etapa, que os campos relacionados a cada fase mantiveram sua direção fixa, alterando o seu módulo e seu sentido em função da corrente aplicada, entretanto, diferente da primeira análise o vetor \overline{FMM}_R apresentou variação em sua amplitude alterando também sua direção ao longo do espaço, como mostrado na Figura 12.

Fig. 12 - Defasamento Angular para Instantes de tempo diferentes-2ªEtapa.

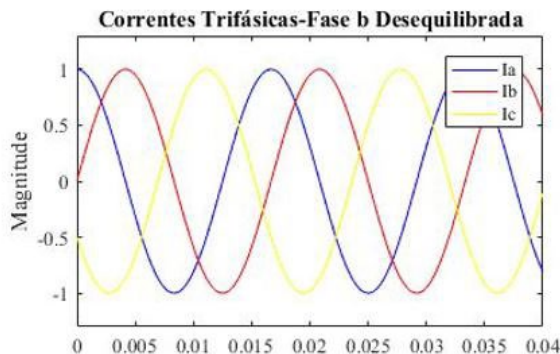


C. Terceira Etapa

Para a análise da terceira etapa a amplitude das correntes de todas as fases será a mes-

ma, no entanto será admitido que a fase b está atrasada 90° em relação à fase a, como ilustrado na Figura 13.

Fig. 13 - Correntes Trifásicas Desequilibradas (Fases).

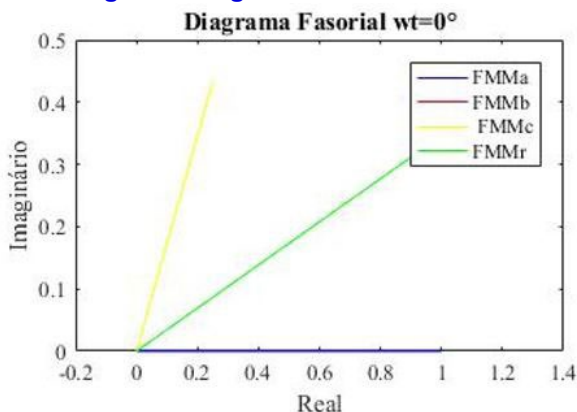


Como nas etapas anteriores as correntes da Figura 13 produzirão um vetor resultante para cada instante de tempo.

No instante $\omega t = 0^\circ$ notou-se que a fase b não apresenta contribuição para \overline{FMM}_R , enquanto isso as correntes assumem valores de $I_a = 1 I_m$ e $I_c = -0,5 I_m$, como mostrado na Figura 14, desta forma a FMM resultante será:

$$\begin{aligned} \overline{FMM}_R &= 1FMM_a e^{j.0^\circ} + 0 - 0,5FMM_c e^{j.240^\circ} \quad (20) \\ &= 1.3229FMM e^{j.19,11^\circ} \end{aligned}$$

Fig. 14 - Diagrama Fasorial $\omega t=0^\circ$.

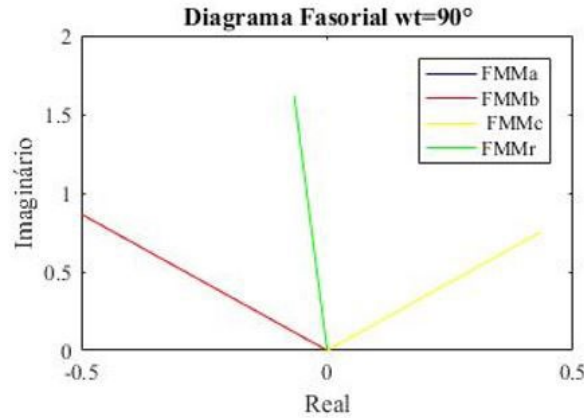


A amplitude da FMM resultante fica 1,3229 vezes maior que a amplitude da FMM na fase a, a qual é a que possui maior magnitude neste instante.

No instante $\omega t = 90^\circ$ das contribuições para , assim como mostrado na Figura 15, tem de $I_a = 0 I_m$, $I_b = 1 I_m$ e $I_c = -0,5 I_m$, logo a FMM resultante ficará:

$$\begin{aligned} \overline{FMM}_R &= 0 + 1FMM_b e^{j.120^\circ} - 0,5FMM_c e^{j.240^\circ} \quad (21) \\ &= 1.617FMM e^{j.92,37^\circ} \end{aligned}$$

Fig. 15 - Diagrama Fasorial $\omega t=90^\circ$.



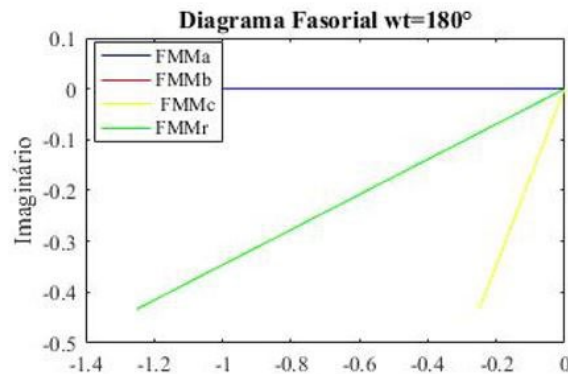
É possível perceber que a amplitude já não se manteve constante em relação ao instante de tempo anterior.

No instante $\omega t = 180^\circ$ terá $I_a = -1 I_m$, $I_b = 0 I_m$ e $I_c = -0,866 I_m$, ilustrado na Figura 16, logo a FMM resultante será:

$$\overline{FMM_R} = -1FMM_a e^{j.0^\circ} + 0 \quad (22)$$

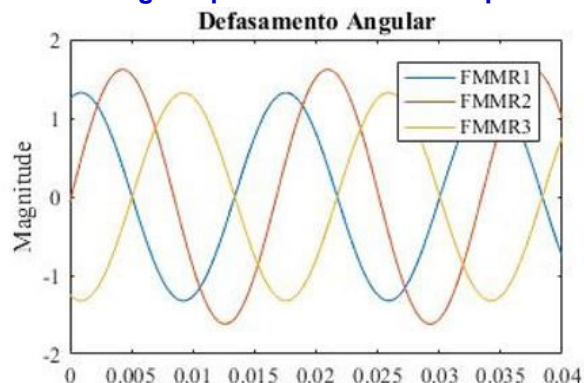
$$-0,866I_m FMM_c e^{j.240^\circ} = 1.3229FMM e^{j.-160,9^\circ}$$

Fig. 16 - Diagrama Fasorial $\omega t=180^\circ$.



Similar às duas primeiras análises nota-se que nos diferentes instantes de tempo os campos relacionados a cada fase mantiveram sua direção fixa, alterando o seu módulo e sentido em função da corrente aplicada, além disso, fica claro, que assim como na segunda análise, por tratar de um sistema desequilibrado, onde nesta situação difere, pois o desequilíbrio é proveniente do defasamento, enquanto na anterior ocorreu devido ao desequilíbrio na amplitude, vetor apresentou variação em sua magnitude alterando também sua direção ao longo do espaço, como mostrado na Figura 17.

