

REVISTA ESFERA ACADÊMICA TECNOLOGIA  
VOLUME 6, NÚMERO 2 - ISSN 2526-4141

REVISTA CIENTÍFICA



ISSN 2526-4141

**REVISTA ESFERA ACADÊMICA TECNOLOGIA**

**Volume 6, número 2**

**Vitória**

**2021**

## **EXPEDIENTE**

**Publicação Semestral**

**ISSN 2526-4141**

**Temática: Tecnologia**

**Revisão Português**

José Renato Campos

**Capa**

*Marketing* Faculdade Brasileira Multivix- Vitória

Elaborada pela Bibliotecária Alexandra B. Oliveira CRB06/396

*Os artigos publicados nesta revista são de inteira responsabilidade de seus autores e não refletem, necessariamente, os pensamentos dos editores.*

**Correspondências**

**Coordenação de Pesquisa e Extensão Faculdade Brasileira Multivix- Vitória**

Rua José Alves, 301, Goiabeiras, Vitória/ES | 29075-080

E-mail: [pesquisa.vitoria@multivix.edu.br](mailto:pesquisa.vitoria@multivix.edu.br)

**FACULDADE BRASILEIRA MULTIVIX - VITÓRIA**

**DIRETOR Geral**

Leila Alves Côrtes Matos

**COORDENAÇÃO ACADÊMICA**

Michelle Oliveira Menezes Moreira

**COORDENADOR ADMINISTRATIVO E FINANCEIRO**

Hêmyle Rocha Ribeiro Maia

**CONSELHO EDITORIAL**

Alexandra Barbosa Oliveira  
Karine Lourenzone de Araujo Dasilio  
Michelle Moreira  
Patricia de Oliveira Penina

**ASSESSORIA EDITORIAL**

Cecília Montibeller Oliveira  
Daniele Drumond Neves  
Helber Barcellos Costa  
Karine Lourenzone de Araujo Dasilio

**ASSESSORIA CIENTÍFICA**

Adam Lúcio Pereira  
Cecília Montibeller Oliveira  
Daniele Drumond Neves  
Giselle Almeida Alves

## **APRESENTAÇÃO**

A Revista Científica Esfera Acadêmica Tecnologia é uma revista científica que tem como objetivo contribuir para o entendimento aprofundado das diferentes tecnologias na sociedade, mediante a divulgação de trabalhos de pesquisa e análises teóricas que possam subsidiar as atividades acadêmicas e a ação profissional em diferentes organizações.

Esta edição traz contribuições das áreas tecnológicas, reunindo estudos das diferentes Engenharias. Dessa forma, a Revista Científica Esfera Acadêmica Tecnologia, da Faculdade Multivix – Vitória, pretende contribuir com o estímulo à pesquisa e para divulgação e geração do conhecimento.

Boa leitura!

## SUMÁRIO

**VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADO À REDE.....6**

Cristian Borchardt, Nicolli Durães, Yuri Moura da Silva Amaro, Stéfani Vanussi Guaitolini Melo

**ANÁLISE DE ANOMALIAS EM BARRAGENS DA BACIA DO RIO ITAÚNAS.....26**

Isabella Fernandes Cardoso, Julia Cossetti, Luisa Morgan Bernardo, Mirella Gonçalves da Fonseca Miranda da Silva

**RESTRUTURAÇÃO DO SETOR DE MANUTENÇÃO DE PONTES ROLANTES DA ACIARIA E LINGOTAMENTO CONTINUO DE UMA SIDERÚRGICA COM O FOCO CENTRADO EM CONFIABILIDADE.....50**

Rômulo Martin Lang, Daniel Moschen Coelho, Rafael de Paula Cosmo

**SISTEMAS CONECTADOS GRID-TIE ATRELADOS A SFV ALOCADOS A REALIDADE DE REDES INTELIGENTES NO BRASIL.....79**

Anna Clara do Prado Rosa, Rafael Neves Fassarella, Rafael de Paula Cosmo

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE RETÍFICA DE REVESTIMENTO CERÂMICO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS.....99**

Gabriel Guaitolini, Rafael de Paula Cosmo

# VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADO À REDE

Cristian Borchardt<sup>1</sup>, Nicolli Durães<sup>1</sup>, Yuri Moura da Silva Amaro<sup>1</sup>, Stéfani Vanussi Guitolini Melo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Acadêmicos do curso de Engenharia Elétrica

<sup>2</sup> Doutora – Professora Multivix – Vitória

## RESUMO

A geração de energia elétrica por fonte solar é interessante por ser renovável e ecologicamente limpa. Para instalação de um sistema fotovoltaico, analisar o fator econômico é primordial. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo para uma residência localizada no interior do Espírito Santo, a qual possui uma microgeração de energia fotovoltaica conectada à rede elétrica. Buscou-se analisar uma futura expansão devido ao aumento de consumo, apresentando também um estudo de viabilidade para ampliação. Os resultados obtidos foram interessantes, pois obteve-se um curto tempo de retorno financeiro para o investimento na ampliação a ser realizada.

**Palavras-chave:** sistema fotovoltaico, microgeração de energia fotovoltaica conectada à rede, viabilidade econômica.

## ABSTRACT

The generation of electric energy by solar source is interesting because it is renewable and ecologically clean. To install a photovoltaic system, analyzing the economic factor is paramount. The object of this work was to carry out a study for a residence located in the interior of Espírito Santo, which has a microgeneration of photovoltaic energy connected to the electrical grid. We sought to analyze a future expansion due to increased consumption, also presenting a feasibility study for expansion. The results obtained were interesting, as there was a short time of financial return for the investment in the expansion to be carried out.

**Keywords:** Photovoltaic system, grid-connected photovoltaic energy microgeneration, economic viability.

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parte da matriz elétrica do Brasil é composta principalmente por usinas hidrelétricas, com 65,2%, e termelétricas, com 20,5% (EPE, 2021). Apesar disso, o uso e a expansão da hidroeletricidade tende a encontrar barreiras ambientais que envolvem as construções das usinas e a escassez hídrica em que o país é acometido desde 2014. Para suprir a demanda energética no Brasil, tem-se aumentado o uso das termoelétricas, que no ponto de vista ambiental é desvantajosa, devido a uma grande emissão de gases de efeito estufa. Isso acontece devido à queima de combustíveis fósseis, e do ponto de vista econômico também é desvantajosa, porque o custo do quilowatt hora é alto quando comparado às demais fontes geradoras de energia elétrica. Então, é interessante a busca por outras fontes que possam ser inseridas na matriz

elétrica brasileira para contribuir com a geração de energia elétrica e que não sejam poluentes. Uma possibilidade é a energia solar que pode ser utilizada para a geração de energia elétrica por meio dos módulos fotovoltaicos.

A energia solar fotovoltaica tem sido utilizada em diversos países e é promissora no Brasil devido a uma grande incidência de radiação solar na extensão territorial, o que viabiliza o uso em diversas regiões do país (EPE, 2020). Em 2012, foi publicada a resolução 482/2012, que apresenta as condições para conexão dos sistemas de micro e minigeração distribuída à rede da concessionária (ANEEL, 2012). Em 2012 tinham apenas sete instalações cuja potência instalada de 444kW. Já em 2019, com aprimoramento e diminuição das barreiras para a utilização da tecnologia, a potência instalada passou para 1.340.094kW, com mais de 100 mil instalações com geração fotovoltaica. Um dos motivos que colaboraram para esse aumento foi a redução de 43% do preço dos painéis fotovoltaicos entre os anos 2014 e 2019. Outra contribuição foi a queda do tempo de retorno do investimento na geração distribuída (GD) de 7 anos em 2015 para 4,5 anos em 2019 (ANEEL, 2019).

A GD tem como vantagens a redução de 2,7 milhões de tonelada de CO<sub>2</sub> lançados na atmosfera desde 2012, além de trazer R\$ 24 bilhões em investimentos acumulados com mais de 150 mil empregos gerados nesse período (ABSOLAR, 2021). O encorajamento à adesão desse sistema é justificado pelos benefícios para o sistema elétrico. Segundo ANEEL (2018), entre eles “estão o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética”.

Portanto, este trabalho tem como objetivo verificar a implementação de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica em uma residência em Nova Venécia, no interior do Espírito Santo, realizando estudos de viabilidade de expansão do sistema já existente como também os aspectos econômicos e ambientais.



## **2. REFERÊNCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

A energia solar fotovoltaica é aquela gerada por meio da conversão da incidência solar em eletricidade por intermédio das células fotovoltaicas que operam mediante o efeito fotovoltaico (GUIMARÃES, et. al., 2019). Esse efeito fotovoltaico (FV) foi visto primeiramente pelo físico Edmond Becquerel em 1839, que observou a capacidade de alguns materiais semicondutores transformarem em eletricidade mediante absorção de energia dos fótons quando incididos de radiação luminosa (GALHARDO, et. al., 2012).

Em 1883, o inventor Charles Fritts, a partir de um experimento onde um semicondutor de selênio foi revestido de uma camada fina de ouro, criou a primeira célula solar, a qual por meio dessa junção foi possível atingir 1% de eficiência, que por não ser tão expressiva não foi muito útil como fonte de geração de energia para essa época (CARVALHO, 2010). Já em 1954, cientistas da Bell Labs desenvolveram a primeira célula de silício, cuja eficiência era de aproximadamente 6%. Posteriormente, em 1959, o aproveitamento da energia solar como fonte alternativa de energia elétrica começou nos Estados Unidos com o objetivo inicial de utilizá-la como geradora de energia elétrica para satélite (MARQUES, 2009).

Nos próximos tópicos será descrito como ocorre a conversão solar em eletricidade, assim como os elementos que compõem um sistema fotovoltaico e os aspectos econômicos de sua instalação.

### **2.2 FUNCIONAMENTO DE CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM ENERGIA ELÉTRICA**

O princípio de funcionamento do processo de conversão da energia solar em elétrica consiste na quebra das ligações químicas nas moléculas dos materiais semicondutores quando a energia é absorvida da luz, fazendo com que sejam liberadas cargas elétricas. A corrente elétrica só é possível por meio de uma junção criada no semicondutor que permite gerar um campo elétrico em seu

interior. Todo o processo inicia-se na dopagem de um material semicondutor, processo ao qual são adicionadas impurezas químicas no elemento ainda puro, compondo a ele a propriedade de semicondução. Após a dopagem, o elemento passa a possuir uma junção do tipo p-n, que naturalmente leva a um fluxo de elétrons pelo processo de migração dos elétrons do tipo n para o do tipo p, que cessa após a formação de uma barreira chamada de zona de depleção. Nessa barreira é formada uma diferença de potencial que é rompida quando o material recebe radiação solar. Logo, esse movimento de elétrons na junção é captado por condutores, gerando uma corrente elétrica, ou ainda, fotocorrente (GALHARDO, et. al., 2012).

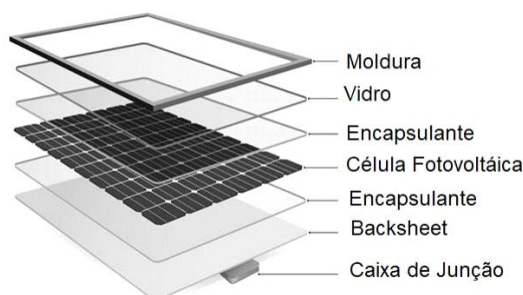
### **2.3 COMPONENTES E TIPOS DE UM SISTEMA FV**

Cada sistema FV tem uma característica dependendo dos fatores do ambiente e necessidade do local. Balfour, Shaw e Nash (2019) descrevem as partes que compõem um sistema sendo o primeiro recurso a fonte de energia primária o sol. As células FV são os elementos principais do módulo e os modelos comerciais são baseados em silício cristalino (c-Si), subdividas em monocristalinas e policristalinas por sua estrutura, e seus principais tipos de células são as laminadas, de filmes finos, de multijunção e concentração fotovoltaica (TOLMASQUIM, 2016). A junção de várias células, por sua vez, formam os módulos e eles, ligados em paralelo ou em série, formam os painéis. Por fim, uma matriz que usualmente é presa a uma estrutura consiste em vários painéis ligados em série, paralelo ou série-paralelo, o que influencia diretamente na potência do sistema (BALFOUR, SHAW E NASH, 2019).

Detalhando mais a construção do módulo apresentado na Figura 1, além das células, ele é revestido de vidro temperado ou resina de forma a torná-lo mais resistente a fatores externos como a poeira, salinidade, neve, tempestade e granizo (MARQUES, 2013). O encapsulante trata-se de um filme de material especial que protege as células do desgaste causado pelos raios UV, temperatura e umidade. Por trás do módulo, é colocado um filme plástico branco, o backsheet, cuja função é preservar os componentes internos além de isolamento elétrico. Uma moldura de alumínio anodizado é inserida ao redor para sustentar o módulo, protegendo e garantindo a integridade na hora da

instalação, e, por último, há a caixa de junção onde é realizada a conexão elétrica dos módulos (PORTAL SOLAR, 2021).

Figura 1: Característica construtiva de um módulo fotovoltaico



Fonte: Portal Solar, 2021

Outro componente de um sistema FV são os inversores, que são equipamentos capazes de converter uma fonte de energia de corrente contínua (CC) em alternada (CA). Com a evolução das tecnologias, os inversores modernos são desenvolvidos utilizando chaves eletrônicas de estado sólido desenvolvidos a partir de técnicas complexas para cada aplicação, permitindo aos inversores alcançarem quase 99% de eficiência. Seu dimensionado é realizado de acordo com a potência e características elétricas do sistema FV, tipo de topologia que foi escolhida pela instalação, que pode ser, por exemplo, inversor central, descentralizado, micro inversor, interna etc. O fator de dimensionamento de inversores (FDI) também deve ser considerado de modo que ele não fique sobrecarregado ou trabalhe em potências abaixo da nominal por muito tempo. A tensão de entrada, as faixas de tensão de operação do seguimento do ponto de potência máxima e corrente máxima CC também são pontos importantes para melhor otimização de operação do inversor (PINHO; GALDINO, 2014).

Há também todo o cabeamento elétrico que interliga os componentes do sistema FV, a estrutura de suporte e ainda os dispositivos de proteção para o sistema em si e também as pessoas, contendo fusíveis, chaves seccionadoras, disjuntores e dispositivos de proteção contra surtos (WAENGA; PINTO, 2016).

Caso não haja a disponibilidade de rede elétrica da concessionária para suprir a demanda de energia da instalação, torna-se necessário o uso de baterias e controladores de carga. Esse tipo de instalação é conhecido como sistema FV autônomo/isolado, ou ainda off-grid, que estende aplicações à iluminação pública, carregamento de baterias de veículos elétricos, pequenos aparelhos eletrônicos portáteis para substituir geradores a diesel, além do fornecimento de eletricidade em instalações afastadas. Como nesses casos a geração não é constante, a tensão de saída nos módulos é instável, logo, a presença de baterias ou bancos de baterias é necessária para estabilizar a tensão fornecida aos equipamentos ou inversor (VILLALVA, 2012). Os controladores de carga regulam, carregam e protegem a bateria ou o banco de baterias e são indispensáveis em sistemas que utilizam baterias, pois são os que controlam o carregamento e a desconexão das baterias quando atingem a carga plena ou realiza o desvio da energia quando atinge um nível mínimo de segurança (PINHO; GALDINO, 2014).

Além dos sistemas isolados como já citado, tem-se o sistema fotovoltaicos conectado à rede (SFCR) que possuem um ponto de conexão na rede da concessionária e toda a energia gerada por esse sistema é consumida pela carga ou o excedente é injetado na rede de distribuição. Dentre os modelos existentes, há os sistemas fotovoltaicos integrados a edificações (SFIE), que são aplicados em telhados e fachadas, sendo uma das suas vantagens, pois caso definido na fase de projeto arquitetônico, pode ser substituído o telhado convencional pelos próprios painéis, diminuindo os custos finais da obra. Outra vantagem é que a energia gerada diminui as perdas com transmissão, distribuição e o consumo da rede da concessionária, o que têm ligação direta com a redução dos níveis de CO<sub>2</sub> (PINHO; GALDINO, 2014).

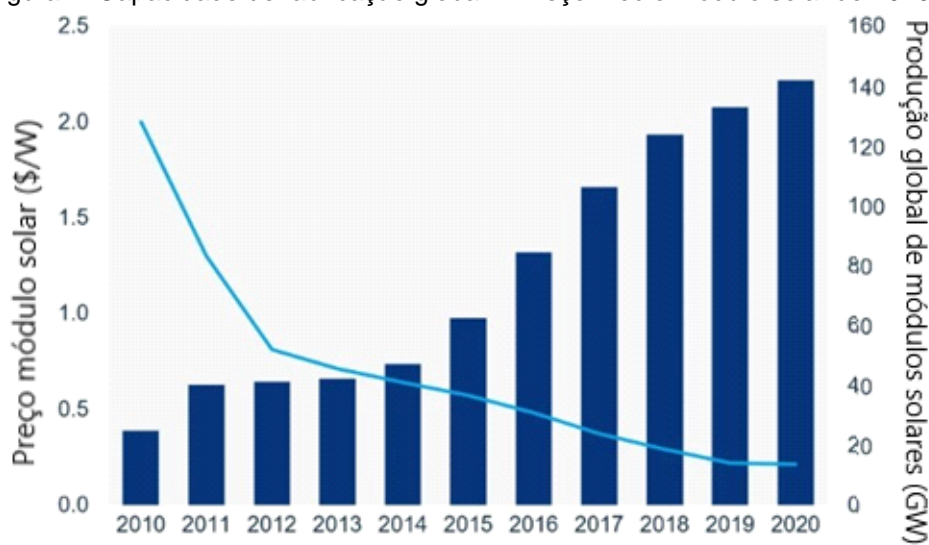
Classificando o SFCR pela potência, na resolução normativa nº 482, tem-se para centrais geradoras, cuja potência instalada de valor igual ou menor a 75kW é especificado como microgeradora. Já as centrais com potência maior, que 75kW e menor que 5MW, são intituladas minigeradoras (ANEEL, 2012, p.1).

Em 2015 foi publicada a REN nº 687/2015, após revisão da REN nº 482/2012, para reduzir custos e tempo para implantação do sistema FV, além de melhorar o sistema de compensação de energia elétrica. Como em um sistema de GD, tem como metodologia durante o dia a injeção de ativo excedente na rede e à noite é devolvida para a unidade consumidora. Caso essa energia injetada seja maior que a consumida, entra-se no processo de crédito de energia, o qual não é revertido em dinheiro para o consumidor, mas pode ser utilizado para compensar o consumo em outras instalações, além da que possui o sistema de geração, desde que seja na mesma concessionária (ANEEL, 2018).

## 2.4 ASPECTOS ECONÔMICOS

Uma das preocupações relacionada à energia FV é seu alto custo inicial que pode ficar ainda mais oneroso caso queira armazenar energia elétrica nas baterias para suprir o consumo durante a noite ou em dias nublados (BALFOUR, SHAW E NASH, 2019). A evolução da tecnologia na área dos semicondutores associado ao aumento na fabricação de células fotovoltaicas reduziram os preços dos sistemas FV e fez com que ocorresse um crescimento nesse mercado (DANTAS, POMPERMAYER, 2018). Na Figura 2 é possível analisar a evolução dos preços dos módulos fotovoltaicos em paralelo com a capacidade de fabricação global.

Figura 2: Capacidade de fabricação global X Preço médio módulo solar de 2010 - 2020



Fonte: Portal Energia, 2020 (editada).

Mesmo que o Brasil tenha bastante diversidade nos tipos de clima, isso não afeta na irradiação solar, o que faz com que haja boa uniformidade por toda extensão territorial, permitindo implementar projeto de geração de energia elétrica fotovoltaica em várias regiões. Mesmo tendo essa disponibilidade solar, o dimensionamento da quantidade de módulos e a potência do inversor deve ser realizada e a soma do valor dos módulos e do inversor corresponde a quase 77% do custo total de instalação de um sistema FV (DANTAS, POMPERMAYER, 2018). Na Tabela 1 é apresentada uma simulação de preços em função da quantidade de módulos fotovoltaicos utilizados.

Tabela 1: Preço final dos sistemas FV simulados

Quantidade de módulos fotovoltaicos	Preços dos equipamentos (R\$)	Instalação (R\$)	Total (R\$)
6	10.048	1.500	11.548
10	14.467	2.500	16.967
18	22.958	4.500	27.458

Fonte: Dantas e Pompermayer, 2018

A respeito do retorno de investimento, considerando a resolução vigente, quando o sistema é interligado na rede de baixa tensão o consumidor que possui a geração distribuída (GD) se isenta de pagar todas as componentes da tarifa de fornecimento em cima da energia consumida, pois é compensada pela injetada na rede da concessionária, e os custos de encargos, perdas e transporte de energia são rateados pelos consumidores que não tem GD. Na fatura para unidade consumidora do grupo B que possui GD, o custo de disponibilidade da energia, a taxa de iluminação pública, assim como os as tarifas e impostos são cobrados, mesmo que no mês a unidade tenha injetado mais que o consumido gerando créditos de energia (ANEEL, 2019).

Desde 2019 há uma proposta em debate que prevê mudanças no sistema de faturamento, porém para quem já tem GD, o sistema de faturamento

permanecerá o mesmo até 2030. Para as novas unidades geradoras, é proposta uma cobrança, além das informadas anteriormente, dos custos referentes ao uso da rede de distribuição e os encargos. Entretanto, mesmo que haja alteração nas regras de compensação, ainda assim o investimento em GD permanecerá viável. Os estudos realizados pela ANEEL mostraram que caso o consumidor decida optar pelo sistema autônomo, o investimento em baterias pode chegar a um valor nove vezes maior que um SFCR (ANEEL, 2019).

### **3. METODOLOGIA**

A pesquisa bibliográfica é elaborada por meio de um conteúdo já existente, normalmente baseado em artigos e livros científicos (GIL, 2008). Assim foi fundamentado este trabalho de conclusão de curso em uma pesquisa bibliográfica aplicada qualitativa devido à necessidade de embasamento teórico para perfeito entendimento do tema e possibilidade de conclusões fundamentadas. Toda a proposta foi amparada por meio de recursos, como: biblioteca digital disponibilizada pela faculdade Multivix, Periódico Capes e recursos próprios. A pesquisa foi realizada por meio de artigos e teses com tema sobre módulos fotovoltaicos, avanços da GD FV e inovações do setor, além de consultas em sites de órgãos públicos para obtenção de dados e fundamentações normativas para o estudo proposto.

Uma das características do estudo de caso é dado por um estudo profundo sob a área desejada, permitindo o retorno de um conhecimento amplo e satisfatório a respeito, tarefa impossível em comparação a outros estudos (GIL, 2008). Na pesquisa, foi realizado um estudo de caso para ampliação um sistema de geração distribuída fotovoltaico existente em uma residência no interior do Espírito Santo. A proposta é analisar os detalhes construtivos e também o potencial de geração, assim como apresentar os benefícios econômicos fornecidos à residência. Pretende-se, ainda, apresentar o estudo da viabilidade de expansão da GD prevendo um aumento de carga da residência e suas vantagens e desvantagens em aspectos econômicos.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

No memorial de cálculo demonstrado a seguir, foi considerada uma residência na cidade de Nova Venécia, no interior do Espírito Santo, que já possui um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da concessionária. Esse sistema já possui 10 módulos instalados no telhado, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Módulos solares em uma residência de Nova Venécia



Fonte: Autores

Devido a construção de uma nova edificação no mesmo terreno, este estudo tem como objetivo a obtenção do cálculo do retorno investido para a ampliação da geração de energia elétrica para alimentar essa nova edificação.

##### 4.1 DADOS DE CONSUMO DA RESIDÊNCIA E LEVANTAMENTO DE CARGA ADICIONAL

A residência possui uma instalação bifásica, grupo B e tensão nominal de 220V/127V. Para obter a média de consumo da residência, foram observados os valores mensais dos últimos 12 meses apresentados na conta de energia elétrica. Foi obtido uma média de consumo mensal de 198kWh. Na Tabela 2 é apresentado o histórico de consumo mensal da residência.