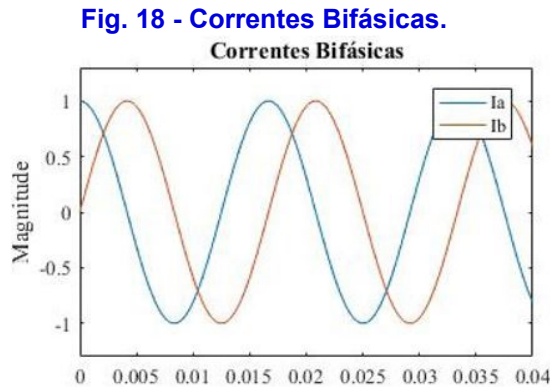
Fig. 17 - Defasamento Angular para Instantes de tempo diferentes-3ªEtapa.



D. Quarta Etapa

Para essa análise será levada em consideração que o sistema será alimentado por uma tensão bifásica equilibrada, aplicada a bobinas idênticas, cujos eixos estão deslocados 90° .

A Figura 18 mostra o comportamento dessas correntes bifásicas, também defasadas 90° entre si.



Assim como nas etapas anteriores, estas correntes da Figura 18 serão aplicadas para instantes de tempo diferentes, produzindo, portanto, um vetor resultante para cada momento. Nesse diapasão:

$$I_a = I_m \cos \omega t \quad (23)$$

$$I_b = I_m \cos(\omega t - 90^\circ) \quad (24)$$

Assim:

$$FMM_a = NI_a \quad (25)$$

$$FMM_b = NI_b \quad (26)$$

Levando em consideração a direção:

$$\overrightarrow{FMM_a} = NI_a e^{j.0^\circ} = F_m \cos(\omega t) \quad (27)$$

$$\overrightarrow{FMM_b} = NI_b e^{j.90^\circ} = F_m \text{sen}(\omega t)j \quad (28)$$

Logo:

$$\overrightarrow{FMM_R} = \overrightarrow{FMM_a} + \overrightarrow{FMM_b} \quad (29)$$

$$\overrightarrow{FMM_R} = F_m (\cos(\omega t) + j \text{sen}(\omega t)) = F_m \angle \omega t \quad (30)$$

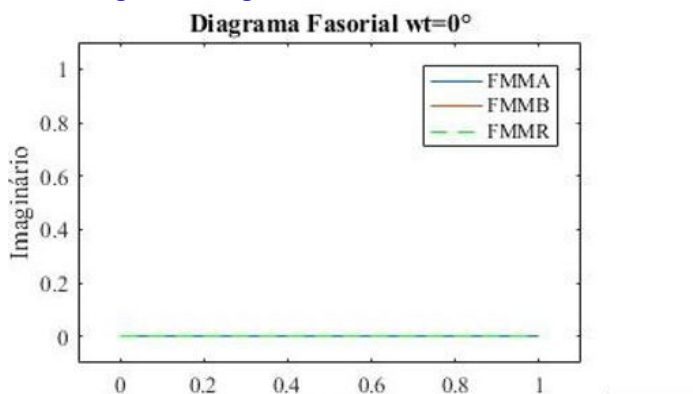
Assim:

$$\overrightarrow{FMM_R} = F_m \cos(\omega t - \phi) \quad (31)$$

Feito isso, analisou o comportamento do campo girante para instantes de tempo diferentes.

No instante de tempo $\omega t = 0^\circ$ é possível observar, na Figura 19, que a corrente I_b não contribui para o aparecimento de um FMM na fase b.

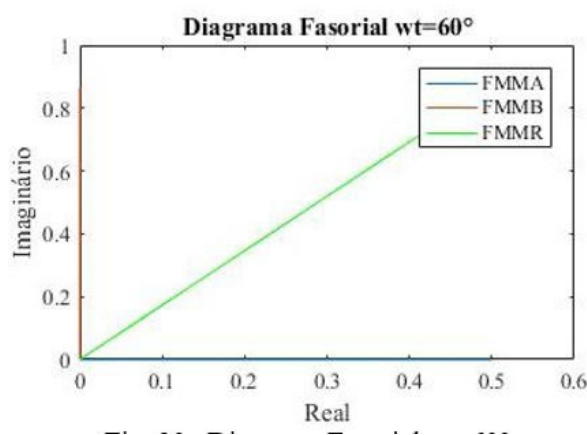
Fig. 19 - Diagrama Fasorial $\omega t=0^\circ$.



Como só a fase a, apresenta contribuição para o sistema, a \overrightarrow{FMM}_R possui amplitude e direção em comum com a mesma, mostrado na Figura 19.

No instante $\omega t = 60^\circ$ as duas fases apresentaram contribuição para a formação da FMM resultante, como mostrado na Figura 20.

Fig. 20 - Diagrama Fasorial $\omega t=60^\circ$.



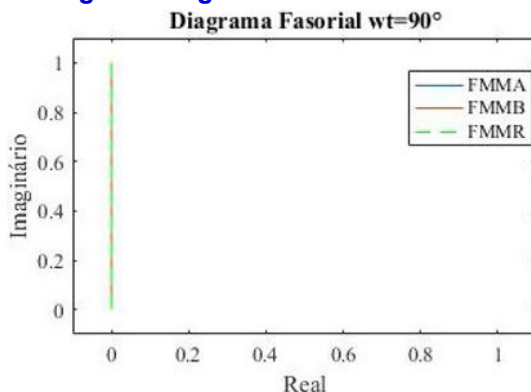
Dessa maneira, as correntes apresentaram valores

$I_a = 0,5 I_m$ e $I_b = 0,866 I_m$, e o \overrightarrow{FMM}_R será:

$$\overrightarrow{FMM}_R = 0,5 FMM_a e^{j.0^\circ} + 0,866 FMM_b e^{j.90^\circ} = 1 FMM e^{j60^\circ} \quad (32)$$

No instante de tempo $\omega t = 90^\circ$ a corrente I_a não apresenta contribuição para a formação da FMM resultante, como ilustrado na Figura 21, e a corrente restante $I_b = 1 I_m$.

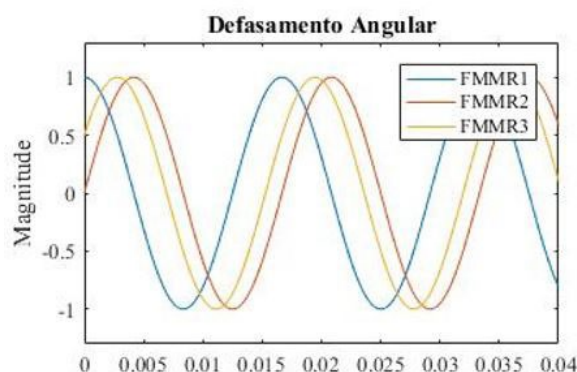
Fig. 21- Diagrama Fasorial $\omega t=90^\circ$.



Na Figura 21, também é possível notar que a \overrightarrow{FMM}_R apresenta mesma magnitude e direção que a FMM na fase a.

Portanto, similar à análise da primeira etapa é possível notar que os campos respectivos a cada fase manterem sua direção inalterada, variando o seu módulo e às vezes até mesmo seu sentido em função da corrente aplicada, enquanto isso o vetor $\overrightarrow{FMM_R}$ manteve sua amplitude constante, embora alterasse sua direção ao longo do espaço, como mostrado na Figura 22.

Fig. 22 - Diagrama Fasorial $\omega t=90^\circ$.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho prestou-se a analisar o comportamento do campo girante para diferentes situações em diferentes instantes de tempo, explanando as condições gerais que levaram aos resultados encontrados.

Desse diapasão, pode se aferir que as correntes trifásicas simétricas produzem um campo girante de amplitudes constantes, independente do tempo que seja analisado, o mesmo ocorre para as correntes bifásicas, desde que estas sejam também equilibradas. Por outro lado, as correntes assimétricas produzem campos de magnitude variante no decorrer do tempo em que são analisadas.

Por tudo exposto, é possível observar que nos estudos de sistemas de energia elétrica polifásicos podem ocorrer situações que é impreterível a determinação das grandezas elétricas, como no caso de regimes de funcionamentos assimétricos, que resultam em configurações não padronizadas como esperadas em regime equilibrado.

Para o funcionamento das máquinas elétricas de corrente alternada polifásicas existe a necessidade de fazer uma análise referente os regimes de funcionamento assimétricos, oriundos pela maneira como é feita a sua alimentação, ou então pelas características construtivas da máquina, ou também, do circuito elétrico de carga da máquina.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Umans, "Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley", 7 ed., Porto Alegre: AMGH, 2014.
- [2] S. J. Chapman, "Fundamentos de máquinas elétricas", 5 ed., Porto Alegre: AMGH, 2013.
- [3] P.C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley and Sons, 2nd Edition, 1996.
- [4] A. G. Falcone, "Eletromecânica: transformadores e transdutores, conversão eletromecânica de energia, máquinas elétricas", São Paulo - 1979.

NOMENCLATURA

I_a corrente que alimenta a fase

I_b corrente que alimenta a fase b

I_c corrente que alimenta a fase c

I_m o valor máximo de corrente

FMM força Magnetomotriz

N o número de espiras efetivas da bobina

FMMa força Magnetomotriz devido a fase a

FMMb força Magnetomotriz devido a fase b

FMMc força Magnetomotriz devido a fase c

FMMR força Magnetomotriz devido a fase resultante

ω_s é a velocidade angular espacial síncrona da onda de FMM de entreferro [rad/s].

ω_e a frequência angular da excitação elétrica aplicada [rad/d]

Análise transitório e regime permanente de um sistema realimentado

Brenda Leal Mota Santos

Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA, Brasil

DOI: 10.47573/aya.5379.2.104.9

INTRODUÇÃO

A função de transferência do sistema geral de segunda ordem é dada por:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

As grandezas denominadas fator de amortecimento (ζ) e frequência natural (ω_n), presentes em (1), descrevem o comportamento do sistema^[1]. Enquanto ω_n é a frequência de oscilação do sistema sem amortecimento, para a entrada ao degrau, a depender do tipo de resposta que se deseja é necessário um valor, ou faixa de valores muito específica para ζ .

Respostas naturais do sistema

Nesta seção serão definidas as seguintes respostas naturais para sistemas de 2ª ordem:

Resposta criticamente amortecida

Esses sistemas apresentam dois polos reais e iguais, que consiste em uma resposta exponencial multiplicada pelo tempo, onde $\zeta=1$ ^[1].

Resposta superamortecida

Esses sistemas apresentam dois polos reais e distintos, cada um dos polos gera uma resposta natural exponencial, cuja frequência exponencial é igual à posição do polo, onde $\zeta > 1$ ^[1].

Resposta Subamortecida

Esses sistemas possuem dois polos complexos, em que a parte real do polo corresponde à frequência de decaimento exponencial da amplitude da senoide, já a parte imaginária do polo corresponde à frequência da oscilação senoidal, onde $0 < \zeta < 1$ ^[1].

Resposta não amortecida

Esses sistemas possuem dois polos no eixo imaginário cuja frequência é igual a posição dos polos imaginários, a ausência da parte real no par de polos corresponde a uma exponencial que não apresenta decaimento, onde $\zeta=0$ ^[1].

Resposta Instável

Um sistema instável não pode ser projetado para ter uma resposta transitória específica ou para atender um requisito de erro em regime permanente.

Especificações Transitórias

Nesta seção será relacionado às especificações da posição do polo com a resposta ao degrau. Essas especificações são também conhecidas como especificações de desempenho para sistemas de segunda ordem. São usadas para estudar o transitório da resposta do sistema à entrada ao degrau.

Tempo de subida (Tr)

O tempo que a resposta do sistema leva para variar de 0,1 a 0,9 do valor final^[1].

Tempo pico (Tp)

O tempo que a resposta do sistema atinge o pico de maior valor, ou pico máximo^[1] e dado por:

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (2)$$

Ultrapassagem percentual (%UP)

O valor de ultrapassagem em percentagem é o valor pelo qual a onda ultrapassa o valor em regime permanente, ou valor final, no instante de pico^[1]. Dado por:

$$\%UP = e^{-\left(\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} * 100 \quad (3)$$

Tempo de acomodação (Ts)

O tempo em que o sistema passa a oscilar numa faixa de $\pm 2\%$ em relação ao valor de regime permanente^[1]. Dado por:

$$T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (4)$$

Dominância

Quando o sistema é superior a 2ª ordem as especificações de desempenho não podem ser usadas para o estudo. Mas ainda assim o sistema pode ser aproximado para um sistema de 2ª ordem, isso vai depender da posição dos polos conjugados de 2ª ordem em relação aos demais polos. Se a parte real dos polos conjugados for 5 vezes menor que a parte real dos demais polos, este exerce dominância sobre os outros, deste modo a resposta do sistema pode ser aproximada a um sistema de segunda ordem^[1].

Adição de Polos

A adição de um terceiro polo acrescenta na transformada inversa um novo termo de decaimento, se o coeficiente de decaimento desse novo termo for muito maior que o já existente ele decai tão rápido que não causa influencia na resposta, se o termo não for grande o suficiente pra ser ignorado, ele não terá decaído até um valor insignificante no momento de pico do transitório subamortecido, dessa forma causando uma influencia na resposta. A adição de um polo na origem adiciona um “termo de decaimento” que demora tanto pra estabilizar, que mesmo após o transitório, a resposta continua crescendo^[1].