Tabela 2 - Histórico de consumo kWh da residência

Mês	Consumo mês / kWh
set/20	133
out/20	219
nov/20	153
dez/20	289
jan/21	336



fev/21	269
mar/21	285
abr/21	277
mai/21	176
jun/21	172
jul/21	160
ago/21	130

Fonte: Autores

Para o levantamento da carga adicional, foram selecionados os aparelhos de maior consumo que irão ser instalados na nova edificação a ser construída, bem como um ar-condicionado que será instalado em uma edificação já existente no mesmo terreno. Os valores de consumo foram obtidos a partir da tabela fornecida pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que apresenta o consumo médio mensal avaliando a potência média dos aparelhos. A média de uso é obtida pelo produto entre a quantidade de dias vezes a quantidade de horas por dia de utilização do aparelho. Na Tabela 3 é apresentado o consumo médio dos aparelhos a serem instalados na nova edificação.

Tabela 3 – Consumo médio dos aparelhos eletrônicos

Aparelhos Eletrônicos	Dias Estimados Uso/Mês	Média utilização/dia	Consumo médio mensal (kWh)
Ar-condicionado 9.000 BTU/h	30	8 h	128,8
Chuveiro elétrico - 4500 W	30	32 min	72
Ferro elétrico automático a seco - 1050 W	12	1 h	2,4
Geladeira 1 porta frost free	30	24 h	39,6
Lâmpada fluorescente compacta - 15 W (x 3)	30	5 h	6,75
Somatório			249,55

Fonte: Procel, 2006.

Portanto, considerando a média de consumo da residência e o valor previsto para expansão do consumo de carga, considerado carga total, o consumo final será de 447,55kWh/mês.

## 4.2 CÁLCULO DA ENERGIA PRODUZIDA PELOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para se obter o quanto de energia será produzida por um módulo fotovoltaico diariamente, foi utilizado o cálculo pelo método da insolação, que, conforme Villalva (2012), é o mais adequado quando se trata de um sistema conectado à

rede, devido à possibilidade de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT).

Inicialmente foi verificada a irradiação solar diária média mensal na cidade de Nova Venécia, inserindo as coordenadas geográficas da residência no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Sérgio de Salvo Brito (Cresesb). Na Figura 4 são apresentados os gráficos e valores de irradiação obtidos. O valor obtido foi de 4,93kWh/m<sup>2</sup> dia.

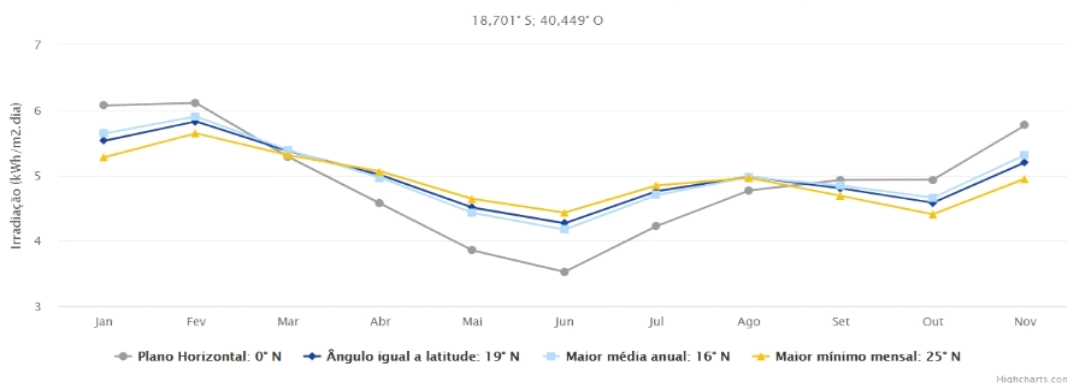
Figura 4 – Irradiação solar diária média mensal de Nova Venécia (ES)

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Nova Venecia  
Município: Nova Venecia , ES - BRASIL  
Latitude: 18,701° S  
Longitude: 40,449° O  
Distância do ponto de ref. ( 18,715687° S; 40,405254° O ) : 4,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m <sup>2</sup> .dia)												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,07	6,11	5,29	4,57	3,85	3,53	3,62	4,23	4,77	4,93	4,94	5,77	4,81	2,58
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	19° N	5,53	5,83	5,37	5,01	4,51	4,27	4,31	4,76	4,98	4,80	4,58	5,20	4,93	1,56
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	16° N	5,64	5,90	5,39	4,97	4,43	4,17	4,23	4,70	4,97	4,85	4,66	5,31	4,93	1,73
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	25° N	5,28	5,64	5,31	5,06	4,64	4,43	4,46	4,85	4,96	4,69	4,41	4,95	4,89	1,24

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Nova Venecia–Nova Venecia, ES-BRASIL



Fonte: CRESESB, 2021.

Foi escolhido para o dimensionamento o módulo fotovoltaico da fabricante Neosolar, cujo modelo é o RS6E-155M. Na Tabela 4 são apresentados os dados utilizados nos cálculos obtidos no datasheet.

Tabela 4 – Dados do módulo fotovoltaico

Dados do modelo RS6E – 155M	Valores
Potência nominal	155 W
Altura	1,270 m
Largura	0,676 m
Área (largura*altura)	0,85852 m <sup>2</sup>
Tensão de Circuito aberto (Voc)	24,46V
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0,28%/°C

Eficiência do módulo	18,05%
----------------------	--------

Fonte: *Datasheet* módulo RS6E-155M Neosolar, 2021

A energia produzida ( $E_p$ ) por um módulo fotovoltaico é obtido conforme a Equação 1 (VILLALVA, 2012):

(1)

Onde:  $E_s$  = Insolação diária ( $Wh/m^2.dia$ ),  $A_M$  = área da superfície do módulo ( $m^2$ ),  $E_f$  = Eficiência do módulo.

Portanto, para os valores médio de irradiação solar, considerando a inclinação de  $16^\circ N$  apresentado na Figura 4, que apresenta a maior média anual, foi obtido o valor de  $763,9669Wh/dia$  de energia produzida.

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE MÓDULOS

A partir da obtenção dos valores de consumo médio final da residência e da energia produzida diariamente pelo módulo escolhido para Nova Venécia, é possível determinar o número de módulos ( $N_p$ ) necessários para a instalação elétrica existente, bem como para a ampliação de consumo devido à instalação das cargas mencionadas anteriormente, conforme a Equação 2 (VILLALVA, 2012):

Sendo  $E_{sistema}$ : energia a ser produzida pelo sistema, sendo o necessário para residência  $447,55kWh/mês$ ;  $e_p$  mensal: energia produzida pelo módulo mensalmente 30 vezes o valor diário de  $763,9669Wh$ .

Foi obtido a necessidade de 19,5 módulos. Como, atualmente, já existem 10 módulos instalados, serão necessários a aquisição de 10 novos módulos fotovoltaicos.

### 4.4 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

Villalva (2012) destaca dois critérios para dimensionamento de inversores. O primeiro deles é a tensão máxima permitida no inversor que deve ser maior que a tensão de circuito aberto. O inversor deve também ser dimensionado de modo que sua potência seja maior ou igual a de pico do sistema.

Para dimensionamento do inversor que será conectado com 20 módulos ligados em série e uma tensão de circuito aberto de 24,46V, tem-se que a tensão total de circuito aberto (Vocstring) na saída do sistema será obtida conforme a Equação 3, encontrando um valor de 489,2V (VILLALVA, 2012).

Onde: Nps é o número de módulos fotovoltaicos conectados em série, e Voc é a tensão de circuito aberto de cada módulo fotovoltaico.

Para obter a tensão de circuito aberto (Vocstring (empírico)), foi aplicado o fator de segurança empírico adotado de 1,1 e a tensão total do circuito aberto calculada de 489,2V. Conforme a Equação 4, obtém-se 538,12V (VILLALVA, 2012).

A verificação da tensão de saída foi realizada considerando variação de temperatura baseada no coeficiente de temperatura do módulo escolhido. Para cada grau de redução na temperatura é aumentado 0,28% na tensão de saída. Tendo como base o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), a menor temperatura registrada em Nova Venécia foi 10 °C, portanto, para cálculo, será considerado que a temperatura nunca será menor que 5°C.

Conforme verificado site Climatempo, que apresenta as médias climatológicas a partir da média de temperaturas em 30 anos, para temperatura ambiente em Nova Venécia foi considerado 24,4°C. Logo, serão obtidos a variação percentual de tensão de 5,4% e a variação de tensão será de 26,42V pelas Equações 5 e 6, respectivamente (VILLALVA, 2012).

Onde: T é a temperatura, Mtr é o menor registro de temperatura e Autemp é o aumento de temperatura.

Onde: Vpt é a variação percentual de tensão.

A tensão total na temperatura de 5°C será de 515,62V obtida, conforme a Equação 7 (VILLALVA, 2012):

Onde: Vt é a variação de tensão.

Por fim, para definição do inversor, é necessário calcular a potência máxima utilizando o número de módulos e a potência de cada módulo, conforme a Equação 8 (VILLALVA, 2012).

Onde:  $N_p$  é o número de módulos e  $P_m$  é a potência de cada um dos módulos.

Com base no inversor on grid da marca Renovigi existente na residência, foi verificado no datasheet (RENOVIGI ENERGIA SOLAR, 2019) a tensão máxima por entrada CC verificada na placa é de 550V, portanto, considerando o resultado da Equação 7, é possível ligar os 20 módulos em série mesmo no pior caso que acontece quando a temperatura no local da instalação é a mais baixa o possível. A potência máxima indicada na placa do inversor é de 3600W, e com o valor obtido na Equação 8 com a expansão, torna-se necessário um inversor com potência acima de 3100W, logo não é necessário trocar o inversor.

#### 4.5 PAYBACK

O valor total já investido na implantação do sistema fotovoltaico na residência incluindo módulos, inversor, condutores, dispositivos de proteção e mão de obra foi R\$ 14200,00. Abaixo é apresentada a Tabela 5, onde são informado os valores totais do investimento, acrescentando o valor dos 10 módulos a serem instalados verificado no site da Neosolar. É importante salientar que para os cálculos de custo não foram incluídos os valores para os novos condutores e nem a troca dos dispositivos de proteção necessários devido à ampliação do sistema de geração fotovoltaico.

Tabela 5 – Total do Investimento acrescentando os novos módulos

Componentes	Quantidade adicionada	Custo unitário	Custo total
Módulo monocristalino RS6E-155M	10	R\$ 399,00	R\$ 3.990,00
Valor já investido	-	-	R\$ 14.200,00
R\$ 18.190,00			

Fonte: Autores

A concessionária de energia em Nova Venécia atualmente é a Energia de Portugal (EDP). Consultando os valores do kWh de um consumidor residencial grupo B, a tarifa é R\$ 0,33125 bandeira verde. Devem também ser considerados os tributos verificados na conta de energia apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 – Tributos descontados na conta de energia

Valor do kWh EDP	0,33125
ICMS	25%
COFINS	2,61%
PIS	0,57%

Fonte: EDP

Logo, foi possível obter a tarifa, incluindo os tributos conforme apresentado na Equação 9, resultando em R\$ 0,461 por kWh (ANEEL, 2013).

Portanto, com o consumo médio mensal de 447,55kWh/mês, o valor médio mensal obtido foi de R\$ 206,32/mês.

A obtenção do tempo de retorno para o investimento será realizada conforme Equação 10. Ela permite definir a quantidade retornada em um período (n), conforme o valor mensal médio que será poupada (R), com uma determinada taxa de juros (i), que será considerada a taxa da poupança (KASSAI, et al, 2011).

Sendo o rendimento da poupança 70% da taxa Selic, que, tendo base o mês de setembro de 2021, está em 6,25% aa., a taxa i considerada para cálculo será de 4,375% aa (BCB, 2021). Para o valor de período n, foi adotado o tempo de vida útil do módulo visto no datasheet de 30 anos, considerando uma depreciação anual de 0,5%.

Portanto, em 30 anos o valor da quantia economizada esperada será de R\$ 56589,497. Conforme apresentado na Equação 11, o valor atual VA para verificação do investimento, obteve-se o valor de R\$ 38399,496. Por ter sido obtido um valor positivo, pode-se concluir que é rentável KASSAI (2011).

Utilizando a Equação 11 apresentada anteriormente e utilizando esses cálculos para gerar um gráfico utilizando o Excel, foi possível estimar o tempo de retorno do investimento, conforme demonstrado abaixo na Figura 5, aproximadamente nove anos para começar o retorno do investimento.

Figura 5: Representação tempo de retorno do investimento



Fonte: Autores

É importante considerar que o inversor tem uma vida útil de 10 anos. Dependendo das condições ambientais e da ocorrência de descargas atmosféricas, pode ser prolongado por 15 anos (SOLEN, 2019). Portanto, o mesmo deverá ser substituído, no mínimo duas vezes, considerando a duração de 30 anos para os módulos solares. Apesar disso, e de ter sido encontrado um valor de aproximadamente nove anos de payback, ressalta-se que já existe um retorno de 12 meses se considerarmos o tempo que o sistema está em pleno funcionamento, gerando e injetando ativo na rede da concessionária. Portanto, mesmo que alto, o investimento é viável do ponto de vista econômico, visto que as tarifas sofrem reajustes anuais, e também inserção de nova bandeira tarifária mais cara inserida devida crise hídrica.

## 5. CONCLUSÕES

A escassez hídrica está impactando diretamente no valor final da fatura dos consumidores, tendo em vista que novas bandeiras tarifárias estão sendo criadas para períodos de seca. Logo, a procura em novas fontes de energias alternativas é necessária para diminuir a dependência às fontes convencionais.

O Brasil, por ser um país que possui alto índice de radiação solar por toda sua extensão territorial, torna o investimento na energia solar fotovoltaica uma alternativa atrativa, o que corrobora com o aumento exponencial de instalações com geração fotovoltaica.

Sendo uma forma de geração que não depende de tamanha complexidade e espaço para sua instalação quando comparada a outras fontes, para um consumidor residencial aderir à microgeração fotovoltaica é preciso que o mesmo disponha de um telhado e/ou fachada que tenha espaço suficiente para instalação dos módulos e em local aberto para receber a maior incidência solar possível. Outro aspecto a ser considerado é seu alto investimento inicial, que mesmo com avanços na área de fabricação de células diminuindo consideravelmente nos últimos anos o valor final dos módulos, ainda assim esse tipo de sistema não é tão acessível.

Os estudos realizados para a ampliação de um sistema fotovoltaico já existentes em uma residência na cidade de Nova Venécia constataram um tempo de payback de nove anos. Ainda que seja um pouco extenso, é satisfatório levando em conta que os módulos atuais possuem vida útil de mais de 25 anos, o que corresponde a apenas 36% de duração do sistema. Há ainda outra vantagem, pois a residência possui espaço físico para implementação de mais módulos, e mesmo que nos cálculos não tenha sido necessária a troca do inversor existente, o consumidor pode considerar a troca por um de maior potência quando houver a necessidade, e ainda sim o investimento é justificado visto os aumentos anuais das tarifas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída:** Micro e Minigeração Distribuídas. 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 03 de jun. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482.** 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 31 de mai. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL:** Entenda melhor o que a ANEEL está propondo para o futuro da GD, 2019. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/saladeimprensaexibicao2//asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/entendamelhoroqueaaneelestapropndoparaofuturodagd/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/saladeimprensaexibicao2%3Fp\\_p\\_id%3D](https://www.aneel.gov.br/saladeimprensaexibicao2//asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/entendamelhoroqueaaneelestapropndoparaofuturodagd/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/saladeimprensaexibicao2%3Fp_p_id%3D)>



101\_INSTANCE\_zXQREz8EVIZ6%26p\_p\_lifecycle%3D0%26p\_p\_state%3Dnormal%26p\_p\_mode%3Dview%26p\_p\_col\_id%3Dcolumn2%26p\_p\_col\_pos%3D1%26p\_p\_col\_count%3D3>. Acesso em: 03 de jun. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL: Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública**, 2019. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/saladeimprensaexibicao//asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877](https://www.aneel.gov.br/saladeimprensaexibicao//asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877)>. Acesso em: 31 de mai. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Escelsa por dentro da conta de luz. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Cartilha%20Escelsa.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Energia solar: mais empregos e sustentabilidade para o Brasil**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/artigos/energia-solar-mais-empregos-e-sustentabilidade-para-o-brasil/>>. Acesso em: 04 de jun. 2021.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN).

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. 241 p.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Remuneração dos Depósitos de Poupança**. Disponível em: <<https://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp?frame=1>>. Acesso em: 03 out. 2021.

CARVALHO, E. F. A; CALVETE, M. J. F. **Energia Solar: um passado, um presente... um futuro auspicioso**. Rev. Virtual Quim. v. 2, n. 3, p. 192 -203, 2010.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Nova Venécia**. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br/climatologia/77/novavenecia-es>>. Acesso em: 19 de setembro. 2021.

CRESESB. **Potencia Solar: Sun Data v. 3.0**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>> Acesso em: 19 de setembro. 2021.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M.; Viabilidade econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeito no setor elétrico. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD\\_2388.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf)>. Acesso em: 13 de jun. 2021.

EDP. **Tarifas: Clientes atendidos em baixa tensão (grupo B)**. Disponível em: <<https://www.edp.com.br/distribuicao-es/saiba-mais/informativos/tabela-de-fornecimento-de-baixa-tensao>> Acesso em: 21 de agosto. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**. 2021. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>>. Acesso em: 19 de out. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia Solar**, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao227/topico523/05.03%20Energia%20Solar.pdf#search=solar>>. Acesso em: 04 de jun. 2021.

GALHARDO, M. A. B. et. al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 248 p.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. Editora Atlas SA, 2008.

GUIMARÃES, K.C. et. al. **Uso da energia solar fotovoltaica como alternativa de economia e sustentabilidade: estudo 12 de caso em residência em Palmas - TO**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC). Palmas, 2019.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia: Dados históricos anuais**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>> Acesso em: 02 de outubro. 2021.

- JESUS, Fernando. Preços dos painéis solares descem 90% desde 2010. **Portal de Energia**, 2020. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/precos-paineis-solares-148225/>>. Acesso em: 21 de out. 2021.
- KASSAI, José Roberto; CASANOVA, Silvia Pereira de Castro; SANTOS, Arioaldo dos; ASSAF-NETO, Alexandre. **Retorno do investimento, abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. São Paulo: Atlas, 2011. 280p.
- MARQUES, L. A. A.; FERNANDES, I. C. S.; COSTA, J. A. **Energia solar fotovoltaica em unidades residenciais: estudo de caso**. In: Congresso de Iniciação Científica do IFRN (IX CONGIC), Tecnologia e Inovação para o Semiárido. Currais Novos, 2013.
- MARQUES, R. C. **Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia**. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 30, n. 2, p. 153-162, 2009.
- NEOSOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico 155W**: Resun RS6E-155M. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-155w-resun-rs6e-155p.html>> Acesso em: 19 de setembro. 2021.
- PINHO, João Tavares e GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014. 530 p.
- PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 19 de out. 2021.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética PROCEL INFO**: Dicas de Economia de Energia. 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000}>>. Acesso em: 28 de set. 2021.
- RENOVIGI ENERGIA SOLAR. **Inversor Solar Fotovoltaico - Conectado à Rede Elétrica**: Manual do Usuário. 2019. Disponível em: <[https://solar.guianet.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Manual\\_Inversor\\_3kW\\_-\\_5kW\\_-\\_KTN\\_-\\_Portugues.pdf](https://solar.guianet.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Manual_Inversor_3kW_-_5kW_-_KTN_-_Portugues.pdf)> Acesso em: 12 de nov. 2021.
- SOLEN. **Qual a durabilidade do kit energia Solar?**. Disponível em: <<https://www.solenenergia.com.br/blog/durabilidade-do-kit-energia-solar/>>. Acesso em: 09 de out. 2021.
- TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável**: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. 1. ed. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 452 p.
- VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica conceitos e aplicações**: Sistemas isolados e conectados à rede. São Paulo: Érica, 2012. 224p.
- WAENGA, A; PINTO, D. **Impactos da Geração Distribuída Fotovoltaica no sistema de Distribuição de Energia Elétrica**. 2016. 105f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

## ANÁLISE DE ANOMALIAS EM BARRAGENS DA BACIA DO RIO ITAÚNAS

Isabella Fernandes Cardoso<sup>1</sup>, Julia Cossetti<sup>1</sup>, Luisa Morgan Bernardo<sup>1</sup>, Mirella Gonçalves da Fonseca Miranda da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Civil

<sup>2</sup> Professora orientadora docente da Multivix - Vitória

### RESUMO

As barragens de terra são construções muito comuns no meio rural, principalmente devido à facilidade de construção e viabilidade de custo. Em vista disso, há uma grande quantidade de barragens de acumulação de água feitas de terra no Espírito Santo, utilizadas principalmente para irrigação e usos múltiplos. Geralmente esses barramentos são pequenos e construídos de forma rudimentar, sem realização de projeto, acompanhamento técnico e manutenção adequada, desencadeando riscos de acidentes. Dessa forma, objetivou-se, para com esse estudo, identificar e analisar as anomalias mais recorrentes em barragens de acumulação de água feitas de terra homogênea, localizadas na região da bacia hidrográfica do Rio Itaúnas, no Espírito Santo, desempenhando uma correlação entre as principais anomalias encontradas nas barragens com as características de idade do barramento e tipo de fundação da estrutura. Os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), que passaram por tratamentos de tabulação e análise gráfica. Os resultados do estudo demonstraram que a presença de vegetação excessiva e/ou de grande porte é a anomalia mais recorrente nas barragens analisadas, presente em 92% dos barramentos apurados. Além disso, demonstrou-se que as fundações de aluvião são mais suscetíveis ao surgimento de anomalias, pois elas apresentaram todas as 12 anomalias averiguadas no estudo, apontando esse tipo de fundação como o mais utilizado na região, aparecendo em cerca de 62% das barragens ponderadas. Por meio do estudo, conclui-se que a possível causa principal das patologias nos barramentos analisados foi a falta de manutenção e de apoio técnico adequado.

**Palavras-chave:** anomalias, barragens de terra, segurança de barragens, patologias.

### ABSTRACT

Earth dams are very common constructions in rural areas, mainly due to the ease of construction and cost feasibility. In view of this, there are a large number of water accumulation dams made of earth in Espírito Santo, used mainly for irrigation and multiple uses. Generally, these buses are small and rudimentary built, without carrying out a project, technical monitoring and adequate maintenance, triggering the risk of accidents. Thus, the objective of this study was to identify and analyze the most recurrent anomalies in water accumulation dams made of homogeneous land, located in the region of the river basin of the Itaúnas River in Espírito Santo, performing a correlation between the main anomalies found in dams with the characteristics of age of the dam and type of foundation of the structure. The data used in this study were provided by the State Agency for Water Resources (AGERH), and underwent tabulation treatments and graphical analysis. The results of the study showed that the presence of excessive and/or large vegetation is the most recurrent anomaly in the analyzed dams, present in 92% of the verified dams. In addition, it was demonstrated that alluvial foundations are more susceptible to the emergence of anomalies, as they presented all 12 anomalies investigated in the study, indicating this type of foundation as the most used in the region, appearing in about 62% of the dams. weighted. Through the study, it is concluded that the possible main cause of the pathologies in the analyzed buses was the lack of maintenance and adequate technical support.

**Keywords:** Anomalies, earth dams, dam safety, pathologies.

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura requer uma extensa demanda hídrica em abundantes partes do Brasil, precisando recorrer ao uso de barragens para acumulação de água para suprir esse consumo. No entanto, o lucro financeiro derivado do agronegócio é raramente suficiente para investir na construção de estruturas caras e tecnologicamente avançadas. Por consequência disso, o tipo de barramento predominante no meio rural são barragens pequenas, em sua maioria feitas de terra, devido à facilidade de construção e viabilidade de custo (SALINAS, 2017).

Paralelamente, Tanus (2018) diz que as barragens são definidas como estruturas construídas transversalmente dentro ou fora de cursos d'água permanentes ou temporários, com o propósito de armazenar água, originando um reservatório. Ademais, esses barramentos podem ter várias funções, como: irrigação; piscicultura; dessedentação animal; geração de energia elétrica; regularização de vazão; controle de cheias; abastecimento urbano e industrial; aquicultura; navegação; recreação; entre outros usos.

Além disso, existem diferentes critérios utilizados para classificar barragens, geralmente levando em consideração a finalidade, função, tipo de estrutura e material de construção utilizado (BERTULUCI, 2020). Nesse sentido, é comum utilizar como critério diferentes combinações de tipos variados de classificação para descrever o barramento com maior precisão (TANUS, 2018).