Adição de zeros

Caso o sistema tenha a adição de zeros, a forma da resposta não muda, as especificações de ultrapassagem percentual e tempo de pico são alteradas, aumentando a primeira e diminuindo a segunda. Quanto mais os zeros se distanciam dos polos dominantes em direção ao

infinito sua influencia sobre a resposta diminui. Caso esse zero seja inserido no semiplano direito ocorre um fenômeno onde a resposta do sistema segue o sentido oposto, antes de apresentar a resposta esperada pela dominância do sistema, os sistemas em que esse efeito ocorre são denominados como sistemas de fase não mínima^[1].

Realimentação Unitária e Erros em Regime Permanente

A função de transferência em malha fechada de um sistema ($G(s)$) com um controlador ($c(s)$) em malha fechada é dado através de:

$$T(s) = \frac{c(s)H(s)G(s)}{1 + c(s)H(s)G(s)} \quad (5)$$

O erro em regime permanente pode ser calculado a partir da função e transferência em malha fechada $T(s)$, ou da função de transferência em malha aberta $G(s)$, para os sistemas com realimentação unitária. Para a entrada ao degrau o sistema é limitado pela constante de erro estático K_p , que denominada constante de posição, o valor dessas constantes dependem da forma de $G(s)$, principalmente do número de integrações puras no caminho à frente, para isso é definido os tipos do sistema, como sendo o valor de n no denominador, o número de integrações puras no caminho à frente, desta forma se $n=0$, o sistema é dito tipo 0 e assim sucessivamente ^[1].

MATERIAIS

Nessa seção serão apresentados os materiais utilizados no trabalho.

- Circuito eletrônico de 3ª ordem;
- Fonte simétrica +12/-12;
- Computador:
 - Scilab;
 - Matlab.

METODOLOGIA

Inicialmente, foi feita a análise do sistema aproximado de segunda ordem (obtido no primeiro experimento) em relação ao período transitório e regime permanente. Para isso, utilizou-se o sistema em malha fechada e realimentação unitária, com um controlador dado por $C_1(s)=K$, e com isso foi calculado o valor do ganho K , para obter um sistema: criticamente amortecido, superamortecido, subamortecido, não amortecido e instável.

Feito isso, utilizando o Simulink (ferramenta do *software* Matlab), aplicou-se os ganhos K encontrados para cada caso, nos modelos de 2ª e 3ª ordem do sistema e comparou os valores obtidos. Em seguida, foi aplicada no circuito, uma entrada degrau em malha fechada e realimentação unitária através do *software* Scilab para os 5 valores de K encontrados. Com isso, foi possível analisar os dados alcançados e comparar com os dados obtidos com o Simulink.

Para a segunda parte, foi analisado o efeito de um polo adicional na origem, para isso, utilizou-se um controlador $C_2(s) = \frac{K}{s}$, com degrau unitário na entrada e realimentação unitária. Deste modo, foram simulados os sistemas de 2ª e 3ª ordem a partir da aplicação do controlador para os valores de K já encontrados na etapa anterior. Depois disso, foi aplicado na entrada um degrau unitário e realimentação unitária para os 5 valores de K calculados com $C_2(s) = \frac{K}{s}$, no circuito elétrico e foi possível comparar e avaliar os resultados obtidos.

Por fim, analisou-se o efeito de zeros adicionais, a partir da aplicação de uma entrada degrau e realimentação unitária, para os controladores $C_3(s) = \frac{s+0,1}{s}$ e $C_4(s) = \frac{K(s-4)}{s}$, sendo que para o controlador $C_4(s)$ calculou-se o K tal que o sistema em malha fechada seja estável, e com isso, simulou-se os sistemas de 2ª e 3ª ordem, para ambos. Em seguida, aplicaram-se esses controladores em momentos distintos, com entrada degrau unitário e realimentação unitária ao circuito elétrico e avaliaram-se os resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados a partir dos controladores mencionados utilizando a metodologia proposta neste trabalho.

Análise de Transitório e Regime Permanente

A partir da função de transferência de segunda ordem (6):

$$G(s) = \frac{49,03}{s^2 + 4,578s + 24,54} \quad (6)$$

Utilizando (6) em malha fechada, com realimentação unitária e admitindo-se um controlador $C_1(s)=K$, obtém-se (7).

$$T_1(s) = \frac{49,03K}{s^2 + 4,578s + 24,54 + 49,03K} \quad (7)$$

Através de (7), e a partir da análise dos valores de ζ é possível analisar comportamentos para as diferentes respostas do sistema. Desta forma, tem-se:

- Para $\zeta=1, \omega_n=2,289, K=-0,3936$;
- Para $\zeta>1, \omega_n>2,289, K<-0,3936$;
- Para $0<\zeta<1, \omega_n>2,289, -0,3936<K<\infty$;
- Para $\zeta=0, \omega_n \rightarrow \infty, K<\infty$.
- Para a instabilidade, através do Routh-Hourwitz, tem-se $K<-0,5005$.

Então na Tabela 1 estão dispostos os valores de K, que foram usados para as análises.

Tabela 1 - Valores de K para diferentes respostas do sistema para C₁ (s).

Resposta	Valor de K
Criticamente amortecida	-0,3936
Superamortecida	-0,4500
Subamortecida	0,5000
Não amortecido	2
Instável	-0,5010

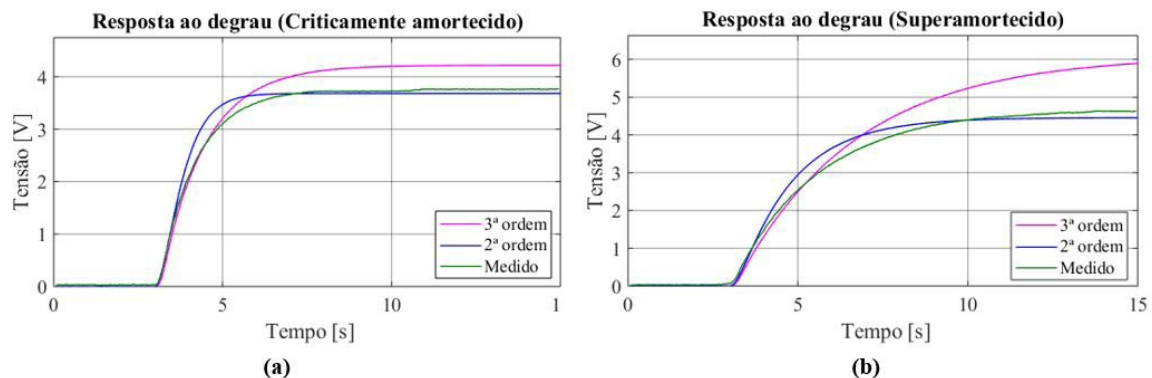
Com os valores da Tabela 1, foi possível obter as especificações de desempenho que estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações de desempenhos.

	Criticamente amortecido	Superamortecido	Subamortecido	Não amortecido	Instável
Polos em M.F.	-2,2890 ± j0,0047	-0,6268; -3,9512	-2,2890 ± j6,6193	-2,289 ± j10,833	-4,5832; 0,0052
ζ	1	1,4545	0,3268	0,2067	-
ω_n	2,2890	1,5737	7,0039	11,0725	-
T_r	1,4800	4,4925	0,1937	0,1095	-
T_p	-	-	0,4746	0,29	-
$MP\%$	-	-	33,74%	51,48%	-
T_s	1,7475	1,7475	1,7475	1,7475	-

Feito isso, se buscou analisar os resultados, com as respostas ao degrau encontradas através do *software* Matlab para os sistemas de segunda e terceira ordem, além da resposta obtida experimentalmente e então as comparou. Desta forma na Figura 1 é possível verificar graficamente algumas respostas encontradas.

Figura 1 - Curvas sobrepostas das respostas ao degrau para funções de 3ª e 2ª e valores medidos, para C₁ (s). (a) Criticamente Amortecido (b) Superamortecido.

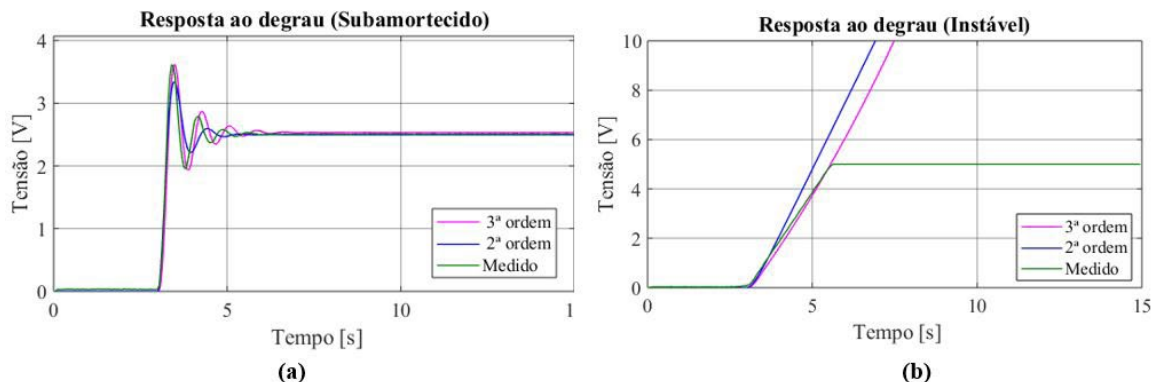


Na Figura 1a nota-se que inicialmente as três curvas da resposta criticamente amortecida tem comportamento semelhante, em aproximadamente 3 segundos as curvas medida e de 3ª ordem aparentam a mesma trajetória, porém deslocadas, o sistema não representa perfeitamente o circuito de 3ª ordem, sendo que o mesmo ocorre na Figura 1b com a resposta superamortecida. Embora isso ocorra, em ambas imagens, nota-se também que as curvas com valores medidos e as curvas de segunda ordem possuem valor em regime permanente aproximadamente próximos.

Na Figura 2 estão presentes as respostas subamortecida (a) e instável (b), onde as curvas de 2ª e 3ª ordem e a curva com valores medidos apresentam-se sobrepostas a seu respec-

tivo tipo de resposta, e desse modo pode se levantar algumas considerações para sua devida análise.

Figura 2 - Curvas sobrepostas das repostas ao degrau para funções de 3ª e 2ª e valores medidos, para C_1 (s). (a) Subamortecido (b) Instável.

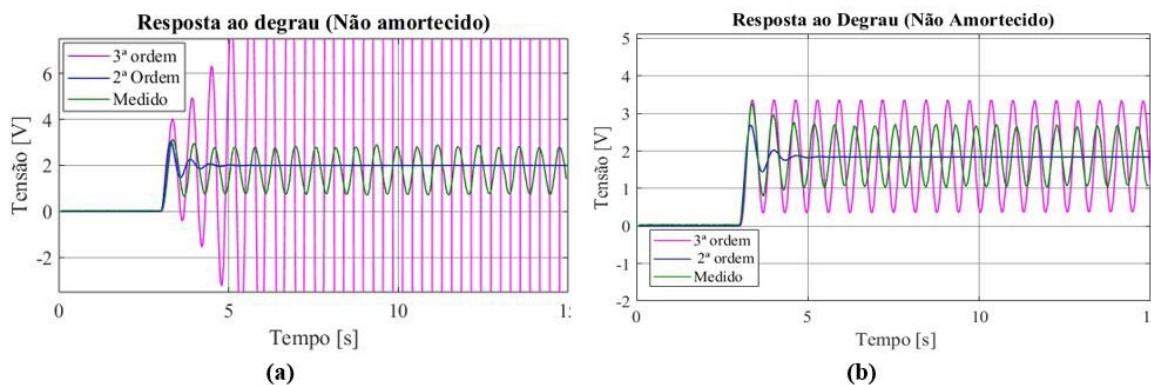


Analisando a Figura 2a, pode-se observar que as respostas subamortecidas inicialmente apresentam comportamentos similares, entretanto no instante de pico pode-se verificar que o valor do sobressinal da curva obtida experimentalmente é mais próximo do sobressinal da curva de 3ª ordem. Por outro lado, o sistema de 3ª ordem apresenta um comportamento mais oscilatório que a curva obtida através dos valores medidos, partindo dessa análise, admite-se que nessa perspectiva a curva do sistema de 2ª ordem se aproxima mais da curva experimental.

Na Figura 2b, nota-se que até o tempo de 5,6 s, a curva de 3ª ordem é a que mais se aproxima da curva obtida experimentalmente. Os sistemas de 2ª e 3ª ordem tendem a infinito como passar do tempo, isso não pode ser verificado no sistema obtido através dos dados medidos, porque a tensão máxima (saturação) do Arduino é de aproximadamente 5 V, sendo possível notar na Figura 2b.

Na Figura 3 estão presentes as curvas de 2ª e 3ª ordem e a curva obtida experimentalmente para um sistema não amortecido.

Figura 3 - Curvas sobrepostas das repostas ao degrau para funções de 3ª e 2ª e valores medidos para um sistema instável, para C_1 (s). (a) Não amortecido (instável para sistema de terceira ordem). (b) Não amortecido (estável).



Na Figura 3a, embora as oscilações ocorram simultaneamente quando sobrepostas, a resposta ao degrau de 2ª ordem é a que inicialmente mais se assemelha com a resposta encontrada experimentalmente. Apesar da resposta de 2ª ordem aparentar ter um comportamento subamortecido, verifica-se à medida que a imagem é aproximada, uma contínua oscilação em sua resposta, embora não tão expressiva em relação às outras duas curvas.