Sob o mesmo ponto de vista, segundo Timbó (2018) e Costa (2012), as barragens podem ser divididas em duas classes distintas: os barramentos convencionais, que são mais utilizados atualmente e que possuem existência de grande bibliografia específica sobre eles, como, por exemplo, barramentos feitos de terra, enrocamento, concreto e barragens mistas; e os barramentos não convencionais, que são estruturas menos usuais, não existindo literatura ampla específica disponível acerca deles. Esse grupo inclui os tipos de barramentos recém desenvolvidos com o uso de novas tecnologias e materiais, como, por exemplo, barragens constituídas de gabião, madeira, alvenaria, pedra, entre outros materiais.

Por conseguinte, de acordo com Bertuluci (2020), um barramento de terra é construído a partir da realização de deslocamento e disposição de material de empréstimo com acumulação e sucessiva compactação, geralmente geotécnico. Além disso, para a construção de barragens de terra, é necessária uma extensa quantidade de material para a confecção do núcleo da estrutura, que geralmente é feito de material argiloso, utilizando espaldares, filtros e drenos (TANUS, 2018).

Embora sejam muito utilizadas, as barragens são estruturas geralmente associadas a um grande risco em potencial devido à possibilidade de ocorrência de acidentes, como, por exemplo, a ruptura da estrutura, envolvendo consequências catastróficas para população próxima ao empreendimento, com a possibilidade de causar danos ambientais, econômicos e materiais, além do risco de perda de vidas humanas (ZUFFO, 2015).

Em vista disso, Aguiar et al. (2015) mencionam que barragens do Brasil estão se deteriorando com o passar do tempo, considerando a idade da barragem como um fator importante na determinação de sua segurança, devido à danificação inerente ao estado de conservação da estrutura e ao seu tempo de vida útil, tendo em conta também o tipo de barramento, uma vez que cada um possui uma característica específica, sendo suscetível a algumas falhas. Esses fatores reforçam a necessidade de intensificar os cuidados em relação à segurança desses barramentos, pois com a crescente construção de novas barragens, as já existentes necessitam de avaliações periódicas para se verificarem as condições de segurança.

Acrescente-se que é comum a existência de construção de barragens de terra sem elaboração de projeto e sem apoio técnico adequado por empreendedores que não possuem acesso às informações sobre as medidas para garantir a segurança da estrutura. Contudo, quando há existência de projeto, ele geralmente apresenta algumas falhas, como, por exemplo, a ausência de estudos específicos e de demais critérios técnicos básicos, que são fundamentais para a construção e segurança de barramentos (GOMES; TEIXEIRA, 2017).

Saliente-se ainda que, conforme afirmado por Salinas (2017), uma vertente muito importante no estudo de barramentos é a manutenção adequada deles, pois ela é de extrema importância para garantir a segurança durante toda a vida útil da obra, visto que a falta dela ou descuido pode acarretar problemas futuros, como, por exemplo, a ocorrência de acidentes envolvendo a barragem e a população a jusante dela.

Levando em consideração os fatores apresentados, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise e descrição das anomalias mais recorrentes em barragens feitas de terra, para acumulação de água, utilizadas para fins agropecuários ou de usos múltiplos, presentes na região da bacia hidrográfica do Rio Itaúnas, no Espírito Santo, correlacionando essas informações com o tipo de fundação e a idade dos barramentos. O estudo se justifica em conhecer e diagnosticar as reais condições das barragens do estado em relação a segurança e patologias, realizando, dessa forma, um acompanhamento atual da situação dessas estruturas e dos riscos que elas apresentam.

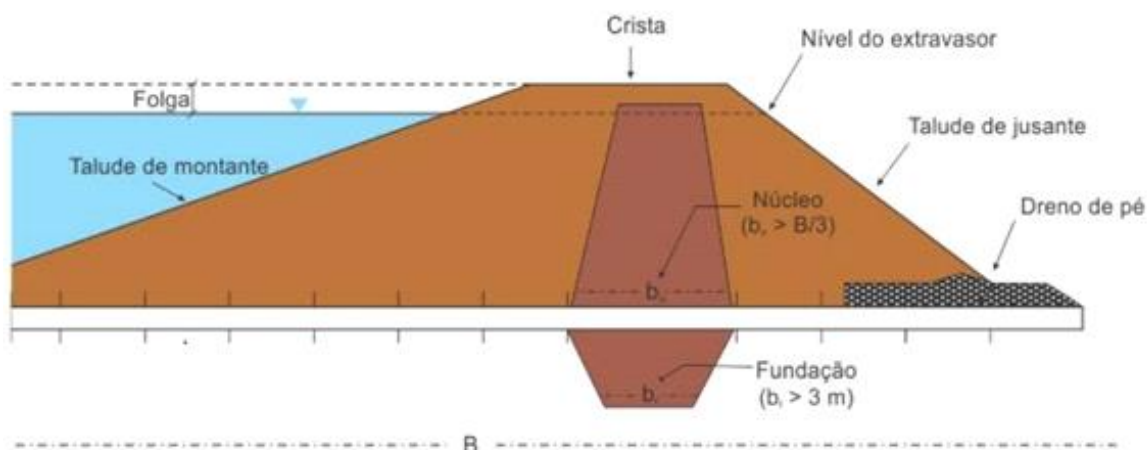
## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. BARRAGENS DE TERRA**

As barragens de terra são um tipo muito antigo de construção. Um dos registros mais antigos é de uma barragem de 12m de altura, construída no Egito, há aproximadamente 6,8 mil anos, e que rompeu por transbordamento. As barragens de terra eram “homogêneas”, com o material transportado manualmente e compactado por pisoteamento, por animais ou homens (MASSAD, 2010).

Sobre a sua constituição, Gameleira e Amaral (2018) concluíram que a barragem de terra é o tipo mais comum e é facilmente encontrada devido à disponibilidade de material terroso no Brasil. Esse tipo de barragem apresenta uma considerável vantagem quando comparada com as barragens de concreto, pois pode ser construída sobre fundações com resistência mais baixa, apoiada sobre solos moles, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Principais Elementos de uma Barragem de Terra



Fonte: Atlas Digital das Águas de Minas, 2011.

Segundo Stephens (2011), os materiais suficientemente permeáveis, tais como os solos argilo-arenosos, são os mais adequados para compor o maciço de montante, pois eles permitirão uma passagem de água limitada e resistirão ao abatimento quando molhado. Deve-se atentar às técnicas de compactação, quando solos de qualidade inferior são usados, para diminuir ao máximo o volume de espaços de vazios e maximizar a sua estabilidade quando molhados. Já no maciço de jusante e nas seções do aterro que precisam de massa e drenagem, geralmente são usados materiais permeáveis, tais como areia grossa e cascalho miúdo. Em geral, eles podem ser melhor compactados se secos ou apenas ligeiramente úmidos.

Em áreas rurais, se utiliza a construção de barramentos de terra para várias finalidades, principalmente para a irrigação, seguida de abastecimento da propriedade, criação de peixes, recreação, bebedouro, elevação de água por bombeamento e outros. Além disso, as barragens constituídas de material terroso podem ser classificadas de acordo com a disponibilidade dos materiais de construção, sendo homogênea quando usado apenas um tipo de solo, e heterogênea (zoneada) quando é usado dois ou mais tipos de solo (CARVALHO, 2008).

De acordo com Marangon (2004) e conjuntamente Timbó (2018), um barramento é considerado homogêneo quando é composto de apenas um tipo

de material, sem levar em consideração a proteção dos taludes. Esse tipo de estrutura, para manter uma estabilidade adequada, precisa de taludes relativamente suaves, e o material utilizado em sua composição deve ser suficientemente impermeável a fim de formar uma barreira efetiva contra a água.

As barragens classificadas como zoneadas, que são feitas com o núcleo central impermeável, envolvido por zonas de materiais mais permeáveis, geralmente constituídas de areia, cascalho, fragmentos de pedra ou uma mistura desses materiais. Essas zonas têm a função de suportar e proteger o núcleo da barragem. Nesse tipo de barramento, as camadas têm função de drenos, descartando a necessidade de revestir os taludes, além disso, os ângulos de atrito internos, por serem maiores, conferem uma estabilização considerável para a estrutura (TIMBÓ, 2018).

As principais vantagens na construção de barragens de terra são a utilização de materiais naturais locais, a simplicidade dos procedimentos de projeto construtivo, a menor exigência de requisitos para as fundações, o baixo custo e a facilidade de construção. Contudo, esse tipo de estrutura também apresenta algumas desvantagens, tais como a facilidade de danificação pela ação da água corrente, a necessidade de acompanhamento e fiscalização quanto à compactação adequada para que a estrutura não apresente infiltração e recalque, e a necessidade de manutenção contínua para evitar erosão, crescimento de árvores, sedimentação, e danos provocados por animais (ABREU, 2015).

## **2.2. SEGURANÇA DE BARRAGENS**

Regularmente, uma barragem é dita segura quando atende aos critérios de segurança estrutural, ou seja, possui conformidade entre projeto, execução e manutenção, de maneira que possa garantir o funcionamento correto. Entretanto, também deve ser considerado o potencial de danos que uma possível ruptura no barramento pode provocar. Isso retrata diretamente a sensação de segurança que é passada pela estrutura. O potencial de dano é,



então, calculado levando em conta as áreas de influência a montante e a jusante da barragem (AGUIAR et al., 2015).

De acordo com Medeiros (2020), a instrução que cuida da segurança das barragens também cuida da qualidade da estrutura durante sua vida útil. Esse tratamento é realizado por meio de inspeções visuais e instrumentos que permitem que sejam realizadas essas inspeções. No Brasil, as barragens mais antigas que ainda estão em operação datam do século XIX. Algumas delas acabaram perdendo sua funcionalidade, mas ainda assim não foram totalmente desativadas.

As causas mais comuns de falhas em barragens são o galgamento, que é o transbordamento do reservatório, estimado em aproximadamente 40% de ocorrência, e problemas na fundação da estrutura, como percolação e erosão interna (piping), estimado em aproximadamente 30% de ocorrência. Ademais, é possível afirmar que por volta de dois terços das grandes barragens construídas na América Latina estão localizadas no Brasil (WCD, 2001).

Nos últimos dez anos, importantes alterações na legislação brasileira de segurança de barragens aconteceram. Muitas delas ocorreram após acidentes envolvendo rompimentos de barragens no país, tais como os desastres de Mariana e Brumadinho. Um importante marco na administração de segurança de barragens no Brasil, ocorrido em 2010, foi a elaboração da lei que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), que tem por finalidade regularizar as ações e parâmetros de segurança de barragens e assegurar que sejam seguidos para diminuir a possibilidade de acidentes e suas consequências (BRASIL, 2010).

### **2.3. ANOMALIAS APRESENTADAS EM BARRAGENS DE TERRA**



A Resolução nº 742, de 17 de outubro de 2011, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que determinou a regularidade, a competência da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhes das inspeções de segurança regulares de barragem, em concordância com o artigo 9º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (que criou a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB), caracteriza anomalia como sendo “qualquer

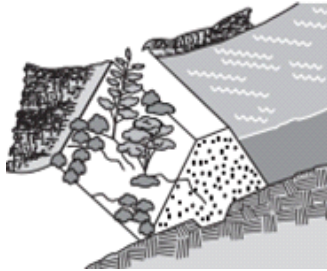

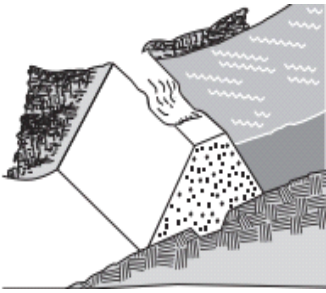

deficiência, irregularidade anormalidade ou deformação que possa vir afetar a segurança da barragem, tanto a curto com a longo prazo”.

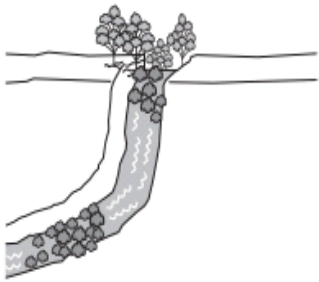
Em harmonia, Santos (2019) menciona que todo tipo de construção está sujeita a ter algum tipo de problema, existindo uma necessidade de identificação e tratamento. Segundo ele, ao longo do tempo de vida útil de uma barragem de terra podem surgir diversos tipos de anomalias, que podem ser capazes de abalar o desempenho do barramento e de suas demais estruturas, podendo até mesmo resultar em um rompimento ou galgamento da barragem, caso não sejam identificadas e tratadas a tempo, e conseqüentemente trazem riscos às populações localizadas no seu entorno.

Sintetizando, é possível destacar alguns exemplos de anomalias que podem evoluir e afetar o funcionamento seguro do barramento de terra apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 - Principais anomalias presentes em barragens de terra

Anomalia	Imagem	Descrição
Borda livre insuficiente	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>A borda livre mínima é definida como a distância entre o topo do talude e o nível máximo de água que o reservatório pode atingir em épocas de cheia. Esse parâmetro deve ser estabelecido em projeto para certificar a segurança da barragem. E caso não tenha sido calculada, deve ser de pelo menos um metro, com a finalidade de proteção contra possíveis transbordamentos em situação de chuva intensa. O nível normal do reservatório sempre deve ficar abaixo da borda livre mínima (AGERH, 2020).</p>
Percolação, infiltração ou surgência de água	 <p>Fonte: AGERH, 2020.</p>	<p>É uma anomalia definida como o deslocamento da água pelo maciço e fundação, e que poderá se transformar em um problema quando houver o carregamento do solo do maciço ou da fundação, pelo fluxo de água da barragem ou quando ocorrer um acréscimo de pressão na fundação ou no barramento (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002). Alguns fatores que podem indicar a existência de percolação, infiltração ou surgência de água no barramento são: o aparecimento de vegetação mais verde sem motivo aparente próxima a barragem, presença de regiões úmidas, ou surgimento de água nas paredes secas dos taludes</p>

		(AGERH, 2020).
Vegetação excessiva ou de grande porte	 <p>Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2002.</p>	<p>O crescimento de árvores e arbustos nos taludes de montante e de jusante e na área logo após a jusante do barramento pode causar danos à estrutura devido ao crescimento de raízes, como, por exemplo, a diminuição da distância de percolação, aumento de vazios maciço pela decomposição de raízes ou extração de árvores, entupimento de tubos e estruturas de drenagem, entre outros. Além disso, a presença de vegetação excessiva dificulta ou até mesmo impede a realização de inspeção visual e física da estrutura e áreas adjacentes, atrapalhando a observação de outras anomalias (MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002).</p>
Tocas de animais, formigueiros ou cupinzeiros	 <p>Fonte: ANA, 2016.</p>	<p>O surgimento de formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais deve ser monitorado e removido, pois podem gerar percolações e erosões internas (piping), devido à passagem de animais ou ninhos, que realizam a conexão do reservatório com o talude de jusante, ou geram o encurtamento dos caminhos de percolação. Além disso, também há a possibilidade desses caminhos penetrarem o núcleo central do barramento e até mesmo causar o colapso da barragem (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002).</p>
Deformações, recalques, buracos, trincas ou afundamentos	 <p>Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2002.</p>	<p>São definidos como qualquer alteração no formato do barramento, como abertura de fissuras, buracos ou afundamentos, que podem estar localizados em qualquer parte da estrutura, e podem significar a movimentação da mesma e uma possibilidade de rompimento (AGERH, 2020).</p>
Falha na cobertura da barragem e dos taludes	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>Os taludes da barragem devem ser cobertos com rochas (enrocamento), ou vegetação rasteira, como gramíneas. Além disso, quando esse tipo de proteção apresenta falhas ou não existe cobertura adequada, esses fatores podem desencadear erosão superficial, que é um processo capaz de destruir parte da estrutura de terra que forma o barramento (AGERH, 2020).</p>

<p>Presença de vegetação aquática</p>	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>A proliferação de plantas aquáticas é prejudicial pois pode causar o entupimento das estruturas de drenagem e regulação de cheias do barramento, além da possibilidade de comprometer a qualidade da água do reservatório, e até mesmo causar a sua eutrofização (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002).</p>
<p>Obstruções, deterioração ou falta de estruturas</p>	 <p>Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2002.</p>	<p>As estruturas do barramento devem estar sempre desobstruídas e em boa condição, principalmente mecanismos como os monges e vertedouros, que são essenciais para a segurança e funcionamento correto da barragem, pois são responsáveis por regular as cheias do reservatório e por manter a vazão ecológica no curso hídrico, evitando, dessa maneira, que o reservatório acabe armazenando mais água do que foi projetado em caso de chuvas intensas (AGERH, 2020).</p>
<p>Erosão</p>	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>Consiste no desprendimento, desgaste, transporte e sedimentação de partículas de solo em virtude da atuação de forças causadas pelo fluxo de água (FILHO, 2013).</p>

Fonte: Autores, 2021.

## 2.4. DIAGNÓSTICO E MANUTENÇÃO EM BARRAGENS DE TERRA

Os rompimentos de barragens são comuns no mundo todo. Numa tentativa de criar técnicas para evitar ou reduzir o grau de intensidade dos acidentes causados pelo rompimento de barragens de terra, especialistas mensuraram quais são as causas mais frequentes (BARBOSA, 2020). De acordo com Caputo (1987), as principais causas de ruptura são galgamento (extravasamento), infiltrações e deslizamentos. A Tabela 1, a seguir, mostra as principais causas de ruptura de barragens nos Estados Unidos.

Tabela 1 – Principais causas de rupturas de barragens de terra

Extravasamento (galgamento)	30%
-----------------------------	-----

Infiltrações	25%
Deslizamentos	15%
Vazamentos de condutos	13%
Falta de proteção dos taludes	5%
Causas diversas e desconhecidas	12%

Fonte: Adaptado de Caputo (1987).

A fiscalização de barragens inclui a preparação da barragem e das estruturas extravasoras, como também das respectivas fundações, de forma a possibilitar a medição de um agrupamento de grandezas selecionadas criteriosamente que, juntamente às inspeções de segurança, permita controlar as condições de segurança dessas estruturas, durante a construção e o primeiro enchimento do reservatório, bem como nas revisões de segurança posteriormente (ANA, 2016).

Atividades de monitoramento são complementadas pelas inspeções de segurança, com vista à detecção de degradação, comportamentos atípicos ou sintomas de envelhecimento das estruturas, além de identificação de anomalias na própria instrumentação instalada na barragem (ANA, 2016).

Os taludes de uma barragem de terra devem estar estáveis para evitar problemas com a segurança da estrutura e uma possível ruptura (BARBOSA,2020).

De acordo com a NBR 11.682 (ABNT, 2009), que foi criada para definir os parâmetros no estudo e no controle de taludes, além dos parâmetros de projeto, execução e conservação de obras de contenção de taludes, diz que um talude estável não apresenta nenhum tipo de instabilidade como, por exemplo, trincas, erosão, abatimentos, rachaduras em obras locais etc.

A preservação das estruturas deve ser realizada com cunho preventivo ou quando é verificada a presença de sinais ou sintomas de deterioração, particularmente, a partir de inspeções de segurança regulares e especiais, ou em consequência da revisão frequente de segurança de barragens. Podem se considerar dois tipos de manutenção das estruturas: a manutenção corrente e a revisão ou reparo (ANA, 2016).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), a manutenção corrente é o conjunto de ações desenvolvidas periodicamente, com vista a

manter as estruturas nas condições de funcionalidade e segurança necessárias, e engloba, essencialmente, as medidas preventivas de rotina, também conhecida como manutenção preventiva.

Na fase de manutenção preventiva, as condições ideais de uma barragem não consistem apenas de um bom projeto de instrumentação de auscultação, necessitando ser acompanhado de inspeções visuais periódicas em campo, que tem por objetivo identificar danos em potencial e alertar sobre as condições que podem afetar a segurança das estruturas associadas. Devem ser incluídas na inspeções local a barragem, sua fundação, dispositivos de descarga, dispositivos de saída, reservatório, áreas imediatamente a jusante, dispositivos de auscultação e as vias de acesso (BARBOSA, 2020).

Segundo a ANA (2016), na manutenção corretiva, as intervenções de revisão ou reparação, envolvendo meios humanos e materiais, podem ser necessárias na sequência de anomalias importantes, com eventuais condicionamentos à operação do aproveitamento.

De acordo com Barbosa (2020), a fase de manutenção corretiva refere-se aos trabalhos de diagnóstico, reparação, reforço e proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e exibem patologias evidentes. A essas atividades pode-se associar um custo 125 vezes superior ao custo das providências que deveriam ter sido feitas na fase de projeto e que resultariam num mesmo nível de durabilidade que foi estimado na obra após a intervenção corretiva.

O planejamento das ações referidas e eventuais estudos de apoio devem basear-se na análise das causas prováveis das deficiências surgidas e ter em consideração o tipo de estrutura e os condicionantes da intervenção a efetuar (ANA, 2016).

Ainda segundo a ANA (2016), os trabalhos de correção, visando eliminar as causas das anomalias ou, ao menos, controlar o seu desenvolvimento, devem ser definidos em projeto, incluindo a descrição e justificativa técnica da solução adotada.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), especificamente pelo setor de Gerência de Gestão de Infraestrutura Hídrica (GGIH), responsável pela área de planejamento e realização de vistorias visando à segurança de obras hídricas, principalmente de barragens de acumulação de água, feitas de terra, concreto, enrocamento e mistas, utilizadas para fins agropecuários e de usos múltiplos em todo o estado do Espírito Santo, não contemplando apenas os barramentos utilizados para geração de energia elétrica, uma vez que essas barragens são fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

As informações iniciais para análise constituem em planilhas constando as anomalias encontradas, características físicas e estruturais dos barramentos, e demais informações referentes aos pareceres técnicos das barragens inspecionadas em campo pelos profissionais da AGERH nos anos de 2019 e 2020, totalizando em uma amostra de um total de 141 barragens constituídas de diferentes tipos de materiais, localizadas em todo o estado.

O objetivo do estudo foi analisar apenas barragens de acumulação de água constituídas de terra homogênea, localizadas na região da bacia hidrográfica do Rio Itaúnas, no Espírito Santo, totalizando uma amostra final de 25 barragens.

#### **3.2. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS BARRAGENS**

Os critérios para avaliação das características físicas das barragens selecionadas considerados no estudo foram os tipos de fundações de cada estrutura, o ano aproximado de conclusão da construção do barramento, levando em consideração que o início de operação das barragens foi feito imediatamente após a finalização da construção da obra (idade da barragem), e as anomalias presentes em cada uma delas.

Acrescenta-se, ainda, que foi realizado um tratamento utilizando a linha do tempo de imagens satélite no Google Earth, que indicam os anos nas quais

elas foram disponibilizadas, com a finalidade de se obter o ano aproximado de conclusão de construção das 17 barragens que não apresentaram esse dado especificado, e da realização de conferência dos dados de idade disponibilizados pela AGERH, das oito barragens restantes. Em síntese, dessas 17 barragens que passaram pelo tratamento, 10 barramentos aparecem nas imagens mais antigas disponíveis, datadas em 2010. Com isso, foi associado o ano de 2010 à data de conclusão da construção dessas 10 barragens. Além disso, também foi possível encontrar os anos de conclusão de construção das sete barragens restantes, e confirmar os dados de idade das oito barragens que já possuíam esse dado especificado pela AGERH.

Além disso, devido a maior parte dos barramentos não apresentarem projetos e demais documentações contendo dados técnicos, foram desconsideradas na análise as medidas de capacidade, área alagada, altura, largura e comprimento, visto que a maioria dos valores existentes foram estimados sem muita precisão, adquiridos por meio de mensuração visual em campo, conferência ao empreendedor da estrutura, ou empregando recursos de cálculo, utilizando como base imagens de satélite.

### **3.3. AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS E CORRELAÇÕES DAS CAUSAS**

A avaliação das patologias foi realizada por meio da separação, análise e tabulação de todas as anomalias encontradas nas 25 barragens selecionadas para o estudo, ponderando também a recorrência das anomalias, mensurando graficamente os resultados.

Salienta-se ainda que os profissionais da AGERH realizaram a listagem das informações de tipo de fundação, idade e anomalias, por meio da observação visual das barragens, durante inspeções de campo, realizadas entre os anos de 2019 e 2020, e da análise do que foi observado, juntamente com os documentos dos barramentos, e das informações fornecidas pelos empreendedores ou obtidas com auxílio de imagens aéreas.

Posteriormente, as correlações das causas das patologias foram realizadas por meio de um estudo comparativo utilizando análise gráfica e tabulação, correlacionando as principais anomalias encontradas nas barragens com as

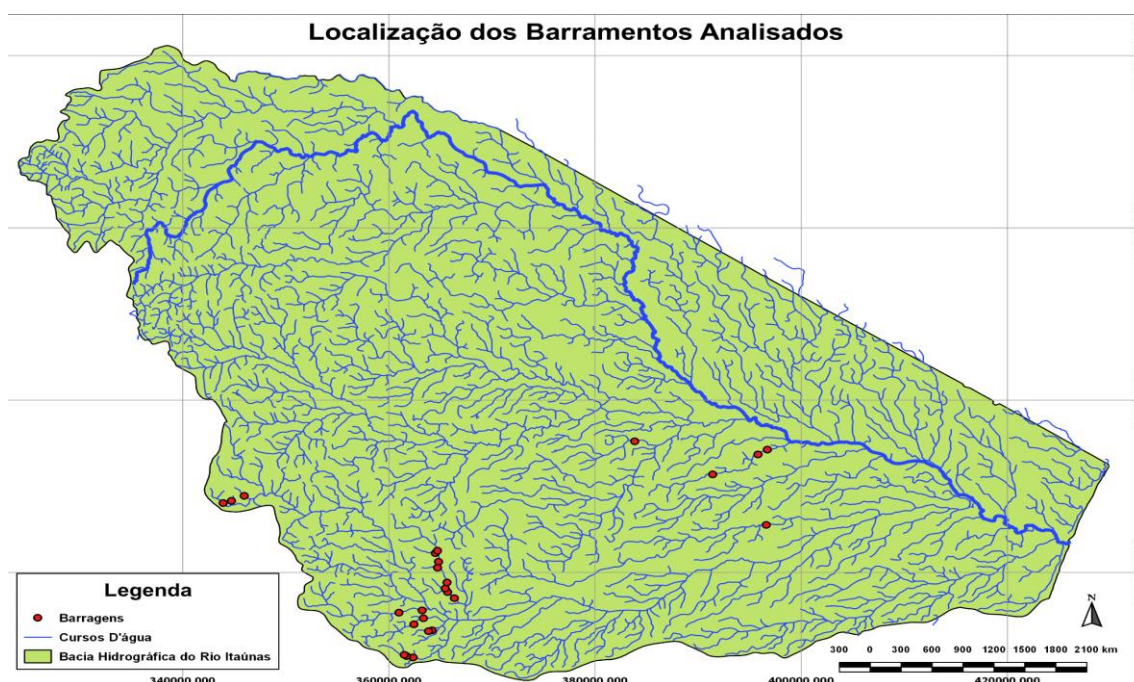


características de idade da barragem e tipo de fundação, ponderando também a recorrência das anomalias encontradas e descrevendo os resultados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos neste estudo remetem-se ao processo final de análise, tratamento e correlação das informações iniciais fornecidas pelos profissionais da AGERH, referentes às anomalias, tipo de fundação e data de fim de construção (idade) de uma amostra final de 25 barragens de acumulação de água feitas de terra homogênea, posicionadas em conformidade com a Figura 2 abaixo:

Figura 2 - Mapa indicando a localização dos barramentos na bacia hidrográfica do Rio Itaúnas.



Fonte: AGERH, adaptado pelos autores, 2021.

A Figura 2 ilustra os pontos de localização das barragens na região da bacia hidrográfica do Rio Itaúnas, no Espírito Santo, inseridas em afluentes do Rio Itaúnas, situados nos municípios de Ponto Belo, Boa Esperança e Pinheiros.

As características acerca do tipo de fundação são fatores importantes que podem influenciar diretamente na resistência, deformabilidade, permeabilidade e declividade da barragem. Em vista disso, para desempenhar uma análise e

correlação entre os tipos de fundações dos barramentos, utilizou-se as informações quantitativas descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de barragens de acordo com o tipo de fundação.

<b>Tipo de Fundação</b>	<b>Barragens</b>
Aluvião	64%
Solo Residual	24%
Solo Compacto	12%

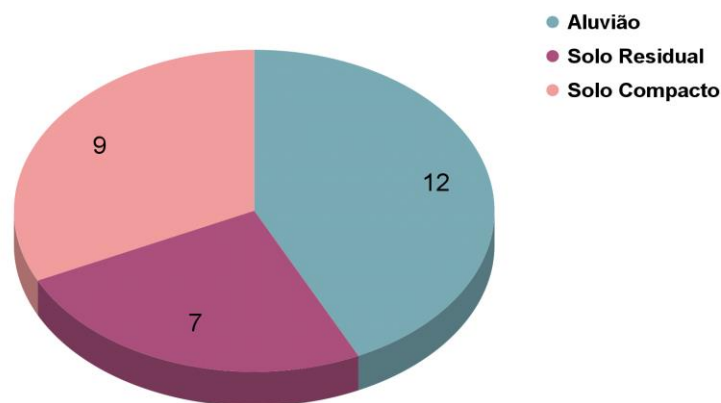
Fonte: Autores, 2021.

A Tabela 2 expõe que a maioria das barragens ponderadas apresenta fundações de aluvião, presentes em 62% das barragens, apontando como o tipo de fundação mais comum em barramentos da região analisada. Isso acontece principalmente pela maior disponibilidade desse material, pelo processo simplificado de construção, e devido ao baixo custo, considerando que esse tipo de fundação possui uma diversidade de solos, dispendo de características como a baixa resistência mecânica, a porosidade elevada, que consequentemente permite maior percolação, e a possível presença de matéria orgânica, particularidades que acabam influenciando no valor do material e na qualidade do barramento.

Já as fundações de solo residual ou compacto possuem um processo construtivo mais complexo e demandam materiais específicos, que apresentam maior resistência, menor porosidade e percolação, aspectos que os tornam menos usuais em obras pequenas de baixo orçamento, sem acompanhamento técnico específico, como é o caso da maioria dos empreendimentos apurados neste estudo.

Subsequente, foi feita uma correlação entre os tipos de fundação e as anomalias encontradas nas barragens, conforme é demonstrado no Gráfico 1 abaixo:

Gráfico 1 - Quantidade de anomalias de acordo com o tipo de fundação.



Fonte: Autores, 2021.

Por meio dos dados do gráfico, pode-se afirmar que as barragens analisadas, que possuem fundação de aluvião, apresentam uma maior suscetibilidade a anomalias, em virtude delas apresentarem todos os 12 tipos de anomalias analisados, que estão diretamente ligados à falta de instrumentação, manutenção e fiscalização.

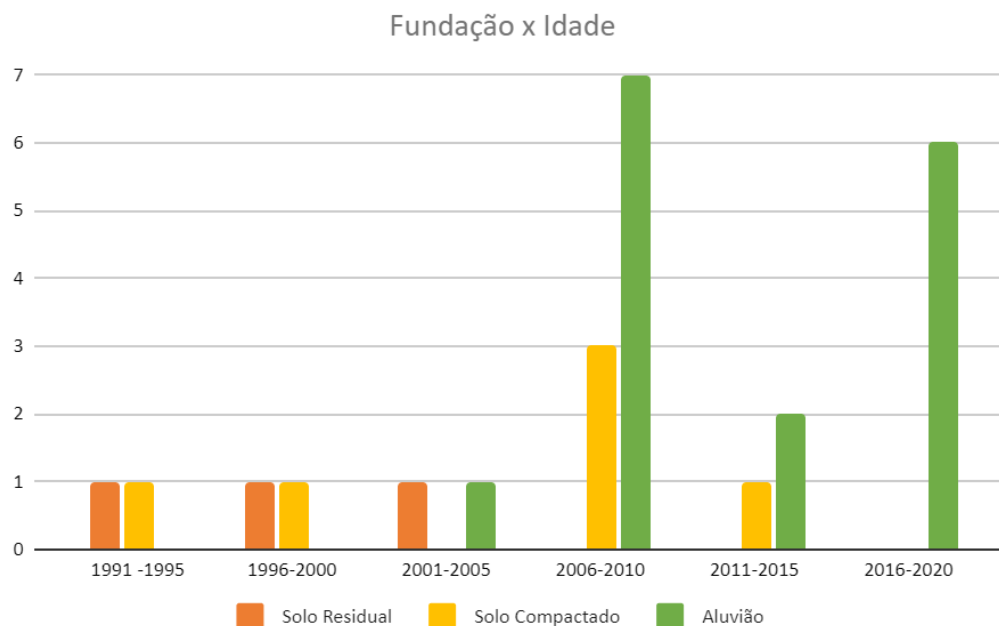
Ainda, pode-se relacionar propensão à anomalias às características das fundações de solo aluvionar, tais como a variedade granulométrica, a baixa coesão, a pouca capacidade de carga e a alta permeabilidade, que demandam o uso de estruturas específicas, como drenos e filtros para controlar a percolação, a necessidade de cobertura vegetal gramínea nos taludes, a fim de evitar erosões, além de um cuidado maior em relação a carregamentos na estrutura, implicando o uso de cercas para evitar a passagem de animais de grande porte nos taludes e na crista, e o controle ou impedimento da passagem de veículos na crista da barragem. Essas medidas evitam deformações, recalques, buracos e afundamentos no barramento.

A partir da análise dos fatos expostos, também é possível afirmar que as barragens que possuem fundação de aluvião geram mais anomalias que os barramentos que dispõem fundações de solo residual ou de solo compacto, pois além delas apresentarem um número menor de anomalias no estudo, respectivamente sete e nove de um total de 12 anomalias analisadas, esses tipos de fundações são compostas de solos mais coesos, compactos e com um índice de vazios inferior, o que acarreta em uma necessidade menor de cuidados específicos em comparação com as fundações de aluvião, e que

consequentemente influencia na ocorrência de um número de anomalias inferior nas fundações de solo residual ou de solo compacto.

Além disso, também foi realizada uma correlação entre os tipos de fundações e o ano de conclusão da construção do barramento (idade), ilustrado pelo Gráfico 2 abaixo.

Gráfico 2 - Tipos de fundação de acordo com a idade dos barramentos.



Fonte: Autores, 2021.

Por meio da análise do Gráfico 2 é possível afirmar que as barragens localizadas na região da bacia do Rio Itaúnas, que possuem fundação de solo residual, eram mais utilizadas no período de 1991 a 2001, enquanto as fundações de aluvião passaram a ser mais utilizadas a partir de 2005.

Esse fato pode ser relacionado diretamente com o crescimento do agronegócio no Espírito Santo com o passar dos anos, principalmente na região norte, onde localizam-se as barragens estudadas, demandando a construção de mais barragens para suprir o consumo hídrico local, usufruído principalmente para irrigação, dessedentação animal e piscicultura.

Desse modo, principalmente devido à facilidade de construção, acesso ao material e baixo custo, um maior número de barragens foi criada de maneira irregular na região rural do norte do estado nos últimos anos, utilizando nas

fundações o material com maior disponibilidade do local, com processo construtivo simples, e com menor valor, que nesse caso é o aluvião.

Sendo assim, esses fatores tornam-se um problema pois a forma de construção, o material utilizado na fundação, juntamente com a falta de estrutura, acompanhamento técnico e fiscalização adequada dessas obras, originam anomalias que suscitam o risco de acidentes envolvendo barramentos na região.

Outrossim, foi efetuada também uma correlação entre a idade dos barramentos e as anomalias encontradas. Porém, por meio dessa análise, não foram observadas analogias diretas entre esses parâmetros.

Em seguida, foi executada uma apuração, expressa em porcentagem, das anomalias presentes em cada barragem, descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Total de barragens que apresentaram anomalias.

Anomalias	Total de barragens que apresentaram essas anomalias
Deformações; recalques; buracos; trincas; afundamentos;	36%
Erosões;	32%
Vegetação excessiva e/ou de grande porte	92%
Falha ou falta de cobertura vegetal	64%
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	52%
Percolação, infiltração ou surgência de água	20%
Monge sem passarela de acesso adequada	80%
Vertedouro obstruído	28%
Não possui vertedouro/extravasor	36%
Não possui monge	52%
Presença de vegetação aquática, árvores e arbustos no reservatório	44%
Nível do reservatório próximo à crista com pouca folga de borda livre	16%

Fonte: Autores, 2021

Por meio da análise dos dados da Tabela 3, é possível afirmar que a presença de vegetação excessiva e/ou de grande porte foi a anomalia mais ocorrente nas barragens, estando presente em 92% das barragens analisadas. Esse tipo de anomalia é uma consequência direta da falta de procedimentos de manutenção da estrutura, e pode causar uma série de danos ao barramento, pois além de dificultar a realização de inspeção visual e o acesso ao

empreendimento, os arbustos podem abrigar animais roedores e insetos, e as raízes de árvores podem criar caminhos para passagem de água, provocando percolação e piping, que também são patologias causadas pelas tocas de animais e perfurações de insetos.

Com isso, ainda pode-se destacar a falta de passarela adequada de acesso ao monge (dispositivo de saída de vazão mínima no reservatório), e a falha ou falta de cobertura vegetal, encontrada principalmente nos taludes, como anomalias que também apresentaram porcentagens significativas de recorrência entre as barragens selecionadas, manifestadas, respectivamente, em 80% e 64% do barramentos estudados. A primeira, sendo consequência da falta de informação e de apoio técnico adequado, e a segunda, decorrente desses fatores juntamente com a falta de manutenção correta da barragem.

A falta de passarela de acesso ao monge, além de dificultar o alcance da estrutura em dias de chuva intensa, pode também impedir a inspeção e desobstrução da estrutura, principalmente em uma situação de emergência, podendo ocasionar o galgamento do barramento. Já a falha ou falta de cobertura vegetal deixa a barragem sujeita a processos erosivos, geralmente causados pela ação da água da chuva, e quando presente no talude de jusante pode ocasionar carregamento de solo para dentro do reservatório, gerando erosões, obstruções e até mesmo colapso da estrutura. O ideal é manter nos taludes e ombreiras apenas a vegetação rasteira, preferencialmente gramínea.

Portanto, pode-se concluir, por meio das análises e correlações efetuadas no estudo, que a maior parte das barragens de terra homogênea localizadas na região rural da bacia do Rio Itaúnas foi construída de maneira simples, utilizando o material mais barato e com a maior disponibilidade do local, com o emprego de poucas estruturas específicas que auxiliam o funcionamento e a preservação do barramento, sem dispor de apoio técnico adequado, e a sua falta afetou diretamente a condição física e estrutural das barragens, pois os empreendedores não obtiveram o direcionamento adequado para construção e realização de manutenção periódica correta da estrutura, o que acarretou em uma maior incidência de anomalias, conseqüentemente aumentando a possibilidade de acidentes na região.

## 5. CONCLUSÃO

As barragens são construções muito comuns, utilizadas no meio rural, principalmente para o armazenamento de água, sendo necessárias para suprir a alta demanda hídrica do agronegócio. Entretanto, essas estruturas, em caso de acidentes, podem causar danos potenciais para o meio em seu entorno, sendo necessário ter apoio técnico adequado e realizar vistorias periódicas para manter a segurança.

Por meio do estudo, determinou-se que a fundação de aluvião foi utilizada na maior parte das barragens analisadas, presente em 62% dos barramentos, principalmente em virtude da viabilidade de custo, facilidade de construção e acesso ao material. Além disso, esse tipo de fundação também se mostrou mais suscetível a anomalias, pois as barragens com esse tipo de fundação apresentaram todas as 12 anomalias verificadas neste estudo.

Também foi efetuada uma correlação entre a idade dos barramentos e as anomalias encontradas, porém não foi possível encontrar uma relação direta entre esses dois parâmetros. Além disso, foi possível constatar também, por meio da análise realizada, que as anomalias mais recorrentes encontradas nas barragens foram a presença de vegetação excessiva e/ou de grande porte, presente em 92% das barragens analisadas, a falta de passarela de acesso ao monge (dispositivo de saída de vazão mínima no reservatório), com 80% de ocorrência, e a falta ou falha de cobertura vegetal expressa em 64% dos barramentos.

Ao final da realização do estudo, foi possível concluir que a possível causa principal das patologias em pequenas barragens de acumulação de água está intimamente ligada à falta de apoio técnico adequado aos empreendedores e principalmente à falta de manutenção adequada da estrutura.

O estudo possibilitou conhecer e diagnosticar as reais condições das barragens estudadas em relação a segurança e patologias, por meio de um acompanhamento atual da situação das estruturas e dos riscos que elas apresentam. Com base nos resultados obtidos, considera-se que a realização de vistorias e inspeções nas barragens são muito importantes, pois a eficiência

na gestão da barragem prolonga sua vida útil ao preservar o bom estado das estruturas, e, com isso, diminuir a chance de ocorrência de danos.

Trabalhos futuros poderão ser realizados a partir do levantamento de dados em campo, podendo contrapor as informações fornecidas pela AGERH, e relacionando os valores encontrados com as anomalias e as características dimensionais dos barramentos. Além disso, outra oportunidade para aprimoramento desta pesquisa é executar uma análise das anomalias e características de um outro universo de barragens, presentes em regiões diferentes, comparando com os resultados obtidos neste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Ricardo Rossato. **Dimensionamento e acompanhamento executivo de uma barragem de terra para irrigação**: um estudo de caso. Orientador: M. Sc. Jaelson Budny. 2015. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2015. Disponível em: <[encurtador.com.br/ekAE1](http://encurtador.com.br/ekAE1)> Acesso em: 31 out. 2021.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). **Cartilha de Segurança de Barragens**. 2020. 28p. Disponível em: <[https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Cartilha/SegurancadeBarragens\\_Agerh.pdf](https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Cartilha/SegurancadeBarragens_Agerh.pdf)>. Acesso em 20 set. 2021.
- AGUIAR, Daniel Prenda de Oliveira et al. Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 360-368, abr./jun. 2015. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/157/b157490568045e9865623db2927a7df8\\_1af5d1d5a1cb03e1cda36b1704bb0f0c.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/157/b157490568045e9865623db2927a7df8_1af5d1d5a1cb03e1cda36b1704bb0f0c.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682** – Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS**: Uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Disponível em: <[http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/roteiro\\_dimensionamento\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html)>. Acesso em: 26 set. de 2021.
- BARBOSA, et al. **Diagnóstico e execução de ações corretivas em barragem de terra: Estudo de caso da barragem Poleiros em Barra de Santa Rosa-PB**. 2020. 11p. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/4103/1435>>. Acesso em: 26 set. de 2021.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Resolução ANA nº 742 de 17 de outubro de 2011**. Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme art. 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 27 out. 2011.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens**: Guia Prático de Pequenas Barragens. Brasília, 2016. 120 p. v.8. Disponível em: <[http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=124735&tipo\\_midia=2&iIndexSrV=1&iUsuario=0&obra=68804&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0](http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=124735&tipo_midia=2&iIndexSrV=1&iUsuario=0&obra=68804&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0)> . Acesso em: 21 fev. 2021.



BRASIL. **Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.** Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2010.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens.** Brasília, 2002. 148 p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaeInspecaoBarragens.pdf>> . Acesso em: 21 fev. 2021.

BERTULUCI, Fernanda Barbosa. **Análise das condições de percolação em barragem de terra a partir do método geofísico da eletrorresistividade.** Orientador: César Augusto Moreira. 2020. 70 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2020. Disponível em: ≤ <http://hdl.handle.net/11449/192979> [encurtador.com.br/dDOX3](http://hdl.handle.net/11449/192979) [HYPERLINK](http://hdl.handle.net/11449/192979) [HYPERLINK](http://hdl.handle.net/11449/192979) [HYPERLINK](http://hdl.handle.net/11449/192979) ≥  
"http://hdl.handle.net/11449/192979". Acesso em: 16 maio 2021.

CAPUTO, Homero Pinto. 1987. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987. v. 3.

CARVALHO, Jacinto de Assunção. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação.** Lavras: Ed. UFLA, 2008. 153p.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 352 p.

FILHO, Marcos de Ávila Pimenta. **Análise da erosão interna de solos em barragens com base na distribuição de vazios.** Orientador: Terezinha de Jesus Espósito. 2013. 124f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9E5H5B/1/geotecniatransportes\\_marcosavilapimentafilho\\_dissertacao.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9E5H5B/1/geotecniatransportes_marcosavilapimentafilho_dissertacao.pdf)>. Acesso em: 04 out. 2021.

GAMELEIRA, Emmanuel Lira; AMARAL, Filipe Naasson da Silva. **Análise do maciço de uma barragem de terra com filtro.** Orientador: Maria Danúbia Teixeira Silva. 2018. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2018. Disponível em: <[encurtador.com.br/syNU7](http://encurtador.com.br/syNU7)>. Acesso em: 16 set. 2021.

GOMES, Matheus de Oliveira; TEIXEIRA, Rafael Lemos. **Análise e desenvolvimento de projeto construtivo de uma pequena barragem de terra no Córrego da Cava – Morrinhos/GO, com foco na segurança.** Orientador: Arlam Carneiro Silva Júnior. 2017. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017. Disponível em: ≤ <http://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/126> [https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/126/3/tcc\\_Matheus%20Gomes\\_Rafael%20Teixeira.pdf](https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/126/3/tcc_Matheus%20Gomes_Rafael%20Teixeira.pdf) [HYPERLINK](http://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/126) [HYPERLINK](http://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/126) ≥  
"http://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/126". Acesso em: 20 maio 2021.

MARANGON, Marcio. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra.** Barragens de Terra e Enrocamento, Cap 5, 2004.

MASSAD, Façal. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216p.

MEDEIROS, Carlos Henrique de AC. **Curso de Segurança de Barragens 2020.** Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2179>>. Acesso 19 set. 2021.

SALINAS, João Vitor. **Estudo dos processos construtivos e das patologias de açudes e barragens geotécnicas de pequeno porte**. Orientador: Wilber Chambi Tapahuasco. 2017. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017. Disponível em: <<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/1985/1/Jo%c3%a3o%20Vitor%20Salinas%20-%202017.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2021.

SANTOS, Wesley Artur Mariz. **Estudo das condições gerais da barragem de Itans no município de Caicó / RN**. Orientador: Marcilene Vieira da Nóbrega. 2019. 58 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Campus Angicos, Angicos, 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2386/2/WesleyAMS\\_MONO.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2386/2/WesleyAMS_MONO.pdf)> . Acesso em: 08 maio 2021.

STEPHENS, Tim. **Manual sobre pequenas barragens de terra: Guia para a localização, projecto e construção**. 2011. 120p. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/ba0081o/ba0081o.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2021.

TANUS, Henrique Moraes. **Importância da Inspeção na Prevenção de Falhas em Barragens: Estudo de Caso**. Orientador: Jorge dos Santos. 2018. 103 p. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023356.pdf>> HYPERLINK "http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023356.pdf"> HYPERLINK "http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023356.pdf"\_. Acesso em: 6 maio 2021.

TIMBÓ, Rafael Delmiro Rodrigues. **Aplicação da Lei de Segurança de Barragem - Estudo de caso da barragem Cigana 01, Amajari - Roraima**. Orientador: Silvestre Lopes da Nóbrega. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2018. Disponível em: <[https://ufr.br/engcivil/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=203:tcc-rafael-timbo-2017-2&id=28:tcc-2017&Itemid=336](https://ufr.br/engcivil/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=203:tcc-rafael-timbo-2017-2&id=28:tcc-2017&Itemid=336)>. Acesso em: 6 maio 2021.

World Commission On Dams (WCD), Dams and Development. **A new framework for decision making, Report of the World Commission on Dams**, Earthcan, Londres, GB, 2001. Acesso em: 16 set. 2021.

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. Orientadora: Ana Inés Borri Genovez. 2005. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: < HYPERLINK "http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257858" http://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=464734 HYPERLINK "http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257858"> HYPERLINK "http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257858"\_. Acesso em: 24 fev. 2021.