Pode-se notar que ao considerar o ganho $K=2$, para que a o sistema de 3ª ordem em

aproximadamente 4 segundos, o sistema torna-se instável. Dessa forma, em busca da estabilidade do sistema através do critério Routh-Hourwitz determinou-se o intervalo do ganho k para a estabilidade deste sistema, dado em (8)

$$-0,4868 < K < 1,4230 \quad (8)$$

Como para o sistema de segunda ordem para todo $K < \infty$ o sistema é estável, o valor de ganho escolhido foi de 1,395, e finalmente plotou-se novamente as curvas mostrados na Figura 3b, em que nos instantes iniciais a curva obtida experimentalmente se assemelha mais com a de 3ª ordem. Em contrapartida, a partir de aproximadamente 4,5 s, começou a apresentar defasagem entre as duas curvas, além de amplitude superior. Em relação à curva de 2ª ordem no que se diz respeito ao aspecto subamortecido, a explicação é análoga a Figura 3a.

Por fim, o sistema em malha aberta $H(s) = C_1(s)G(s)$ é um sistema tipo zero, o qual ao aplicar uma entrada ao degrau a constante de erro estático K_p é constante e consequentemente o erro em regime permanente é também constante.

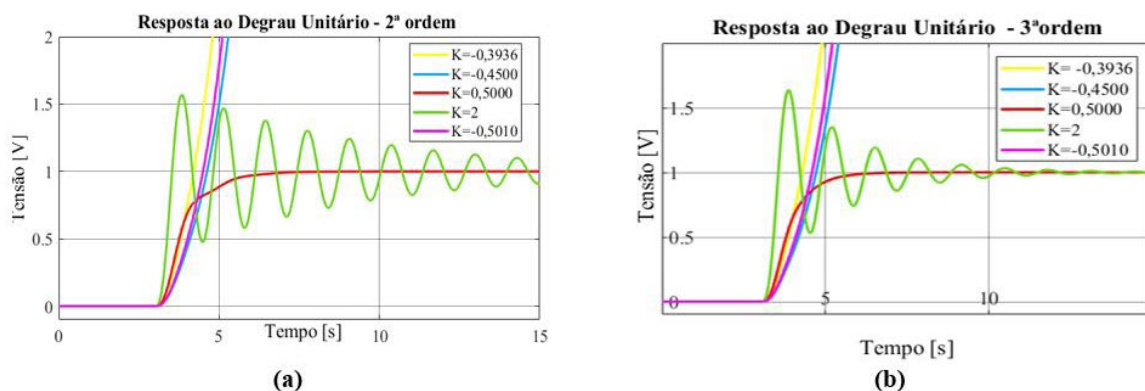
Efeito de um polo adicional em zero

Utilizando (6) em malha fechada, com realimentação unitária e admitindo-se um controlador $C_2(s) = \frac{K}{s}$, obtém-se (9).

$$T_2(s) = \frac{49,03K}{s^3 + 4,578s^2 + 24,54s + 49,03K} \quad (9)$$

A aplicação dos ganhos propostos no sistema com polo adicional em zero, o comportamento do sistema altera de forma significativa, em relação a cada resposta esperada presente na Figura 4.

Figura 4 - Curvas sobrepostas das repostas ao degrau, para $C_2(s)$. (a) 2ª ordem. (b) 3ª ordem.



Os ganhos encontrados que resultavam em respostas criticamente amortecida e superamortecida, por exemplo, agora levam o sistema à instabilidade. Enquanto a resposta que antes era subamortecida, comporta-se como criticamente amortecida, e a que respondia como não amortecida agora é subamortecida. A única que manteve o mesmo comportamento foi a instável.

A partir da análise dos resultados encontrados anteriormente, ao adicionar um zero na origem do sistema, aplicou-se o critério de Routh-hourwitz dos sistemas de segunda e terceira ordem, e deste modo definiu-se o intervalo de estabilidade do sistema de 2ª ordem em (10).

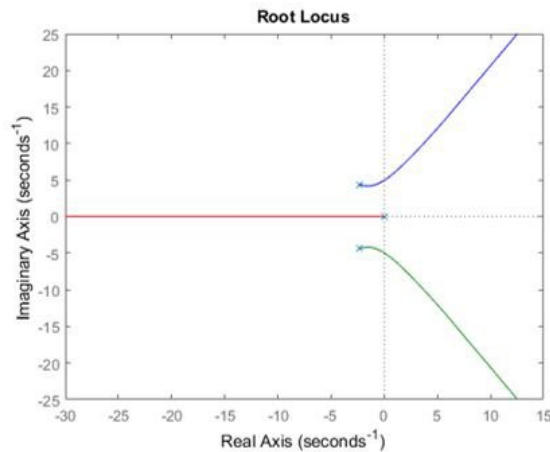
$$0 < K < 2,2913 \quad (10)$$

Enquanto para o sistema de terceira ordem o intervalo obtido foi:

$$0 < K < 2,5500 \quad (11)$$

Dessa forma ganhos escolhidos dentro do intervalo (10), obedecem à estabilidade dos dois sistemas e percebe-se que os ganhos negativos antes calculados são todos inválidos para esse sistema, pois o levam à instabilidade. Através do Routh-Hourwitz foi obtido o intervalo de estabilidade. Além disso, analisou-se através *rlocus* (comando do *software* Matlab) o lugar geométrico das raízes do sistema, como presente na Figura 5.

Figura 5 - Lugar Geométrico das raízes.



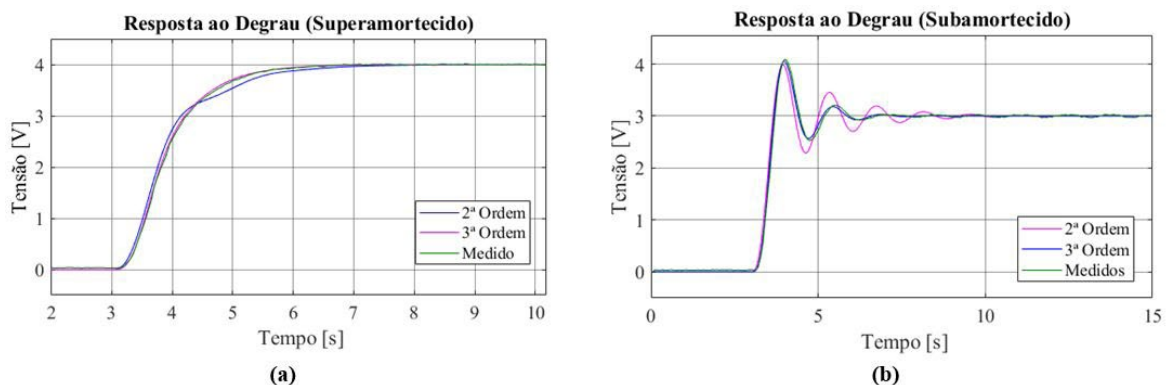
Através do Routh-Hourwitz foi obtido o intervalo de estabilidade. Nota-se pela Figura 5, que o sistema não possui polos reais iguais, o que implica que não seria possível obter uma resposta criticamente amortecida. Dessa forma, os novos valores de K estão na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de K para diferentes respostas do sistema para C_2 (s).