# RESTRUTURAÇÃO DO SETOR DE MANUTENÇÃO DE PONTES ROLANTES DA ACIARIA E LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE UMA SIDERÚRGICA COM O FOCO CENTRADO EM CONFIABILIDADE

Rômulo Martin Lang<sup>1</sup>, Daniel Moschen Coelho<sup>1</sup>, Rafael de Paula Cosmo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica

<sup>2</sup> Doutorando em Eng. Mecânica – Professor Multivix - Vitória

## RESUMO

É fato que o avanço tecnológico vem sendo acelerado proporcionalmente com o passar do tempo, e isso traz a necessidade das indústrias de se destacarem no mercado para obter sucesso. Para tal, não há mais espaço para grandes paradas de manutenção, uma vez que a indústria perdia muito tempo de produção para esse fim. Portanto, no seguinte artigo será apresentado um estudo de caso do setor de manutenção de pontes rolantes da aciaria e lingotamento de uma siderúrgica, a reestruturação no setor de manutenção feita com foco na manutenção centrada em confiabilidade, onde se faz necessário atuar de acordo com a criticidade de cada equipamento, determinando planos de manutenção com inspeções frequentes e a presente diminuição das manutenções corretivas, aumentando assim o indicador tempo médio entre falhas das máquinas/equipamentos do setor, a união da gerência de manutenção com a gerência de produção é de suma importância para realizar a troca de informações em tempo real, também é importante a aquisição de materiais e sobressalentes de acordo com a criticidade. Portanto, após as medidas tomadas, a veracidade das informações apresentadas pelos indicadores é um espelho do desenvolvimento do setor.

**Palavras-chave:** manutenção centrada em confiabilidade, tempo médio entre falhas, indicadores-chave de desempenho.

## ABSTRACT

It is a fact that technological advances have been accelerating proportionally over time, and this brings the need for industries to stand out in the market to be successful, for that, there is no more room for large maintenance stops once the industry lost a lot of production time for this purpose. Therefore, in the following article, a case study of the crane maintenance sector of a steel plant and casting plant will be presented, the restructuring in the maintenance sector made with a focus on reliability-centered maintenance, where it is necessary to act in accordance with the criticality of each equipment, determining maintenance plans with frequent inspections and the present decrease in corrective maintenance, thus increasing the average time between failures indicator of machines/equipment in the sector, the union of maintenance management with production management is of paramount importance. In order to exchange information in real time, it is also important to acquire materials and spare parts according to their criticality, therefore, after the measures taken, the veracity of the information presented by the indicators is a mirror of the sector's development.

**Keywords:** Reliability-centric maintenance, mean time between failures, key performance indicators.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico acelerado e o aumento de exigência e qualidade dos serviços fizeram com que as empresas entendessem a necessidade de aprimoramento ou implementação de novas técnicas de manutenção a fim de se tornarem mais eficientes, mantendo assim sua competitividade e perenizando a empresa. Tem-se esperado que a

confiabilidade operacional intrínseca dos equipamentos aumente significativamente na mesma proporção que essas mesmas máquinas demandam uma qualificação maior dos técnicos que irão manter e operar esses equipamentos. Faz-se necessário métodos, procedimentos com aplicação de ferramentas que abordem confiabilidade dos equipamentos de forma eficiente.

Considerando a manutenção como a atividade que mantém os ativos em condições de atender suas finalidades funcionais e atendendo aos quesitos de qualidade, custo e disponibilidade, é preciso aplicar técnicas modernas de análise e prevenção de falhas por meio de uma gestão de confiabilidade na manutenção bem estruturada.

Segundo (Moubray, 2000), mais e mais as falhas têm sérias consequências na segurança e no meio ambiente, ao mesmo tempo em que padrões nessas áreas estão aumentando rapidamente. Em algumas partes do mundo está se aproximando o ponto onde as organizações ou se conformam as expectativas de segurança e de conservação ambiental da sociedade ou elas cessam de funcionar. Isso acrescenta uma ordem de grandeza à nossa dependência quanto à integridade de nossos ativos físicos que vai além do custo e que se torna uma questão básica de sobrevivência organizacional.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção tem como premissa a diminuição de falhas prematuras, o que aponta a importância da análise de falhas como metodologia indicada a melhorar o desempenho dos equipamentos de uma indústria. Ressaltam que a manutenção preditiva vem sendo mais utilizada que a manutenção preventiva justamente por estar diretamente ligada à redução de custos, pois a modalidade preventiva demanda paralização dos equipamentos e sistemas. A manutenção corretiva não-planejada resulta em elevação de indicadores e ineficácia da manutenção. Sendo assim, a articulação e interação entre as áreas dos setores de manutenção e operação possibilita um maior alcance de metas por garantir que os equipamentos e peças do setor produtivo estejam em condições plenas de uso.

Portanto, a relevância deste estudo será conhecer o quanto e como a confiabilidade, especificamente nesse setor e no caso específico do estudo de caso apresentado, pode contribuir para a diminuição do tempo de parada dos equipamentos e da produção. Este trabalho se limitará à apresentação das modificações da estrutura de manutenção da área de pontes rolantes da aciaria e lingotamento contínuo, a implantação da célula de confiabilidade de manutenção e os resultados obtidos após a sua implementação.

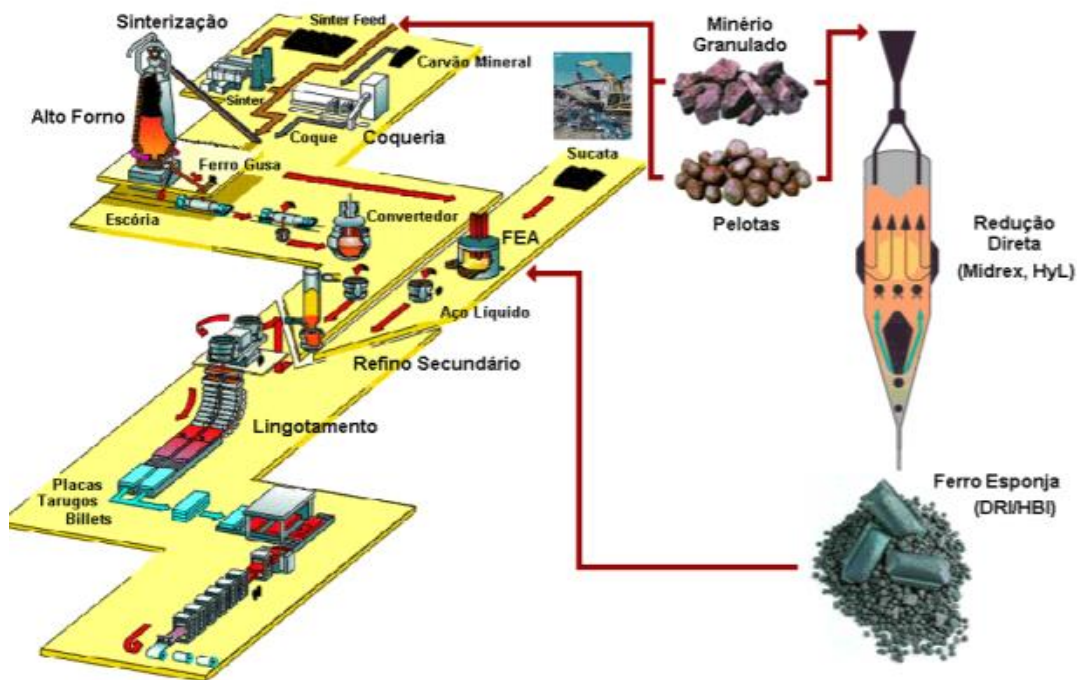
O presente trabalho irá demonstrar a reestruturação, distribuição de funções abordando conceitos de gestão da manutenção e confiabilidade desde a capacitação, métodos e ferramentas da qualidade que auxiliam na garantia de vantagem competitiva, na contextualização real do setor de manutenção de pontes rolantes da aciaria e lingotamento contínuo de uma empresa siderúrgica perante suas rotinas e práticas de gestão e o que o investimento em confiabilidade trará em redução do número de falhas e paradas indesejadas que impactam diretamente na produtividade de suas operações.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 PRODUÇÃO DE AÇO**

A Figura 1 demonstra o processo de uma siderúrgica integrada desde os pátios de matérias-primas até o produto final na laminação de placas, tarugos e lingotes.

Figura 1. Produção do aço



Fonte: Bertti, 2013

Ponte rolante é um equipamento utilizado para içar e movimentar produtos que possuem grandes volumes ou que sejam muito pesados (MORSE, 2020). A Figura 2 mostra o carregamento de um conversor LD com uso de uma ponte rolante de manuseio de painéis.

A aciaria é a planta onde ocorre o refino do aço por meio do uso de um equipamento chamado de conversor LD com a injeção de oxigênio no banho metálico, fazendo uma reação de oxi-redução no ferro-gusa.

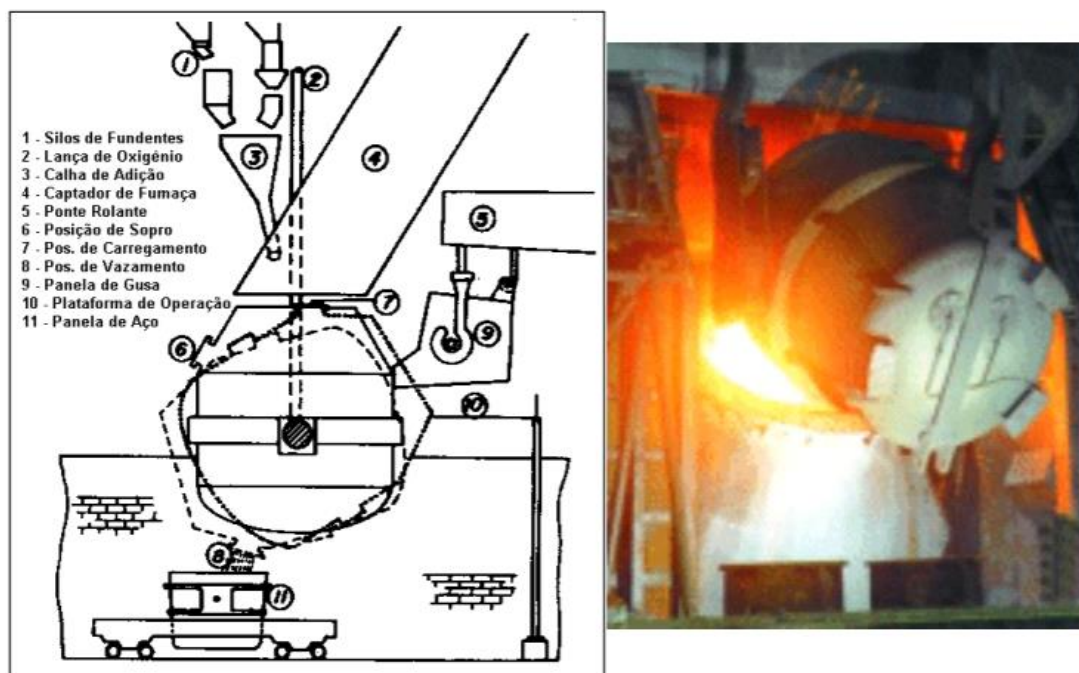
Esse processo industrial teve início em 1952, quando o oxigênio se tornou industrialmente barato. A partir daí o crescimento foi explosivo. Permite elaborar uma enorme gama de tipos de aços, desde o baixo carbono aos média-liga.

Figura 2. Carregamento de conversor LD com uma ponte rolante de panela



Fonte: Bertti, 2013

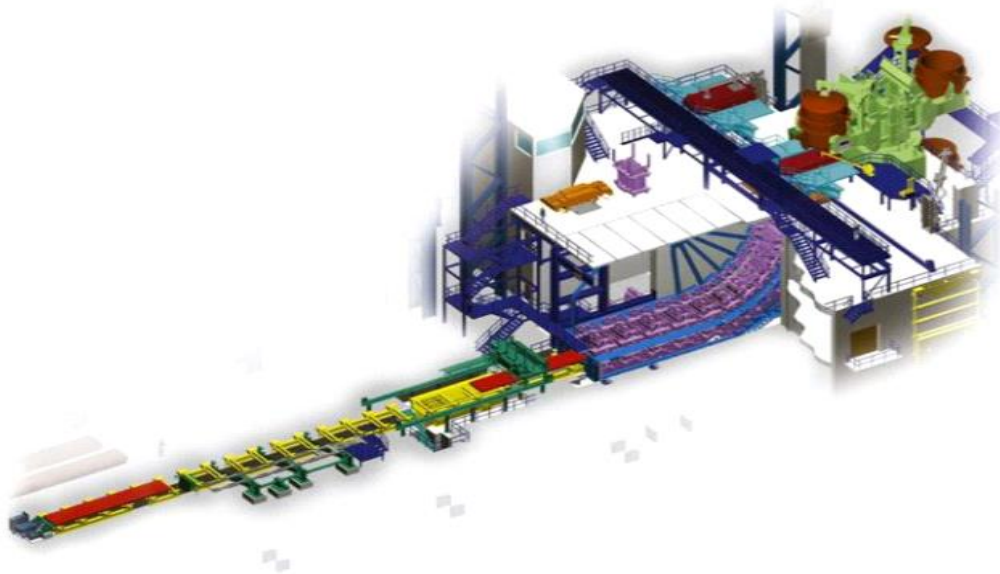
Figura 3. Conversor LD



Fonte: Bertti, 2013

O lingotamento contínuo (Figura 4) é um processo pelo qual o aço fundido é solidificado em um produto semiacabado, tarugo, perfis ou placas para subsequente laminação.

Figura 4. Lingotamento contínuo



Fonte: Bertti , 2013

## 2.2 MANUTENÇÃO

Manutenção pode ser definida como um conjunto de ações técnicas e administrativas com o objetivo de manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

## 2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

- **Manutenção corretiva**

A manutenção corretiva refere-se à realização das ações de reparo apenas após a falha do equipamento. Ela pode ser emergencial, quando realizada imediatamente após a falha, ou programada, quando se planeja a ação para um momento posterior a ela.



- **Manutenção preditiva**

Entende-se como manutenção preditiva o monitoramento de um ou mais parâmetros de um item com o objetivo de realizar as ações necessárias antes que a falha aconteça – também é conhecida como manutenção baseada na condição. É possível que alguns parâmetros sejam monitorados pelo próprio operador do equipamento por meio de sua experiência. Outros parâmetros devem ser monitorados pela equipe de manutenção em função de necessitarem de conhecimentos e/ou instrumentos específicos.

- **Manutenção prescritiva**

Segundo Jordan (2018), esse tipo de manutenção engloba muitas das mesmas técnicas usadas em manutenção preditiva, porém leva a um passo adiante: seu objetivo é, além de perceber uma falha em desenvolvimento, reconhecer qual é essa falha e já gerar um prognóstico de manutenção do equipamento.

## **2.4 POWER BI**

O Power BI foi desenvolvido e lançado pela Microsoft em 24 de julho de 2015. A partir dele expandiu-se a capacidade de tratamento e análises dos dados, facilitando assim o encontro de informações para apoio na tomada de decisão. Mas, atualmente, são poucas pessoas capacitadas a utilizar o software.

## **2.5 ISO 55000 – GESTÃO DE ATIVOS**

Um ativo é algo que tem valor real ou potencial para uma ou mais organizações ao longo da vida do ativo, podendo variar seu valor.

A gestão de ativos é um processo que envolve custos equilibrados, riscos, oportunidades e benefícios de desempenho. Os fundamentos chaves da gestão de ativos são:

- Valor: ativos existem para fornecer valor para organização e suas partes interessadas;
- Alinhamento: traduz a intenção organizacional em decisões técnicas, planos e atividades;

- Liderança: liderança e cultura do local de trabalho são fatores determinantes da realização do valor;
- Garantia: como um processo, a garantia da gestão de ativos que os ativos vão cumprir a finalidade exigida.

- **2.5.1 Sistema de gestão de ativos**

É um conjunto de elementos inter-relacionados que estabelecem políticas e objetivos e os processos necessários para atingir esses objetivos. Os requisitos do sistema de gestão de ativos na ISO 55000 são explicados na NBR ISO 55001 e podem ser organizados em sete elementos específicos:

- Contexto da organização: a organização deve fazer o alinhamento dos seus objetivos e verificar quais são os ativos que devem entrar no sistema normativo;
- Liderança: o responsável pela implementação da ISO na organização deve criar planos e estratégias visando a valorização dos seus ativos e a sua adequação ao mercado;
- Planejamento: na criação do planejamento deverá ser levado em consideração os riscos que poderão ocorrer a curto e a longo prazo. Verificar se os objetivos da organização estão sendo cumpridos e se estão interligados com outros planejamentos da organização;
- Apoio: para a implementação da certificação é necessário o comprometido de todos os colaboradores da organização e a constante comunicação com todos os setores envolvidos;
- Operação: controle de processos, tratamento e monitoramento de riscos, e controle dos serviços que estão sendo terceirizados;
- Avaliação de desempenho: criação de métodos de análise dos ativos, visando acompanhar o seu desempenho financeiro;
- Melhoria: melhoria do desempenho financeiro por meio de uma melhora do retorno do investimento e uma diminuição dos custos, ao mesmo

tempo que o valor do ativo é preservado sem sacrificar os objetivos de curto ou longo prazo da organização.

### **3. METODOLOGIA E MÉTODO DA PESQUISA**

A presente pesquisa é um estudo de caso de natureza aplicada e intervencionista, uma vez que a reestruturação no setor se deu de forma real, aliando a teoria à prática com o novo método de manutenção aplicado. Além disso, sua abordagem foi de natureza qualitativa e quantitativa simultaneamente.

No primeiro momento, foi criado um grupo que realizou um diagnóstico do setor entrevistando funcionários das equipes de operação, inspeção e execução, identificando as fragilidades da área de manutenção. Dessa forma foi elaborado um plano de ação em que o principal item foi a criação de uma área específica para manutenção desses equipamentos de elevação de carga.

No segundo momento, após a reestruturação e utilizando o RCM, e como base o Plano Diretor de Gestão de Ativos e as ferramentas de confiabilidade disponíveis, foram realizadas melhorias nos processos de manutenção e gestão de ativos que foram descritos neste trabalho.

Por fim, por meio das ferramentas disponibilizadas no Power BI, foram utilizados indicadores-chave de desempenho para acompanhar o desenvolvimento no setor a partir de gráficos e tabelas.

### **4. ESTUDO DE CASO**

A nova era das indústrias é configurada pelos processos produtivos bem alinhados às metas estratégicas de cada corporação. Assim sendo, a manutenção é fator fundamental para alcançar a excelência empresarial. No novo panorama, os valores exigidos são: competência; criatividade; flexibilidade; velocidade; cultura de mudança; e trabalho em equipe. Diante desse cenário, as gerências modernas buscam atender a satisfação dos seus clientes, internos e externos, por meio da qualidade total dos seus processos, produtos e serviços.

A manutenção torna-se como um conjunto de atividades essencialmente planejadas e atreladas à produtividade da empresa, muito além da visão corretiva do início de sua história. Observa-se, então, que o nível técnico e gerencial dos profissionais da área também está cada vez mais elevado. Vale ressaltar o fato de que é crescente a terceirização desses serviços, estabelecendo relações de parceria, comprometimento e confiança entre ambas as partes. Essa nova abordagem dos serviços versus soluções atende aos níveis de qualificação exigidos dos profissionais, reduz custos, aumenta o faturamento e o lucro, aumenta a segurança pessoal e das instalações, reduz a demanda de serviços, reduz lucros cessantes e auxilia na preservação ambiental.

A manutenção estratégica é a palavra de ordem da área, e para que seja real, deve caminhar sintonizada, por meio das metas, para a visão da empresa como um todo. A nova manutenção é mais do que reparar equipamentos, ela oferece mais confiabilidade nos processos e reduz as chances de paradas inesperadas.

Quando falamos em metas, o uso do processo de benchmarking para determinar os níveis onde a empresa quer chegar vem se tornando muito comum e eficaz, simultaneamente, o benchmark, que são os indicadores do que é melhor para a empresa atender seu propósito. Desse novo panorama, adota-se ferramentas de gestão fundamentais para alcançar a visão do futuro, resalta-se o plano de ação suportado pelas melhores práticas, pois não é apenas implementar, é gerir a implementação com liderança e fazer isto acontecer rapidamente.

Visando a melhoria dos seus processos, também é imprescindível que as empresas se atentem para as três principais causas de fracassos e perdas, as chamadas doenças graves das organizações, que são: perda de conhecimento; satisfação dos colaboradores; e visão crítica da comunidade. Esses pontos estão totalmente atrelados à competitividade da empresa e à visão que a sociedade tem dela, portanto devem ser bem cuidados constantemente. Mesmo que a empresa esteja faturando bem hoje, a médio prazo pode se tornar um problema.

Os paradigmas velho e novo da manutenção ilustram bem como devem ser essas atividades hoje em dia: não são aceitos mais reparos inesperados, as paradas dos equipamentos devem ser planejadas e seguidas, caso contrário, a manutenção foi falha. A competitividade é consequência da produtividade da empresa em relação aos seus concorrentes, que, por sua vez, é medida pela razão entre o faturamento e os custos. A manutenção entra no âmbito de aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos por meio da otimização dos tempos de paradas, de modo que interfiram minimamente na produção.

Os produtos da manutenção são operação, manutenção e engenharia, suportados por atividades de base. E o produto final que a operação obtém da manutenção e engenharia é maior disponibilidade confiável a ao menor custo, sendo esse produto a própria relação de equilíbrio. Por exemplo, o aumento da confiabilidade reduz a indisponibilidade, portanto deve-se priorizar os pontos principais para cada tipo de empresa. O contraponto dessa relação é o aumento da demanda à medida que se pretende melhorar o nível dos três parâmetros: disponibilidade, confiabilidade e custo.

Partindo dessa premissa, surge a necessidade de um grande processo de mudança, que exige uma gestão estratégica alinhada e eficaz. Duas medidas eficazes e utilizadas pelas grandes empresas são: certificações ISO (Organização Internacional de Normalização), e a adoção da gestão da qualidade total, que trouxe considerável melhoria de resultados e a engenharia de confiabilidade. A competitividade da empresa depende, em grande parte, da boa conexão entre os subsistemas, de modo que a manutenção seja o elo de ligação entre todos seus preceptores e a operação, que é seu cliente final. Assim sendo, é fundamental que cada setor tenha a visão do todo e sua importância para o bom funcionamento dele.

A engenharia de confiabilidade proporciona quebras de paradigmas referentes aos conceitos de manutenção, visto que o foco passa a ser não o tratamento das causas da falha, mas sim na sua antecipação que está conectada à manutenção prescritiva. A cultura de confiabilidade precisa estar difundida em todas as dimensões do negócio, e o envolvimento de todos se torna um fator

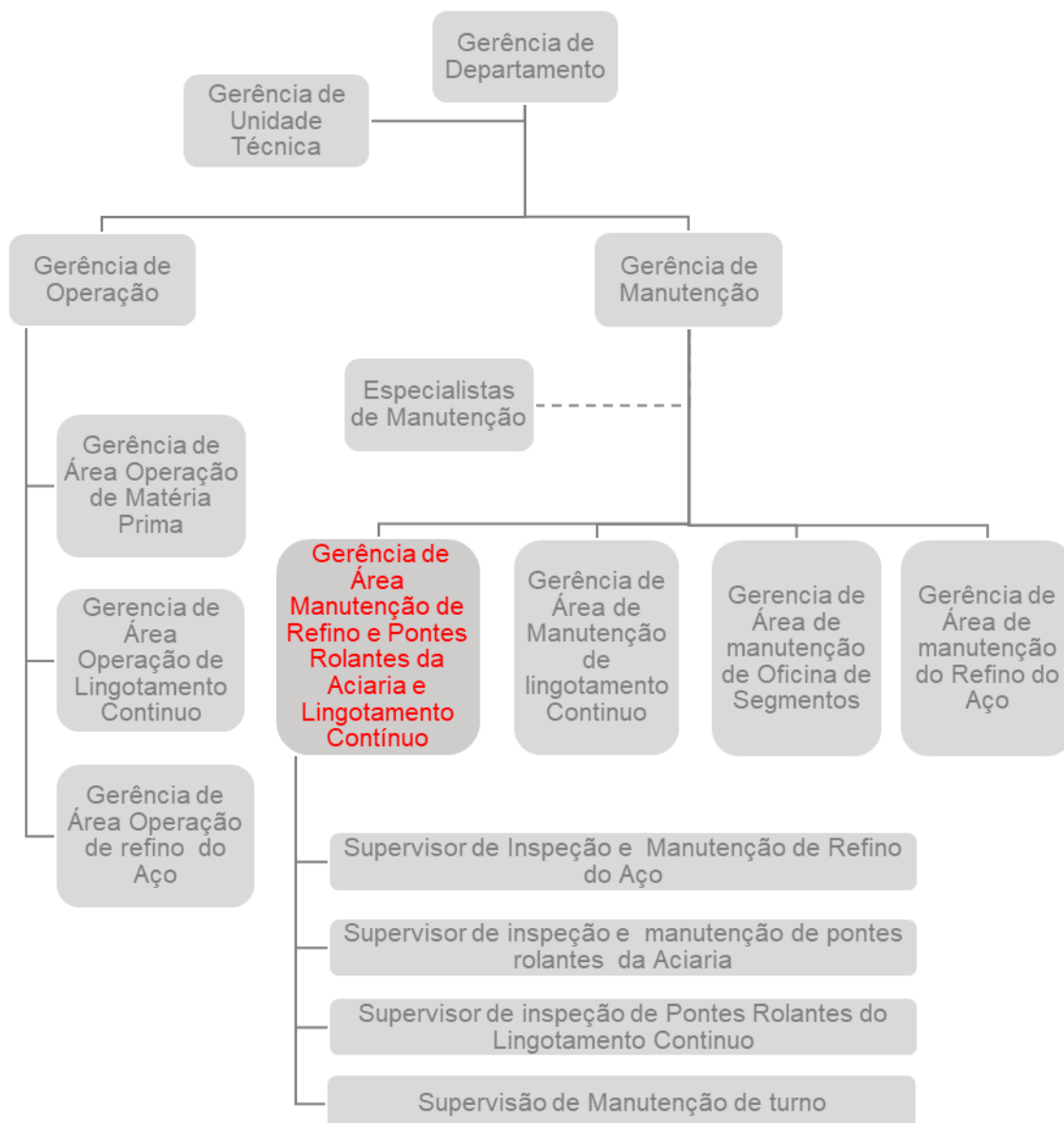
crítico de sucesso para a implantação de um programa de confiabilidade. Um dos principais fatores para o sucesso na implantação de um programa de confiabilidade é o envolvimento de todos os níveis da organização.

Sem o suporte dos níveis gerenciais, o sucesso do programa de confiabilidade será limitado a não mais que um programa de melhoria contínua.

Voltando para o nosso estudo de caso, em 2015 foi reestruturado o departamento, sendo criado a seção de manutenção de pontes rolantes, visando a redução do número de falhas e interrupções na planta por problemas inerentes a esses equipamentos, no momento anterior a criação da área, eles ficavam a cargo das gerências de manutenção de cada área da unidade produtiva, o que fazia com que os equipamentos ficassem em segundo plano, não tendo os recursos e foco priorizado para os mesmos. Na Figura 5 temos a estrutura do departamento de produção do aço com a criação da nova gerência.

Em 2017, toda empresa passou pelo processo de implantação da manutenção centrada em confiabilidade (MCC), ou do inglês, Reliability Centered Maintenance (RCM), em que se estudam e classificam os modos de falha, suas severidades, seus efeitos e possibilidades de ocorrência e, com apoio de modelos probabilísticos, determina-se o risco da operação sob certas circunstâncias.

Figura 5. Organograma do Setor de manutenção anterior a implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade

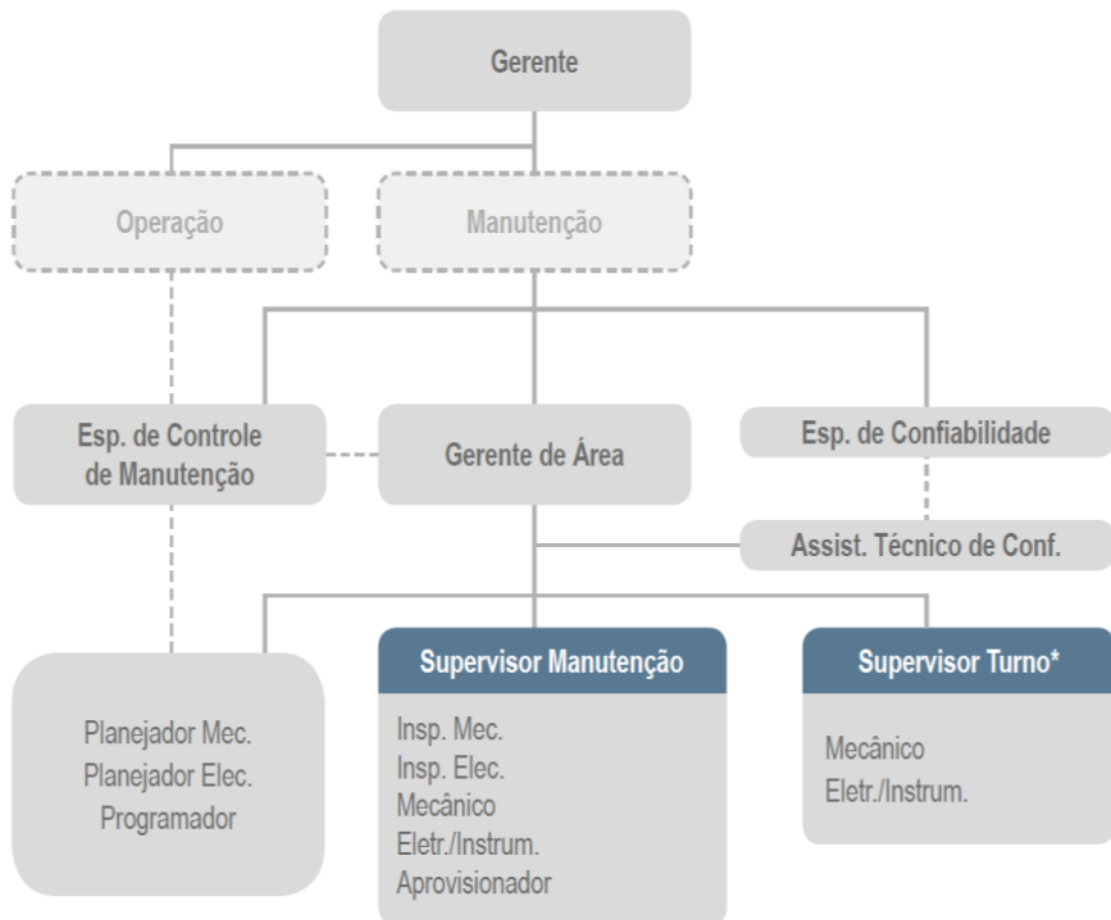


Fonte: produzido pelos autores, 2021

Todos os departamentos foram totalmente remodelados, eliminando um nível gerencial e fazendo com que a gerência ficasse a cargo tanto da manutenção como da operação de área. Isso fez melhorar o fluxo de informação e deu maior celeridade aos processos de comunicação. Além disso, foram reestruturadas as manutenções, criando novas funções que inexistiam na estrutura da empresa, como o especialista de controle de manutenção, que é o elo entre a manutenção e a operação, ficando incumbido da negociação dos planos de parada, gestão de custos e demais interfaces com a operação.

Também foi criada a célula de confiabilidade, com novas funções para especialistas e assistentes de confiabilidade, que pararam a ficar responsáveis pela elaboração e revisão dos planos de inspeção e serviços, análises de falhas, desenvolvimento de melhorias e novas tecnologias de manutenção. A Figura 6 mostra a reestruturação do departamento de manutenção após implantação do RCM.

Figura 6. Organograma do Setor de manutenção após implantação do RCM



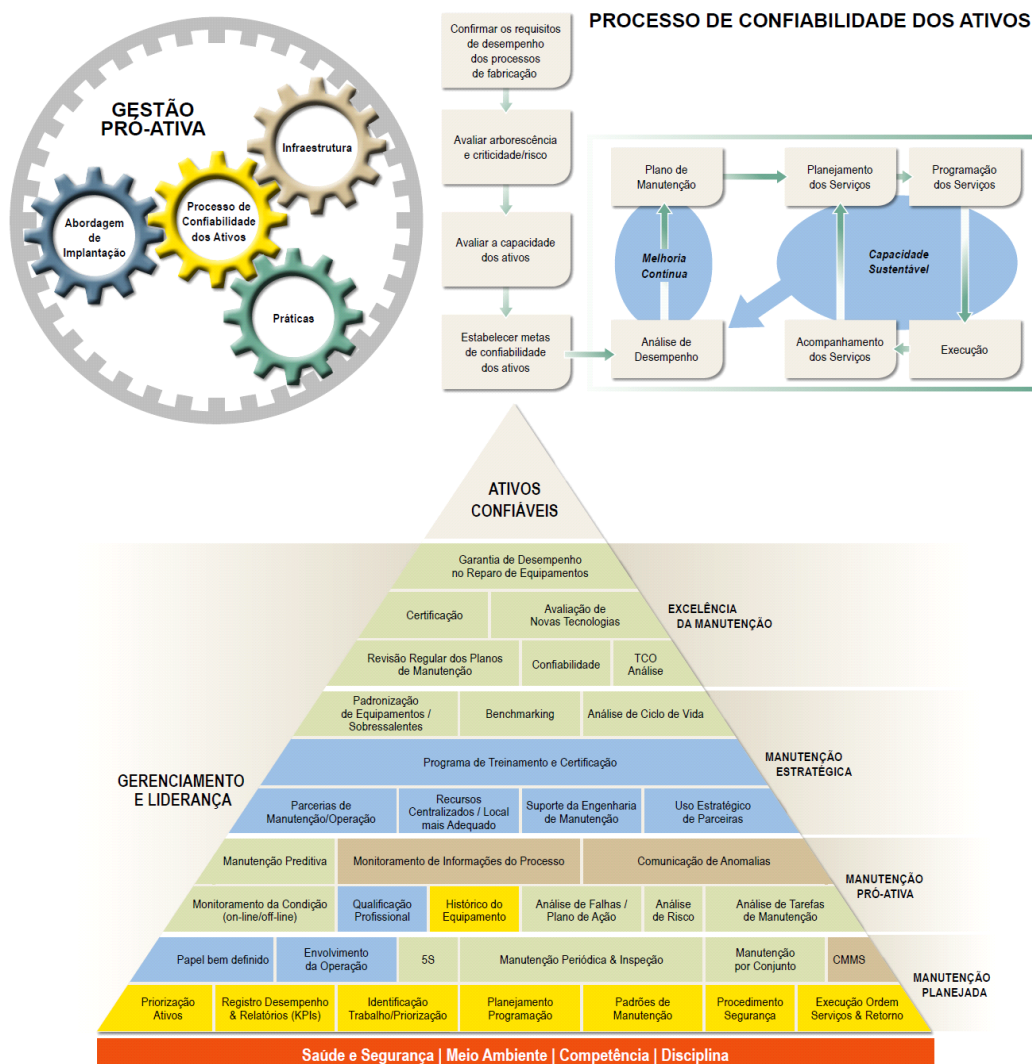
Fonte: ArcelorMittal, 2021

No momento dessa reestruturação, a companhia implantou o “Programa 5 Estrelas de Gestão de Ativos”, que tem por objetivo otimizar a operação e a manutenção, objetivando uma melhora dos resultados da empresa e melhor performance dos seus ativos. O programa foi estruturado de forma tal que sua implantação ocorra de forma gradativa e em linha com os requisitos da ISO 55001.



O modelo de manutenção e confiabilidade de Ativos (Figura 7) da empresa segue as diretrizes definidas pela Rede de Manutenção Global (GMN) do inglês Global Maintenance Network, que são válidas para todo o grupo.

Figura 7. Modelo de Manutenção e Confiabilidade de ativos.



Fonte: ArcelorMittal, 2021

O processo de confiabilidade dos ativos preserva e melhora gradativamente a capacidade dos ativos de satisfazer os requisitos de desempenho ao melhor custo, objetivando a excelência de manutenção que só é atingida após a consolidação dos valores fundamentais.

A operação também foi envolvida em busca da excelência e precisou desses conceitos fundamentais solidificados, sendo suportada pela confiabilidade.

Esse processo de confiabilidade amplamente implantado nos ativos, abrangendo manutenção e operação, pode ser chamado de confiabilidade ampla.

Na Figura 7, a pirâmide mostra os requisitos para se atingir a excelência em manutenção, incluindo os requisitos básicos focados no estabelecimento de uma abordagem sistemática para gerenciar e executar a manutenção, incorporando ferramentas e técnicas para aumentar o desempenho e a confiabilidade dos ativos. Sendo imprescindível uma liderança comprometida e uma gestão proativa.

Não foi necessário satisfazer todos os requisitos de um nível para iniciar os requisitos de um mais alto. No entanto, todos os requisitos devem estar implantados para atingir e sustentar a excelência em manutenção.

A gestão proativa da manutenção (Figura 7) é atingida por meio da interação dos processos de confiabilidade dos ativos, infraestrutura, práticas e abordagem de implementação.

Os itens destacados em amarelo estão relacionados aos fundamentos do processo de confiabilidade dos ativos e foram colocados em prática prioritariamente. Os destacados em marrom estão relacionados à estrutura e englobam as ferramentas relacionadas ao Sistema Informatizado de Gestão da Manutenção (CMMS). Os destacados em verde são as melhores práticas (ferramentas, metodologias e abordagens) que suportam o processo. Os itens em azul são requisitos que suportam a abordagem de implantação e otimizam a estrutura organizacional, trazendo clareza de papéis e responsabilidades e aumentando a competência dos empregados.

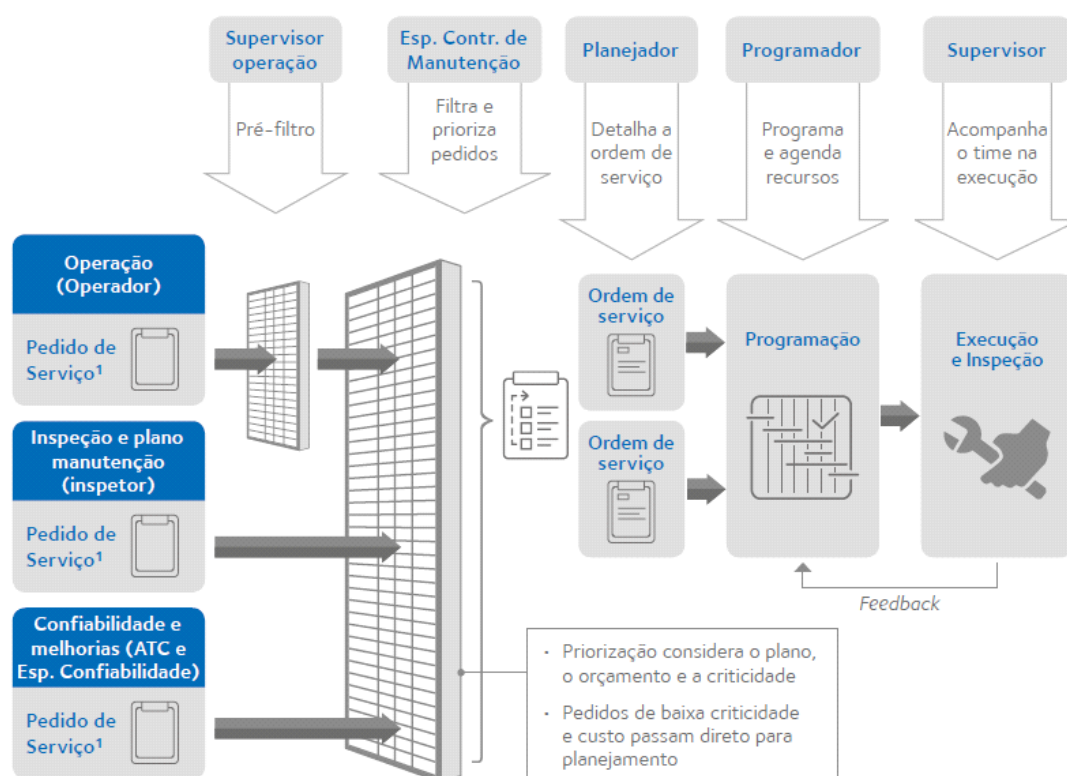
#### **4.1 FUNÇÕES E PROCESSOS**

O processo otimizado de abertura e execução de serviços de manutenção que está baseado em conceitos lean com divisão clara das funções que cada ocupação realiza está demonstrado na Figura 8.

## 4.2 GESTÃO DO CONHECIMENTO

Para que os conhecimentos necessários para o desempenho de cada função fossem nivelados, uma grade de conhecimentos básicos (mínimos requeridos) a serem cumpridos para aquela ocupação foi criada, sendo que os conhecimentos específicos necessários para cada ocupação foram incluídos pela área e ambos compõem o Programa de Integração do Novo Empregado (PINE) área do empregado.

Figura 8. Fluxo esquemático do processo de manutenção *lean*



Fonte: ArcelorMittal, 2021

A gestão dos conhecimentos das ocupações é realizada pelo nível superior imediato, por meio de uma ferramenta "matriz de conhecimentos", que fica disponibilizada em um sistema específico para sua gestão.

## 4.3 GESTÃO DE ATIVOS

As diretrizes de manutenção e gestão de ativos foram baseadas na criticidade dos ativos. A criticidade foi determinada de forma padronizada e seguiu os

critérios definidos em tabelas com os respectivos pesos por fator de falha. Esse processo não é engessado e poderá ter sua criticidade redefinida em função do cenário de produção e/ou as condições de trabalho que o ativo está inserido for modificada (regime de trabalho, severidade, carga, temperatura etc.).

A classificação final dos índices de criticidade dos ativos ficou ordenada assim de forma decrescente: AA (Param a usina); A (Alta); B (Média); e C (Baixa). A distribuição do percentual esperado por equipamento ficou conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de Criticidades

Faixa de criticidade	Índice de criticidade	Tipo	Percentual esperado*
≥ 196	AA	Para a usina	< 5%
	A	Alta	~20%
≥ 132 < 196	B	Média	~50%
< 132	C	Baixa	~25%

Fonte: ArcelorMittal, 2021

Todos os equipamentos que foram classificados como alto potencial de acidente pessoal ou impacto grave ao meio ambiente em caso de falha tiveram ações visando mitigar a minimização de riscos, independente da faixa de criticidade final.

#### 4.4 GESTÃO DE SOBRESSALENTES CRÍTICOS

Todos os sobressalentes foram classificados visando a distinção entre críticos e não críticos, sendo priorizados em função da disponibilidade financeira do cenário produtivo corrente. A definição de criticidade de sobressalentes não está diretamente relacionada à criticidade do ativo, ou seja, o sobressalente de um ativo crítico não necessariamente é um sobressalente crítico.

A criticidade do sobressalente levou em consideração a metodologia para classificação de sobressalentes e teve o desdobramento em duas matrizes, sendo: criticidade versus função do ativo (Matriz 1) e Lead Time (Tempo de Espera) versus custo do sobressalente (Matriz 2). A classificação metodológica de cada item surge do resultado dessas duas matrizes (Figura 9).

Dessa avaliação, foram obtidas as diferentes classificações de sobressalentes estratificadas de acordo com as codificações e descrições abaixo:

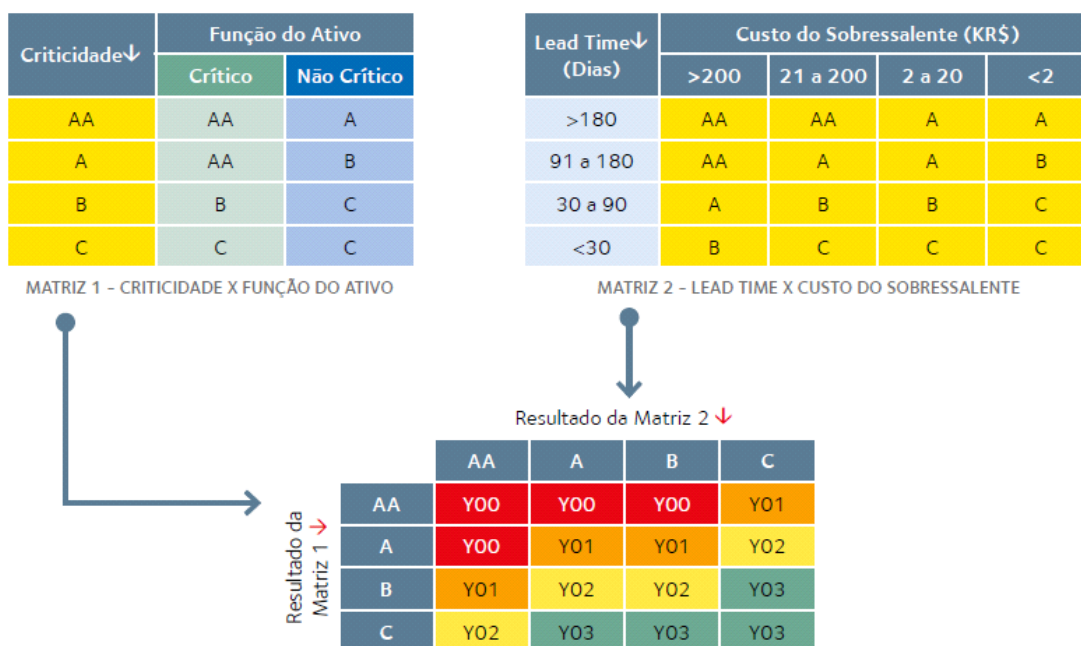
Y00 – estratégico

Y01 – paralisa a produção

Y02 – afeta a produção      Y03 – não afeta a produção / possui alternativas

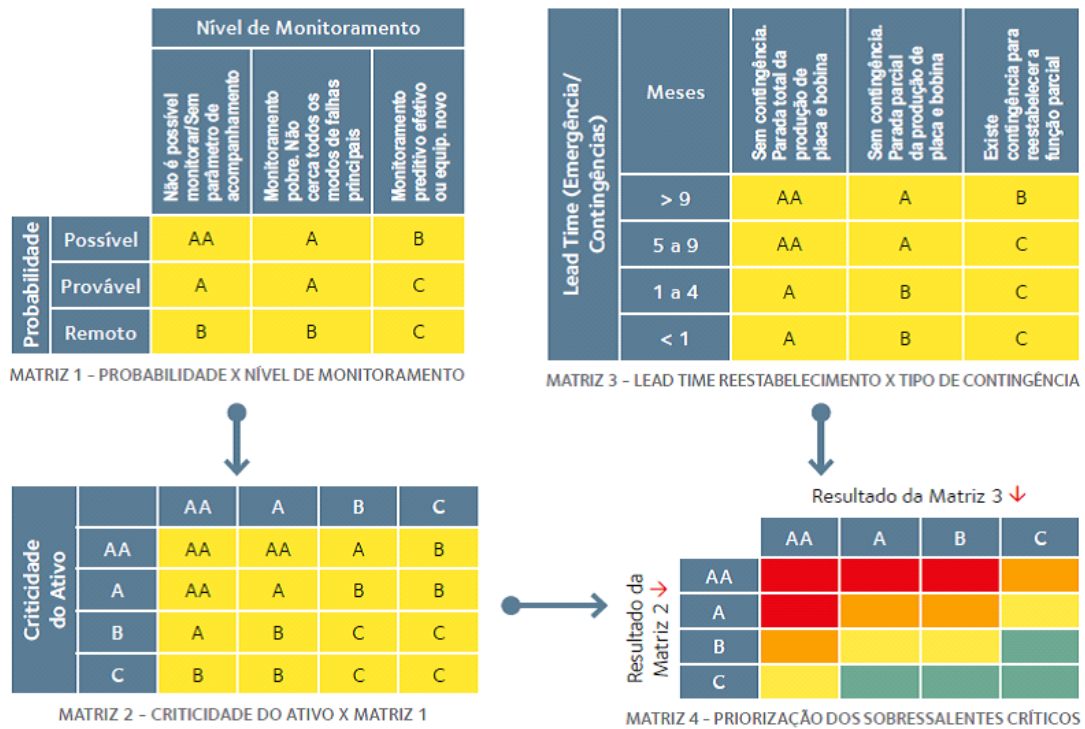
A estratégia de gestão de estoque visa uma movimentação otimizada dos itens Y02 e Y03 e a permanência dos itens Y00 e Y01, denominados como itens críticos ou estratégicos, que devem ser priorizados conforme o modelo de priorização de sobressalentes críticos abaixo, até o nível adequado e assumido de risco (Figura 10).