Resposta	Valor de K
Superamortecida	$K = 0,5000$
Subamortecida	$K = 1,3950$
Não amortecida	$K = 2,2913$
Instável	$K = -0,5$

Com os valores de K presentes na Tabela 3, foi possível plotar as curvas com os novos comportamentos do sistema para C_2 (s). Na Figura 6, estão presentes as respostas superamortecidas e subamortecidas do sistema.

Figura 6 - Curvas sobrepostas das repostas ao degrau para funções de 3ª e 2ª e valores medidos, para C_2 (s). (a) Superamortecido (b) Subamortecido.

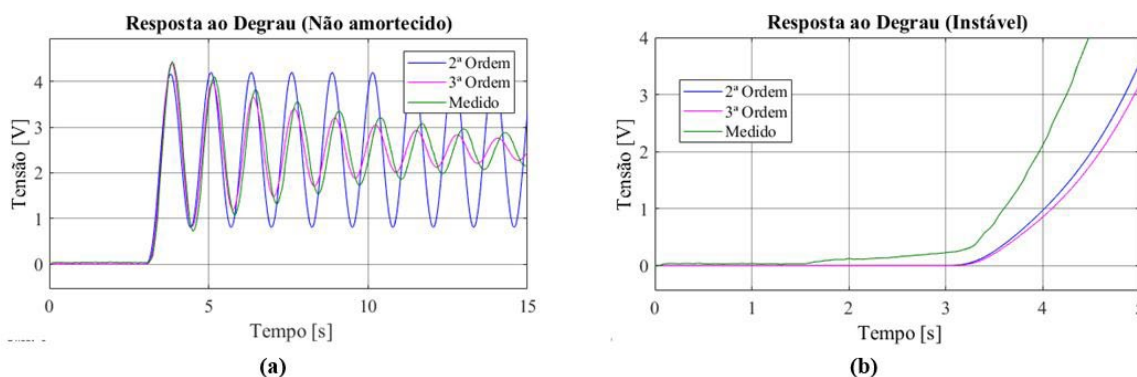


Na Figura 6a nota-se que o sistema que mais tem o comportamento mais próximo com

a curva obtida experimentalmente é o sistema de 3ª ordem, análogo na Figura 6b, em que a resposta subamortecida do sistema de 3ª tem o comportamento mais próximo da resposta obtida através dos valores medidos.

Na Figura 7 estão presentes as respostas não amortecida e instável para o sistema de 2ª e 3ª ordem, além da curva obtida experimentalmente.

Figura 7 - Curvas sobrepostas das repostas ao degrau para funções de 3ª e 2ª e valores medidos, para C_2 (s). (a) Não amortecido (b) Instável.



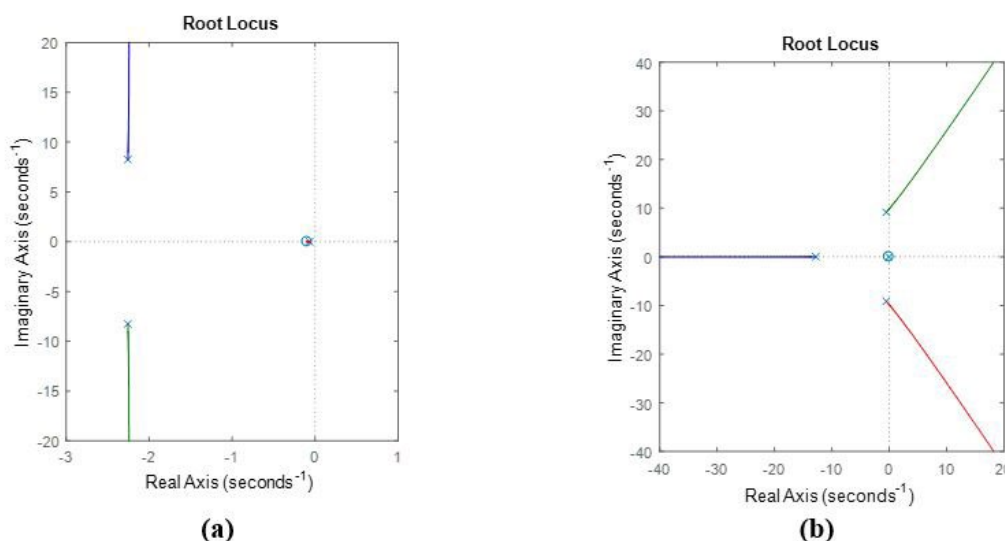
Na Figura 7a nota-se que o assim como ocorreu nas respostas anteriores o sistema de 3ª ordem é o que mais se assemelha com a curva experimental. Na Figura 7b, constata-se que para um K negativo, o sistema tende a instabilidade.

O sistema em malha aberta $H(s)=C_2(s)G(s)$ é um sistema tipo 1, o qual ao aplicar uma entrada ao degrau a constante de erro estático $K_p=\infty$ e, portanto, o erro em regime permanente é igual a zero.

Efeito de zeros adicionais

A aplicação do controlador $C_3(s)$ no sistema em malha fechada com realimentação unitária adiciona na função de transferência um polo e um zero, ambos no semiplano esquerdo. Sendo assim pode-se observar na Figura 8 o lugar geométrico das raízes para os sistemas de 2ª e 3ª ordem.

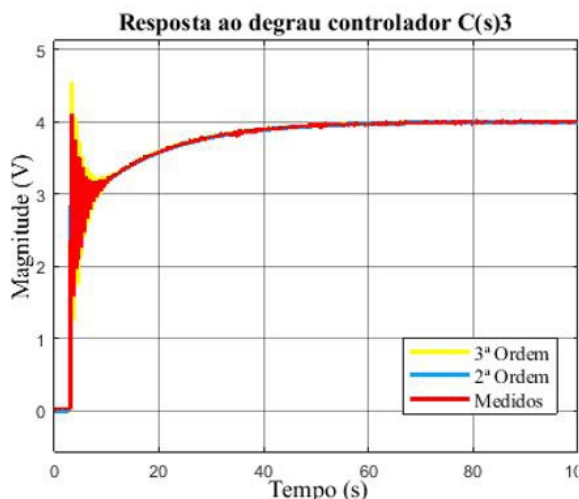
Figura 8 - Lugar Geométrico das raízes, para C_3 (s). (a) 2ª ordem. (b) 3ª ordem.