Figura 9. Classificação de Sobressalente



Fonte: ArcelorMittal, 2021

Figura 10. Priorização de Sobressalentes Críticos



Fonte: ArcelorMittal, 2021

Orientação do modelo de priorização de sobressalentes críticos conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Modelo de priorização de sobressalentes críticos

Vermelho	Laranja	Amarela	Verde
Sobressalente deverá ser adquirido imediatamente. Compra indispensável.	Sobressalente com compra recomendável nos próximos 12 meses. Incluir no orçamento anual.	Sobressalente deverá ser monitorado nos próximos 12 meses, realizando nova avaliação trimestral. Aquisição Planejada (Verba x Risco)	Sobressalente não deverá ser adquirido nos próximos 12 meses. Realizar nova avaliação após 12 meses.

Fonte: produzido pelos autores, 2021

Esse processo de classificação e priorização de sobressalentes foi realizado sistematicamente para os equipamentos existentes e deverá ser realizado para os novos equipamentos adquiridos. Todos os sobressalentes críticos que forem

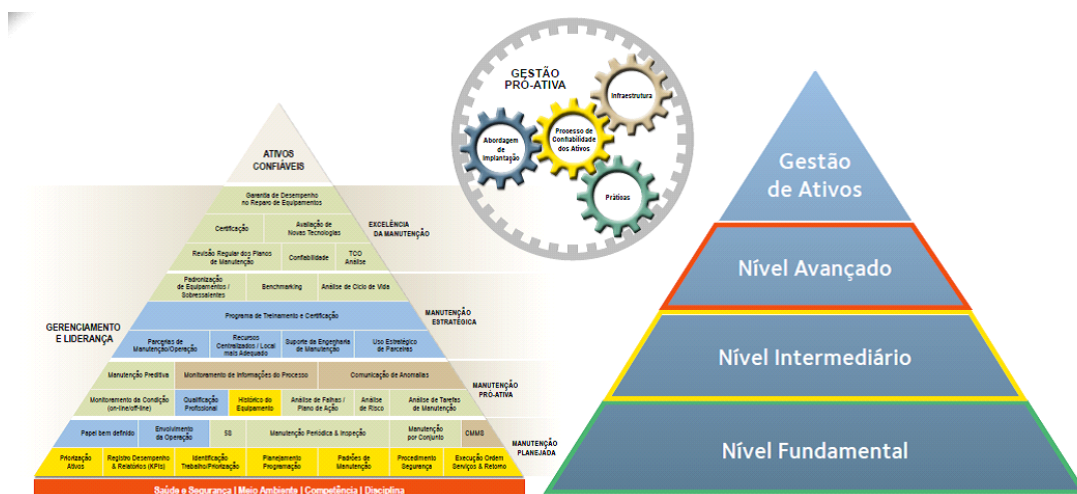
comprados e colocados em estoque devem possuir planos de inspeção para garantir que estejam cumprindo suas funções quando for utilizado. Esses planos devem ser elaborados pelos especialistas de confiabilidade e definidos de acordo com os modos de falha existentes. Esse processo de gestão de sobressalentes críticos visa a entrada ou não de um item crítico no estoque e ele irá permanecer no estoque de forma estratégica.

Quanto à gestão dos demais sobressalentes, levando em consideração o giro de estoque, deverá ser tratada de acordo com a política de ressurgimento definida pela área de suprimentos, que irá tratar cada item com uma adequada política dentro do Sistema de Gestão Empresarial ERP (SAP).

#### 4.5 SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO “PROGRAMA 5 ESTRELAS”

Para acompanhamento da evolução da implantação do programa e de sua evolução, uma ferramenta gerencial de avaliação da manutenção foi criada, e tem como principal objetivo a consolidação dos elementos-chave da manutenção e gestão de ativos. O programa visa nivelar conceitos e utilizar ferramentas fundamentais para melhor gestão dos ativos, além de permitir a troca de boas práticas entre as áreas (Figura 11).

Figura 11. Foco principal do programa “Programa 5 Estrelas de Manutenção e Gestão de Ativos”.



Fonte: ArcelorMittal, 2021

Elementos fundamentais da gestão de ativos:

- Capacitação;
- CMMS;
- Planos de inspeção;
- Planos de manutenção/serviços;
- Gestão de falhas.

Para cada um dos elementos fundamentais da gestão de ativos, o programa se subdivide em temas, que são explorados por meio de questionário dirigido para avaliação da área, conforme Figura 12.

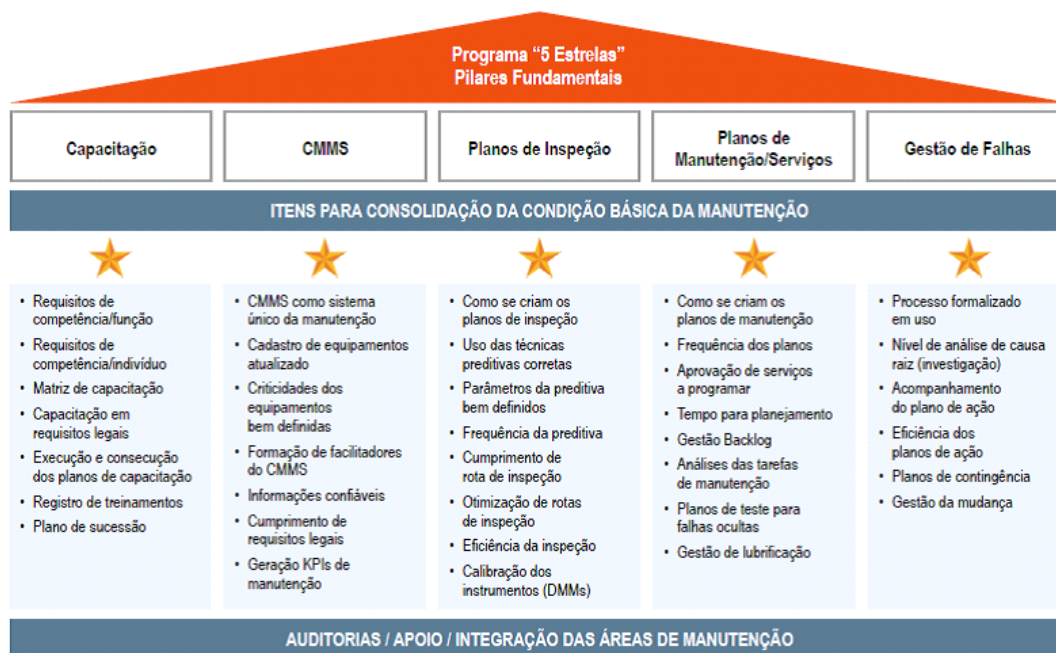
Elementos intermediários da gestão de ativos:

- Papéis e responsabilidades;
- Gestão de custos e orçamento;
- Gestão de sobressalentes críticos;
- Paradas programadas;
- Confiabilidade de ativos.

Para cada um dos elementos intermediários da gestão de ativos, o programa subdivide em temas, que são explorados por meio de questionário dirigido para avaliação da área (Figura 13).



Figura 12 Estruturação do Programa 5 Estrelas de Manutenção e Gestão de Ativos “Pilares Fundamentais e Temas Relacionados”



Fonte: ArcelorMittal, 2021

Figura 13. Estruturação do Programa 5 Estrelas de Manutenção e Gestão de Ativos “Pilares Intermediários e Temas Relacionados”



Fonte: ArcelorMittal, 2021

Elementos avançados da gestão de ativos são:

- Gestão de riscos;
- Desempenho do ativo;
- Gestão de interfaces;
- Confiabilidade humana;
- Novas tecnologias e métodos.

Para cada um dos elementos avançados da gestão de ativos, o programa subdivide em temas, que são explorados por meio de questionário dirigido para avaliação da área (Figura 14).

Figura 14. Estruturação do Programa 5 Estrelas de Manutenção e Gestão de Ativos  
“Pilares Avançados e Temas Relacionados”



Fonte: ArcelorMittal, 2021

Enfim, toda organização que almeja alcançar a excelência operacional precisa ter um robusto alinhamento entre os processos organizacionais, estilo de liderança, comportamentos, indicadores-chave de desempenho e KPI (Key

Performance Indicator). A sigla em inglês (KPI) será empregada pois é amplamente utilizada no ambiente operacional da indústria. O tema gestão de ativos corrobora fortemente para alcance dessa excelência.

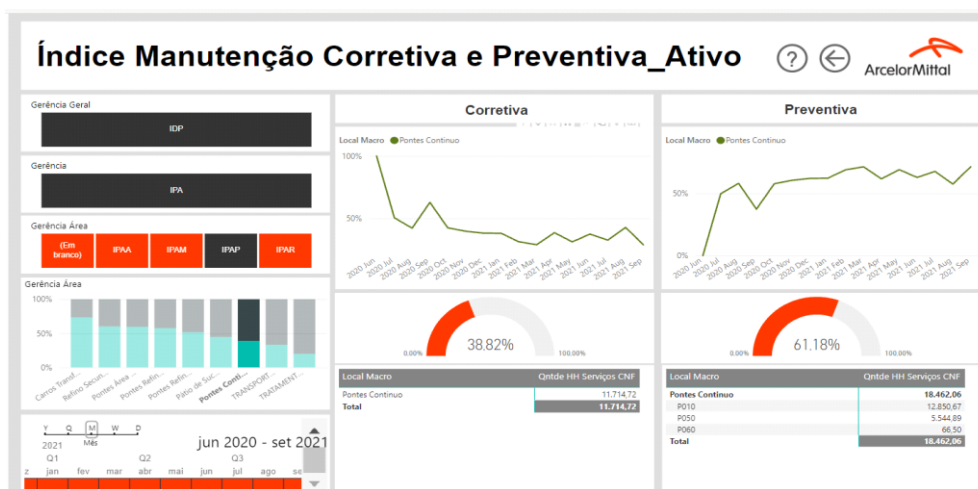
O novo modelo da manutenção e confiabilidade e adequação de KPIs são alguns exemplos dessas reformulações. O que não deve ser retirado do foco é o alinhamento dessas e outras melhorias com o objetivo organizacional. Essa evolução é fundamental no desempenho organizacional.

Nesse contexto, a manutenção deve apresentar como seus processos estão sendo ajustados e alinhados aos objetivos organizacionais, como está o acompanhamento dos resultados e adotar medidas que permitam melhorar seus processos para que gerem o valor requerido. Considerando não somente o lado financeiro, mas todos as outras áreas já mencionadas anteriormente, como ambiental, segurança etc.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No painel abaixo (Figura 15), podemos observar que após a implantação da metodologia de confiabilidade os índices de manutenção corretiva no setor de pontes rolantes do lingotamento contínuo apresentaram considerável melhora e com tendência de queda das manutenções corretivas, 28,75% em 09/2021, e aumento das manutenções preventivas para 71,25% em 09/2021, o que é desejável.

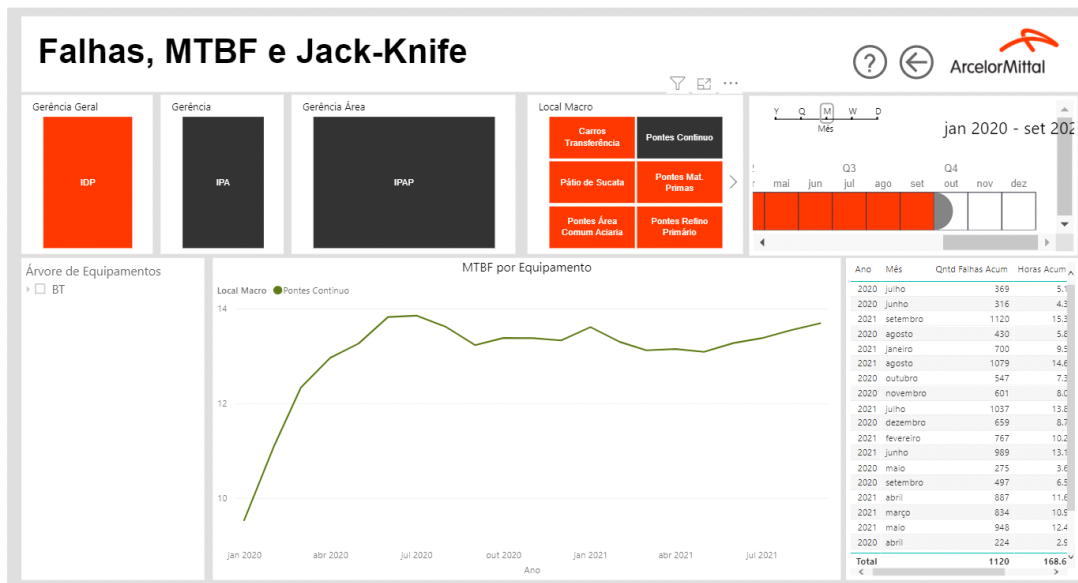
Figura 15. Índice Manutenção Corretiva e Preventiva Ativo



Fonte: ArcelorMittal, 2021

No painel abaixo (Figura 16), observamos uma melhora no tempo médio entre falhas, MTBF (Mean Time Between Failure) saindo de 9,54 horas em janeiro de 2020 para 13,69 horas em setembro de 2021, uma melhora de 43,5% no índice. A sigla em inglês (MTBF) será empregada pois é amplamente utilizada no ambiente operacional da indústria.

Figura 16. MTBF Pontes Rolantes Lingotamento Continuo



Fonte: PowerBi, ArcelorMittal, KPI's de Manutenção, 2021

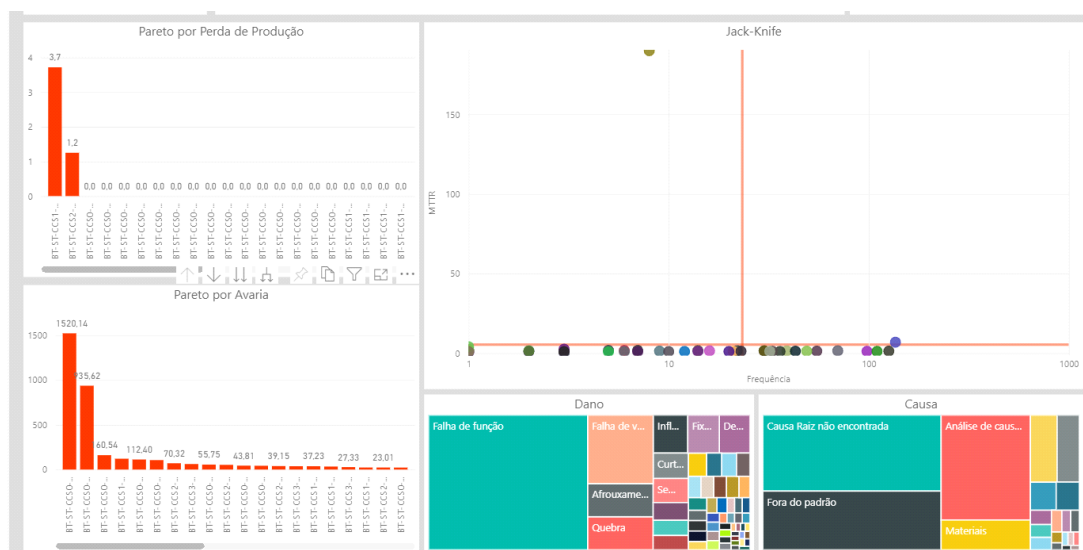
No painel (Figura 17), podemos observar os equipamentos que mais geraram perda de produção e paradas por avaria pelo método Jack-Knife. O método consiste na construção de um diagrama, em que as falhas estão localizadas em quatro quadrantes. Para obter o diagrama, é necessário ter um banco de dados confiável dos históricos e ações que a manutenção realizou num equipamento ou sistema, para identificar quais falhas foram críticas e que mais contribuíram com a indisponibilidade. O método também permite fazer a análise de dois parâmetros que estão relacionados, ao mesmo tempo, ou seja, num mesmo diagrama que advém da quantidade de falhas e do tempo de reparo daquela falha.

Essas informações são expressas em um gráfico de dispersão, em que os eixos estão em escala logarítmica. E aplica-se os limites para fazer a separação dos quadrantes. As falhas que se localizarem no quadrante superior

direito são as falhas críticas que tiveram maior tempo de reparo e maior frequência de ocorrência, sendo as primeiras a receber ações de melhoria para que possam ser resolvidas e não se repitam. Com base nessa informação, a manutenção poderá priorizar e direcionar esforços para evitar que as falhas críticas voltem a ocorrer.

Depois de analisar, organizar as informações para utilizar o método Jack-Knife e propor novas ações de melhoria como resultado, espera-se reduzir a atuação em paradas corretivas do equipamento. Com a dispersão logarítmica é possível identificar as falhas que mais contribuem para gerar a indisponibilidade, enquanto continuam permitindo a visualização da influência da frequência de falha e do MTTR, conforme Knights (2001).

Figura 17. Jack-Knife Pontes Rolantes Lingotamento Contínuo



Fonte: PowerBi, ArcelorMittal, KPI's de Manutenção, 2021

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos constatar que as ações de reestruturação e aplicação da metodologia de confiabilidade na referida área da siderúrgica trouxe melhora significativa nos índices de manutenção, aumentando a disponibilidade dos equipamentos, reduzindo a variabilidade dos processos atendidos por estes, sendo de grande importância a capacitação das pessoas envolvidas no processo com foco na sua função.

Por meio do uso de ferramentas como a Jack-Knife, é possível priorizar os esforços para os equipamentos e as causas que mais impactaram em paradas e perdas de produção. A partir daí são realizadas análises de falhas para identificar as causas raízes e implementação de planos de ação para bloquear as mesmas, que vão desde treinamento para as equipes de operação, manutenção e execução, padronização de processos, aquisição de sobressalentes de empresas qualificadas, controle de processo, mudança de material a reengenharia e melhorias recomendadas pela engenharia e pelo próprio setor de manutenção.

Faz-se necessário uma constante vigilância na qualidade das informações geradas nas ordens reportadas pelas equipes de manutenção do horário administrativo e turno, as quais serão os dados que tratados vão gerar as informações para os KPIs e após análise direcionarão os esforços para os itens que são responsáveis pelas paradas mais relevantes de equipamentos e perdas de produção.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR ISO 55001 – Gestão de Ativos – Sistemas de Gestão – Requisitos, 2014, 16 páginas
- ArcelorMittal Tubarão. Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com/a-arcelormittal/quem-somos/arcelormittal-tubarao>>. Acesso em: 26 maio de 2021;
- BARBOSA, Marina. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ESCÓRIA DE ACIARIA DE CINCO ESTADOS BRASILEIROS. 2013. Dissertação de mestrado (Pós-graduando em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.
- BERTI, Lucas. Lingotamento contínuo. In: BERTI, Lucas. Processamento e manufatura de metais. Londrina, 2013. Apresentação acadêmica.
- FCLatam, ArcelorMittal, Plano Diretor de Gestão de Ativos - Janeiro de 2021 | Rev. 02
- FLORES Filhos Joubert f. **A manutenção no segmento metro-ferroviário**. Revista ferroviária, Rio de Janeiro, pág. 55 outubro/2004.
- GREGÓRIO, Gabriela.Fonseca. P.; SANTOS, Danielle. F.; PRATA, Auricélio. B. *Engenharia de manutenção*. Porto Alegre: Grupo A, 2018. 9788595025493. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025493/>. Acesso em: 10 nov. 2021
- JORDAN, Conrado. Manutenção prescritiva ou detectiva. In: JORDAN, Conrado. CONDITION MONITORING COM BEACONS BLUETOOTH DE BAIXO CUSTO. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de automação) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2018
- KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção: Função Estratégica. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark,2009.
- KNIGHTS, Peter F. *Downtime Priorities, Jack-Knife Diagrams, and the Business Cycle*. *Maintenance Journal*. V. 17, p. 14 - 21, 2001.

MORSE, Klister. O que é uma ponte rolante. In: MORSE, Klister. O que é uma ponte rolante. [S. l.], 15 maio 2020. Disponível em: <<https://www.kistlermorse.com.br/post/o-que-%C3%A9-uma-ponte-rolante-e-como-funciona.>> Acesso em: 8 nov. 2021.

MOUBRAY, John. Manutenção Centrada em Confiabilidade (*Reliability-centred Maintenance*) - Edição Brasileira, São Paulo, SPES, 2000.

PowerBI, ArcelorMittal, KPI's de Manutenção - Acesso em: 30 set. de 2021.

SELLITTO, Miguel; BORCHARDT, Miriam; ARAÚJO, Daniel. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: APLICANDO UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA. ENEGEP, Curitiba, p. 1-8, 25 out. 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Sellitto/publication/307908187\\_MANUTENCAO\\_CENTRADA\\_EM\\_CONFIABILIDADE\\_APLICANDO\\_UMA\\_ABORDAGEM\\_QUANTITATIVA/links/57d1763c08ae6399a38b4efc/MANUTENCAO-CENTRADA-EM-CONFIABILIDADE-APLICANDO-UMA-ABORDAGEM-QUANTITATIVA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Sellitto/publication/307908187_MANUTENCAO_CENTRADA_EM_CONFIABILIDADE_APLICANDO_UMA_ABORDAGEM_QUANTITATIVA/links/57d1763c08ae6399a38b4efc/MANUTENCAO-CENTRADA-EM-CONFIABILIDADE-APLICANDO-UMA-ABORDAGEM-QUANTITATIVA.pdf)>. Acesso em: 8 nov. 2021.

VASCONCELOS, Felipe. Treinamento em *POWER BI*: contribuições da engenharia de produção em *Business Intelligence*: Conceitos, termos e definições de manutenção industrial. 2021. 43 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Ouro Preto, [S. l.], 2021.

## SISTEMAS CONECTADOS GRID-TIE ATRELADOS A SFV ALOCADOS A REALIDADE DE REDES INTELIGENTES NO BRASIL

Anna Clara do Prado Rosa<sup>1</sup>, Rafael Neves Fassarella<sup>1</sup>, Rafael de Paula Cosmo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia Mecânica – Professor Multivix – Vitória

### RESUMO

O presente estudo tem por objetivo analisar os sistemas conectados Grid-TIE, esclarecendo suas principais vantagens e desvantagens quando atrelados a sistemas fotovoltaicos (SFV) implantados em domicílios brasileiros. Foi realizada uma revisão bibliográfica, de base técnica descritivo-exploratória, a qual inclui a análise detalhada e crítica dos conteúdos ligados ao tema. Conclui-se que as principais vantagens de se implementar sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV em domicílios brasileiros integrados a redes inteligentes são: 1) a energia excedente gerada no sistema pode ser repassada à rede por preceitos da ACL e da Portaria 538/2015, gerando créditos de energia ao consumidor junto ao regimentado no ACR e à Resolução Normativa (RN) 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel); 2) baixo custo operacional e alta confiabilidade no ponto de geração de eletricidade; 3) instalação facilitada. No que tange às desvantagens temos: 1) alto custo inicial de investimento; 2) possibilidade de geração de problemas na regulação da tensão; 3) em algumas localidades, as tecnologias Grid-TIE podem não conseguir integrar positivamente a energia elétrica excedente à rede, o que torna a exportação/venda/repasso da energia excedente inviável. Desse modo, somente em certas localidades do Brasil as vantagens de se implementar sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV superaram suas desvantagens. Portanto, antes de ser iniciada a implementação de um sistema dessa natureza, é recomendada a realização de um minucioso estudo por profissional devidamente qualificado.

**Palavras-chave:** redes inteligentes, sistema Grid-TIE, sistema fotovoltaico (SFV), cogeração energética, instalações domiciliares brasileiras.

### ABSTRACT

The present study aims to analyze the Grid-TIE connected systems, clarifying their main advantages and disadvantages when linked to photovoltaic systems (PVS) implemented in Brazilian households. A bibliographic review was carried out, with a descriptive-exploratory technical basis, which includes a detailed and critical analysis of the contents related to the theme. It is concluded that the main advantages of implementing Grid-TIE connected systems linked to SFV in Brazilian homes integrated with smart grids are: 1) the surplus energy generated in the system can be transferred to the grid according to ACL and Ordinance 538/2015, generating energy credits to the consumer with the regimented in the ACR and the Normative Resolution (RN) 482/2012 of the National Agency of Electric Energy (ANEEL); 2) low operating cost and high reliability at the point of electricity generation; 3) Easy installation. Regarding the disadvantages, we have: 1) high initial investment cost; 2) possibility of generating problems in voltage regulation; 3) in some locations, Grid-TIE technologies may not be able to positively integrate surplus electricity into the grid, which makes export/sale/transfer of surplus energy unfeasible. Thus, only in certain locations in Brazil the advantages of implementing Grid-TIE connected systems linked to SFV outweighed its disadvantages. Therefore, before starting the implementation of a system of this nature, it is recommended that a thorough study be carried out by a duly qualified professional.