Na Figura 8a está presente o lugar geométrico das raízes para o sistema de 2ª ordem ao aplicar o $C_3(s)$, análogo a isso na Figura 8b está presente o lugar geométrico das raízes, no

entanto para o sistema de 3ª ordem, é também possível notar que os polos conjugados e o polo real mostram um sistema com dominância Na Figura 9 está presente à resposta ao degrau para os sistemas de 2ª e 3ª ordem além da curva obtida experimentalmente.

Figura 9 - Curvas sobrepostas das repostas ao degrau para funções de 3ª e 2ª e valores medidos, para C₃ (s).



Na Figura 9 é possível observar a existência de um transitório no início no degrau, que é característico a sistemas de ordem superior a 1, logo após o transitório o sistema ainda não estabiliza, mas cresce, isso é uma característica do polo real dominante.

Ao adicionar o controlador C₄(s) em malha fechada, com realimentação unitária observa-se a inserção de um polo no semiplano direito. As representações de funções de transferência de malha fechada, para segunda e terceira ordem são respectivamente:

$$T_3(s) = \frac{49,03K(s - 4)}{s^3 + 4,578s^2 + (24,54 + 49,03K)s - 196,12K} \quad (12)$$

$$T_4(s) = \frac{727,1K(s - 4)}{s^4 + 13,92s^3 + 98,34s^2 + (354 + 727,1K)s - 2908,4K} \quad (13)$$

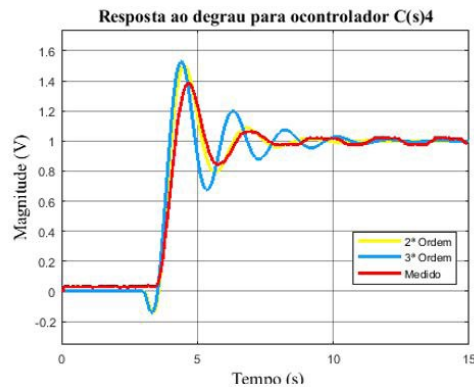
Analisando a estabilidade das duas funções obtém-se os intervalos de ganho K, para os sistemas de 2ª e 3ª ordem, respectivamente em (14) e (15).

$$-0,2671 < K < 0 \quad (14)$$

$$-0,8820 < K < -0,6221 \text{ e } -0,4388 < K < 0 \quad (15)$$

Dessa forma, na Figura 10 está presente as respostas ao degrau de 2ª e 3ª ordem, além da curva obtida experimentalmente com a aplicação do controlador C₄ (s).

Figura 10 - Curvas sobrepostas das repostas ao degrau para funções de 3ª e 2ª e valores medidos, para $C_4(s)$.



Na Figura 10 o ganho K escolhido foi 0,2, o qual respeita os limites de estabilidade. É observado um pico negativo no sistema de 3ª ordem, esse fenômeno é denominado de sistema de fase não mínima, o qual é definido como um sistema que possui zeros no semiplano da direita e a resposta ao degrau é caracterizada por uma inversão inicial de sentido. Na curva obtida experimentalmente esse fenômeno não é possível de ser observado, visto que o Arduino não identifica tensão negativa e então omite essa característica do circuito.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao comparar os sistemas de 2ª e 3ª ordem com os resultados obtidos experimentalmente do circuito eletrônico, foi possível notar que o comportamento do sistema de 3ª ordem é o que mais se aproxima do comportamento do circuito. Com a adição de controladores em malha fechada, percebe-se que os efeitos mencionados na literatura podem ser comprovados, em ressalva algumas limitações do Arduino. Ao aplicar o controlador $C_1(s)$ nos sistemas, percebe-se que a aplicação de um ganho, modifica a resposta do sistema, de acordo com os limites calculados para K , além de que o sistema de Tipo 0, leva um erro constante em regime permanente. A aplicação do controlador $C_2(s)$, adiciona um polo na origem no sistema, o que leva a um sistema de Tipo 1, e ocasiona um erro nulo em regime permanente. A adição de zero no sistema muda a dinâmica do sistema, no caso do controlador $C_3(s)$ foi possível notar que a adição de zeros no semiplano esquerdo, faz com que haja um transitório na resposta do sistema, já a adição de $C_4(s)$, acrescenta ao sistema um zero no semiplano direito, fazendo com que surja o fenômeno da fase não mínima.

REFERÊNCIA

[1] NISE, N. S., DA SILVA FILHO, B. S. Engenharia de sistemas de controle. 3. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

Organizador

Adriano Mesquita Soares

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

Índice Remissivo

A

argilas 95, 96, 97, 98, 105, 106, 107
assimétricas 118, 130

B

bifásica 118, 128
BIM 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 26, 28, 33, 34,
35, 40, 41, 43, 45, 46
business intelligence 59, 82, 92, 93

C

campo girante 118, 119, 121, 122, 128, 130
cerâmicas 35, 36, 95, 96, 98, 100, 103, 104, 106
cerâmicas especiais 95, 96, 104
companies 48, 49, 50, 57, 82
competências 68, 69, 70, 71, 73, 76, 77, 78, 79
compósitos 94, 95, 96, 101, 102, 103, 104, 105, 106
computacional 5, 27, 28, 32, 33, 36, 42, 44, 110
construção civil 5, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 21, 24, 25,
28, 29, 30, 33, 44, 97, 104

E

eficiência 5, 27, 28, 29, 30, 43, 99, 109
energética 5, 27, 28, 29, 30, 42, 43, 44, 46, 109
energia elétrica 29, 30, 31, 44, 109, 112, 116, 118, 130

G

Gartner 82, 83, 84, 85, 86, 92
geração distribuída 6, 108, 109, 116
gerenciamento 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23,
24, 25, 26, 34, 73, 76

H

habilidades 68, 70, 73, 76, 77, 79

I

I4.0 68, 69, 70, 73, 75, 76, 77, 78, 79
indústria 4,0 68

M

máquinas elétricas 6, 117, 118, 119, 121, 130
materiais cerâmicos 94, 95, 102

N

networks 48, 49, 50, 54, 56, 57, 58, 62, 63

O

obras 10, 11, 22, 24, 35

otimização 18, 75, 104, 109, 110, 111, 112, 116

P

planejamento 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 23, 26, 33, 35

PMBOK 5, 9, 10, 11, 12, 25

Power BI 82, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

produção 12, 18, 24, 26, 68, 73, 78, 82, 97, 104, 106, 116, 119, 121

Q

Qlik 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93

quadrante 82, 83, 85, 86, 92

qualidade 10, 14, 15, 17, 20, 31, 35, 70, 91, 109, 112, 113, 116

R

revisão sistemática 68, 69, 70, 72, 73, 74, 78

riscos 5, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26

S

simulação 26, 28, 32, 33, 35, 40, 41, 42, 44, 76, 112

sistema 4

T

Tableau 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

tecnologia 11, 14, 16, 33, 68, 78, 83, 85, 92, 95, 99

telhados verdes 28, 29, 30, 31, 35, 44

trifásicas 118, 119, 123, 130