**Keywords:** Smart grids, Grid-TIE system, photovoltaic system (PVS), energy cogeneration, Brazilian residential installations.



## 1. INTRODUÇÃO

As redes inteligentes já são uma realidade no Brasil, porém ainda pouco representativa no cenário energético nacional se comparado a países como a Alemanha. Para que esse tipo de sistema se desenvolva, é necessário compreender não somente suas características técnicas, mas também a regulação vigente.

Toledo (2012) e Pinto (2013) descrevem redes inteligentes de energia como sendo uma forma nova, mais inteligente e segura, de se distribuir energia elétrica por meio de ações interligadas entre todos os usuários da base energética nacional.

Sistemas conectados Grid-TIE constituem um importante elemento para a constituição das redes inteligentes. Trata-se de um tipo de inversor, majoritariamente utilizado em sistemas de geração solar de energia, porém sendo possível adaptar para qualquer tipo de microgeração de energia, onde o equipamento converte a corrente contínua (CC), gerada pelos painéis solares, em corrente alternada (CA), seja ela 127V ou 220V, utilizada no uso residencial.

Ao mesmo tempo, esse tipo de inversor pode fornecer a energia excedente para a rede elétrica da concessionária. Para isso, o equipamento possui um oscilador interno que sincroniza a frequência e a tensão da energia gerada com a energia fornecida pela rede, sendo capaz até de se desconectar automaticamente caso identifique baixa qualidade da energia devido a quedas, manutenções etc.

Uma rede inteligente se caracteriza por um fluxo bidirecional de informações e energia elétrica, o que permite que a energia, que é tradicionalmente gerada e distribuída de modo radial pela rede, possa também receber energia de unidades consumidoras locais. Isso viabiliza ao consumidor que dispõe de sistemas conectados, tal qual o Grid-TIE, deixar em alguns momentos de ser “cativo” do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), e se tornar “ofertivo” no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

Tal flexibilização é regulamentada pelas Resoluções Normativas (RNs) nº 414/2010, nº 482/2012 e nº 499/2012, e pelo Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD - Portaria 538/2015), no que tange a possibilidade de fornecer energia elétrica à rede (ANEEL, 2012a; ANEEL, 2012b; SANTOS, 2013). Esfera (2020) define bem essa modalidade:

O Ambiente de Contratação Regulada (ACR) é formado pelos consumidores cativos. Nele, a energia é comprada pelas distribuidoras por meio de leilões, e o preço é determinado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O consumidor cativo é aquele que só pode comprar energia elétrica da concessionária responsável pela distribuição em sua região, naquele que é o modelo mais comum para residências e pequenas empresas ...[...]... O Ambiente de Contratação Livre (ACL) é aquele conhecido como o Mercado Livre de Energia. Neste ambiente de negociação, os consumidores negociam as condições de compra de energia elétrica diretamente com as geradoras ou comercializadoras.

Conforme argumentam Pereira e Oliveira (2011), Santos (2013), Santana-Rodriguez (2013), Lima (2017), Avellar (2018) e Esfera (2020), os sistemas conectados Grid-TIE são interessantes tanto ao consumidor quanto à sociedade e aos governos, devido ao fato de que:

- A energia resulta de uma base sustentável - auto renovável;
- A energia é consumida muito próximo do local onde é gerada, não necessitando ser transportada pela rede por longos trajetos, o que diminui, consideravelmente, a carga das redes elétricas de média e baixa tensão;
- A energia pode ser comprada pelo consumidor vide preceitos do ACR ou ACL;
- O excedente de energia local da Geração Distribuída (GD) pode ser repassado à rede, levando o local da GD a receber créditos em energia (kWh) que podem ser empregados para abater no consumo do ACR junto à concessionária em meses subsequentes;

- Sistemas conectados podem ser até 30% mais eficientes que sistemas isolados. Tais atos têm elevado, significativamente, o número de interessados e de instalações de sistemas conectados Grid-TIE, em todo o mundo.

Contudo, devemos levar em consideração que existem desvantagens nesse tipo de sistema, dentre eles, destacam-se:

- Alto custo inicial de investimento;
- Possibilidade de geração de problemas na regulação da tensão;
- Em algumas localidades as tecnologias Grid-TIE podem não conseguir integrar positivamente a energia elétrica excedente à rede, o que torna a exportação da energia excedente inviável;
- Possibilidade de comprometer a qualidade (oscilação) da energia da rede por necessitar de ajustes constantes;
- Probabilidade de problemas no que tange ferroressonância, ilhamento, interferência com religadores, dessensibilização de relés e desarmes automáticos por interferência.

Mesmo com as desvantagens apresentadas, os sistemas conectados Grid-TIE atrelados a sistemas fotovoltaicos (SFV) constituem um importante conjunto de tecnologias para o suprimento de energia em algumas cidades pelo mundo e no Brasil. De acordo com a Absolar (2021), em 2020 o Brasil foi o 9º país que mais instalou sistemas de geração solar no mundo, sendo a primeira vez que está entre os 10 maiores, evidenciando o potencial dessa tecnologia.

Diante do acima descrito, surgiu o problema de pesquisa: “os benefícios dos sistemas conectados Grid-TIE atrelados a Sistemas Fotovoltaicos (SFVCR) superam as desvantagens dos mesmos quando alocados a bases domiciliares brasileiras?”.

O objetivo do presente estudo foi analisar os sistemas conectados Grid-TIE, esclarecendo as principais vantagens e desvantagens deles quando atrelados

a SFV a serem implementados em domicílios brasileiros. A fim de enriquecer o estudo, foi somado ao mesmo os seguintes objetivos específicos: (1) compreender redes inteligentes; (2) analisar energia fotovoltaica; e (3) explicar sistemas conectados Grid-TIE.

Nesse contexto, a implementação em bases domiciliares brasileiras de sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV pode ser um importante elemento propulsor da microgeração de energia no país. Contudo, à luz das normativas vigentes no Brasil e fatores regionais de cada localidade, há de se investigar se os benefícios e as vantagens oferecidas por essas tecnologias conseguem se sobrepor às desvantagens inerentes à sua utilização.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Captar a energia da luz do sol, convertê-la em energia elétrica, e adicioná-la à rede inteligente de distribuição, tornou-se uma atividade relativamente simples nos dias de hoje. Isso é devido ao desenvolvimento durante anos de técnicas e equipamentos, além de uma legislação que possibilite e incentive tal atividade, os quais precisam ser compreendidos a fim de que se possa avançar com a proposta deste trabalho.

### **2.1 REDE INTELIGENTE**

Uma rede elétrica, basicamente, pode ser descrita como sendo um conjunto de instalações interconectadas disposta para fornecer eletricidade dos produtores aos consumidores. A mesma é formada por geradores de energia elétrica, linhas de transmissão de alta tensão, centros de demanda e linhas de distribuição (TOLEDO, 2012; SANTOS, 2013).

Assim como diversas outras categorias de empreendimento, uma rede elétrica deve se adaptar, ano após ano, a manter-se eficiente no que tange às demandas do mercado. Em se tratando das redes elétricas, isso é alcançado por meio do uso de técnicas de gerenciamento de rede, as quais podem se utilizar de tecnologias inovadoras, como é o caso das redes inteligentes ou Grid-TIE (PINTO, 2013; SANTOS, 2013; CAMARGO et al., 2016).

Um sistema conectado Grid-TIE basicamente pode ser descrito como sendo um conjunto de redes inteligentes que conecta à rede energética às bases renováveis de energia. Tais bases podem ser decorrentes da queima do gás natural (térmica), do aproveitamento do deslocamento das massas de ar (eólica) e da energia advinda do sol (fotovoltaica). Essas usinas de energia podem variar de pequenos sistemas domiciliares e comerciais espalhados, até grandes geradoras concentradas, viabilizando que o local da Geração Distribuída (GD) possa fornecer energia elétrica excedente aos demais usuários ligados à rede.

Vale lembrar que, de um modo amplo, pode ser dito que a Grid-TIE é um aprimoramento da rede elétrica do século XXI, em que se busca enfrentar problemas energéticos de demanda não com uma maior produção energética, mas com uma melhor gestão de dados e dos recursos disponíveis. Isso é possível em virtude da comunicação bidirecional integrada a dispositivos inteligentes, o que eleva a “flexibilidade” das fontes na rede elétrica, permitindo que as mesmas sejam centralizadas e descentralizadas quando necessário (BELISÁRIO, 2011; TOLEDO, 2012; OĞZ, Y.; ÖZSOY, 2015).

A implantação do referido sistema dispõe de amparo legal, sendo regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) por meio da resolução normativa nº 482 de 2012. O Governo Federal, por meio do Ministério de Minas e Energia, criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD), com os seguintes objetivos e abrangência (Brasil, 2015, p. 1):

Art. 1º Cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - PROGD, com os seguintes objetivos:

I - Promover a ampliação da geração distribuída de energia elétrica, com base em fontes renováveis e cogeração;

II - Incentivar a implantação de geração distribuída em:

a) edificações públicas, tais como escolas, universidades e hospitais; e

b) edificações comerciais, industriais e residenciais.

Art. 2º O PROGD compreende a geração distribuída dos sistemas elencados a seguir:

I - Geração distribuída de que trata o art. 2º, § 8º, alínea "a", da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, observado o disposto nos arts. 14, 15, §§ 3º e 4º, do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004; e

II - Microgeração e minigeração distribuída, definida conforme regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Importante enfatizar que os sistemas conectados Grid-TIE mais interessantes para bases domiciliares brasileiras que buscam operar no ACL, vide preceitos da RN nº 414/2010, nº 482/2012 e nº 499/2012 e PROGD (Portaria 538/2015), são os que seguem “atrelados” a um sistema fotovoltaico (SFV). Alguns dos motivos já foram evidenciados, mas o grande destaque fica por conta do elevado potencial de insolação que detém a ampla maioria das regiões do país (BRASIL, 2015), como pode ser identificado na Figura 1.

A Tabela 1 sumariza os dados climáticos acerca da irradiação solar diária e da temperatura média do ar de 20 cidades brasileiras. Os dados têm como base as informações da Agência Espacial Americana (Nasa), porém foram coletados de modo direto do software RETScreen (CRUZ, 2016).

Quando a rede inteligente segue conectada a um SF, passa a mesma a ser denominada como Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR/Grid-TIE) (BELISÁRIO, 2011; TOLEDO, 2012; SANTOS, 2013; PINTO, 2013). Desse modo, essa associação permite não somente elevar a funcionalidade de uma rede inteligente, mas também ampliar o uso de fontes renováveis, especialmente a fotovoltaica. Evidentemente, devido à maior oferta e à melhor gestão, também se alcança uma maior disponibilidade de energia elétrica.

Figura 1 – Potencial de geração de energia solar do Brasil.



Fonte: Cruz (2016, p. 118).

Tabela 1 – Dados climáticos e irradiação solar no Brasil.

Cidades- representativas	Latitude	Longitude	Irradiação solar diária - horizontal	Irradiação solar diária - inclinada	Temperatura do ar
	(°)	(°)	(kWh/m <sup>2</sup> /d)*	(kWh/m <sup>2</sup> /d)*	(°C)*
Belo Horizonte	-19,85	-43,95	4,34	4,47	22,33
Belém	-1,38	-48,48	5,05	5,02	26,68
Boa Vista	2,83	-60,70	5,00	4,85	28,34
Bom Jesus da Lapa	-13,25	-43,44	5,73	5,84	25,47
Brasília	-15,79	-47,88	5,34	5,53	23,81
Campo Grande	-20,47	-54,67	5,10	5,24	24,51
Cuiabá	-15,65	-56,10	5,09	5,16	26,91
Curitiba	-25,52	-49,17	4,31	4,43	17,51
Florianópolis	-27,67	-48,55	4,24	4,36	20,99
Fortaleza	-3,78	-38,53	5,84	5,78	27,41
Jacareacanga	-6,27	-57,66	4,75	4,77	26,93
Manaus	-3,15	-59,98	4,61	4,59	27,24
Petrolina	-9,38	-40,51	5,72	5,70	25,89
Porto Nacional	-10,72	-48,58	5,03	5,11	25,59
Porto Velho	-8,77	-63,92	4,56	4,59	26,43
Recife	-8,07	-34,85	5,89	5,78	27,52
Rio de Janeiro	-22,92	-43,17	4,49	4,65	23,72
Salvador	-13,02	-38,52	5,27	5,17	24,84
Santa Maria	-29,69	-53,83	4,54	4,67	19,86
São Paulo	-23,62	-46,65	3,96	4,05	20,05
<b>Média</b>			<b>4,94</b>	<b>4,99</b>	<b>24,60</b>

Fonte: Cruz (2016, p. 51).

## 2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica pode ser considerada a mais comum dentre os métodos de geração elétrica renováveis em ambientes residenciais. Tal fato é devido tanto às vantagens de instalação e operação quanto às características específicas desse tipo de geração, como:

- Sua operação não gera nenhuma poluição, ou seja, é sustentável;
- Não libera gases de efeito estufa;
- Uma vez instalado o SFV, é possível se deter de uma escalabilidade simples em relação às necessidades de energia a cada usuário;



- O silício, necessário ao sistema, tem grande disponibilidade na crosta terrestre.

Fatos que explicam o porquê o SFV, conectado via Grid-TIE ou desconectado à rede (SFVDR), vem sendo cada vez mais utilizado com o passar dos anos, seja em aplicações industriais ou em instalações domésticas em todo o mundo (SANTOS, 2013; CAMARGO et al., 2016).

Em 2012, estudos indicavam que os SFV contribuíam com cerca de 1% para a geração de eletricidade em todo o mundo, sendo que os maiores instaladores de SFV residenciais, em termos de capacidade, eram a China, o Japão e os Estados Unidos, enquanto a metade da capacidade mundial estava instalada na Europa, com Alemanha e Itália fornecendo 7% a 8% do seu respectivo consumo de eletricidade solar.

Segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), no ano de 2013 a capacidade instalada de energia fotovoltaica (FV) equivalia a aproximadamente 137 gigawatts (GW), porém, desde o fim 2015, observou-se um rápido crescimento do mercado global de SFV, de modo que em 2016 a capacidade instalada já ultrapassava a marca dos 200GW, cerca de 40 vezes maior que a capacidade instalada de 2006 (CAMARGO et al., 2016), sendo que em 2019 a geração fotovoltaica alcançou, em escala global, aproximadamente 700GW de capacidade instalada (IRENA, 2020).

Santos (2013) destaca que nos últimos anos os SFV de uso doméstico ganharam “terreno”, o que, em parte, decorre de quatro pontos principais:

- Aumento do apelo e divulgação em prol da sustentabilidade - o que fez elevar a preocupação da população com a aquisição de medidas para preservar o meio ambiente, que, por sua vez, favoreceu a divulgação, aquisição e instalação de fontes alternativas de energia;
- Avanços tecnológicos – os quais fizeram aumentar a escala de fabricação de SFV a menores custos, o que levou esses a se tornarem cada vez mais baratos e, por consequência, mais acessíveis a população;

- Vantagem financeira – um SFV doméstico de telhado pode recuperar a energia investida para sua fabricação e instalação dentro de 0,7 a 2 anos e produz cerca de 95% da energia limpa renovável limpa ao longo de uma vida útil de 30 anos.
- Elevação da confiabilidade - com o passar dos anos e com o aumento do número de SFV instalados se elevou a confiabilidade em sua segurança e eficiência.

Ainda segundo Santos (2013), à medida que os itens 1, 2 e 3, acima citados, se fixaram junto às sociedades, diversos países pelo mundo, incluindo o Brasil, deram início à disposição de incentivos financeiros, em tributações e tarifas a empresas, organizações e unidades domésticas que se utilizem de SFV de alimentação elétrica, fato que instigou ainda mais a busca por se utilizar os mesmos.

Atualmente, a Agência Internacional de Energia espera que a energia solar se torne a maior fonte de eletricidade do mundo até 2050, com a energia solar fotovoltaica e a solar térmica concentrada contribuindo com 16% e 11% para a demanda global, respectivamente (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

### **2.3 REDE INTELIGENTE CONECTADA (SFV/GRID-TIE): MATERIAIS, CONEXÕES E COMPONENTES**

Um sistema fotovoltaico (SFV) é um sistema de energia projetado para fornecer eletricidade por meio de células fotovoltaicas. No que se refere à construção, seja conectado à rede (SFVCR/Grid-TIE) ou sem conexão com a rede (SFVDR), é importante notar que o silício cristalino é o material predominante usado em 90% dos módulos solares produzidos em todo o mundo, enquanto os outros tipos de construção vêm perdendo, mais e mais, participação no mercado (BANYERES, 2012).

Villalva e Gazoli (2012) ressaltam ainda que cerca de 70% de todas as células solares e módulos FV são produzidos na China e Taiwan, sendo que a capacidade instalada de SFV tanto para pequenos sistemas de telhado como

para grandes usinas de energia solar está crescendo rapidamente, e em partes iguais, em todo o mundo.

Da mesma forma, os autores informam que, impulsionado por avanços na tecnologia e aumentos na escala de fabricação e sofisticação, o custo da energia FV está em declínio contínuo, ao mesmo tempo que a eficiência de conversão de um módulo solar convencional aumentou de 15 para 20% nos últimos 10 anos.

Ademais, o custo nivelado da eletricidade proveniente de sistemas fotovoltaicos de grande escala tornou-se competitivo quando comparados a fontes convencionais de eletricidade em uma lista crescente de regiões, atualmente em cerca de 30 países diferentes (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

De modo simples, pode-se afirmar que um SFV, seja SFVCR/Grid-TIE ou SFVDR, abrange, em seu esquema de funcionamento, o arranjo de várias conexões e componentes, o que, basicamente, inclui: 1) cabos e painéis solares a absorver e converter luz solar em eletricidade; 2) inversores de frequência para converter a corrente elétrica de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA); 3) unidade de condicionamento de energia, e 4) equipamento de ligação à rede (BANYERES, 2012; MENDEZ-MUÑIZ; CUERVO GARCIA, 2012).

É interessante destacar que os SFV, sejam SFVCR/Grid-TIE ou SFVDR, podem variar de pequenos sistemas montados nos telhados, construídos com capacidade de algumas a várias dezenas de quilowatts, a SFV mais robustos, alocados em grandes centrais elétricas, destinados a dispor centenas de megawatts (OĞZ, Y.; ÖZSOY, 2015; LOPEZ-SANTOS et al., 2016; LIMA et al., 2017).

Cabe também ser lembrado que em SFVCR/Grid-TIE, além dos componentes referenciados, faz-se necessário o uso de acessórios elétricos a configurar o “trabalho” do sistema. Referidos pesquisadores ditam também que em um SFVCR/Grid-TIE pode ser imprescindível seguir integrado um sistema de rastreamento solar a melhorar o desempenho geral do mesmo, o que leva o

projeto desse a evitar a necessidade de definir o arranjo a alocar uma bateria integrada (MENDEZ-MUÑIZ; CUERVO, 2012).

### **3. METODOLOGIA E MÉTODO DA PESQUISA**

O presente estudo é de base técnica descritivo-exploratória, tendo como metodologia a revisão sistemática de literatura de estudos envoltos ao tema “sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV alocados a realidade de redes inteligentes no Brasil”, o que incluiu análise crítica, interpretação literária e compreensão de textos.

Todo o material passou por uma previa seleção de conteúdo, o que permitiu uma separação detalhada do que seria aproveitado, o que viabilizou que o material selecionado se tornasse base segura para a produção do estudo em si.

O levantamento e a extração disposta aos livros se deram via coleta desses em bibliotecas de usabilidade pública; o levantamento e extração dos artigos e periódicos se deu junto a banco de dados de websites como Scientific Electronic Library (SciELO); o levantamento e extração de conteúdos de cunho científico e anais se deu junto a bases web de pesquisa, tais como Google Acadêmico. As palavras-chave empregadas para busca foram: redes inteligentes; sistema Grid-TIE; sistema fotovoltaico (SFV); cogeração energética; instalações domiciliares brasileiras.

Para seleção dos conteúdos, foi preparada a avaliação de todos os títulos e resumos dos estudos identificados, sendo disposto sob esses os seguintes critérios booleanos, de inclusão e exclusão, a elencar a eletividade dos mesmos: (1) os conteúdos eram publicações nacionais e internacionais de cunho científico; (2) os conteúdos estavam completos nas bases de pesquisa; (3) os conteúdos foram publicados entre 2011 e 2021; (4) foram excluídos conteúdos na forma de editoriais e carta; (5) os conteúdos detinham bases textuais com entendimentos relacionados SFVCR/Grid-TIE; e (6) a linha de pesquisa dos conteúdos seguia focada, mesmo que em parte, nas principais vantagens e desvantagens dos SFVCR/Grid-TIE, quando atrelados a SFV a serem implementados em domicílios brasileiros.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificados 1.972 conteúdos. Após a seleção por título e resumos disponíveis, permaneceram 406. Desses, 206 foram excluídos por serem publicações do tipo editoriais, cartas ou por não possuírem relação clara com o objetivo desejado. Ao fim, seguiram para leitura integral 17 conteúdos. Desses, somente seis foram selecionados a integrar a discussão do estudo em si.

Dentre os conteúdos selecionados, foi ressaltado que, segundo Aneel (2021), a Resolução Normativa (RN) 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), dita as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Assim, em linhas gerais, pode-se apontar que a RN 482/12 estabelece as regras para esse sistema de “compensação de energia” (também denominado de “créditos de energia” ou “lei de incentivo a energia solar”). Ou seja, como avaliado anteriormente, a referida RN permite que “consumidores cativos” vendam energia elétrica excedente gerada por um SFVCR/Grid-TIE às concessionárias de energia (distribuidoras) operantes no país.

A própria Aneel fornece em seu site um passo a passo que os interessados devem seguir caso tenham interesse em instalar um SFVCR/Grid-TIE em sua residência, tal recurso é representado pela Figura 2.

Vale lembrar que, mesmo com o crescimento dos SFVs, praticamente todos os domicílios e bases comerciais no Brasil ainda têm 100% de sua eletricidade fornecida pelas concessionárias de energia (distribuidoras). No entanto, os proprietários que decidirem instalar SFVCR/Grid-TIE em seus imóveis podem aderir ao sistema de créditos da RN 482/12 e, assim, passar a “vender” a energia elétrica excedente, de seu SFVCR/Grid-TIE, às concessionárias de energia.

Figura 2 – Passo-a-passo junto à concessionária de energia a instalar/conectar o SFVCR/Grid-TIE à base domiciliar.



Sob tal foco, cabe destacar que existem diversas informações no sistema de créditos da RN 482/12 que podem deter “peso” no “julgamento” do proprietário de um SFV em conectar ou não o mesmo à rede Grid-TIE, como ICMS, PIS e Cofins.

Em tal conteúdo, é fundamental ter o entendimento de que em 2015 o Conselho Nacional da Política Fazendária - Ministério da Fazenda (Confaz), por meio do ajuste Sistema Nacional Integrado de Informações Econômico-Fiscais (SINIEF) 2, de 22 de abril de 2015, revogou o convênio que orientava a tributação da energia injetada na rede, permitindo que cada Estado decida se tributa ou não a energia solar, de SFV, inserido na rede inteligente (Grid-TIE). Podemos ainda ressaltar que no ano de 2020 a geração era isenta de ICMS em todos os estados brasileiros.

Da mesma forma, o Governo Federal, por meio da Lei nº 13.169, artigo 8º, isenta de cobrança do PIS e Cofins à energia solar inserido na rede por SFVCR/Grid-TIE, bem como nos “créditos de energia” dispostos a ela. Essa

isenção é válida, segundo a lei, inclusive para energia gerada em local diferente de onde será consumida, desde que pertença ao mesmo titular.

Cabe atentar também que em muitos casos nas distribuidoras de energia existe uma “tarifa de pico”, um horário do dia em que a tarifa cobrada pela energia é maior. Sendo assim, para que haja compensação nesses casos, a geração por SFV fora do horário de pico deve ser proporcional ao aumento na tarifa no horário de pico. Por exemplo, se a tarifa no horário de pico for cinco vezes maior que o valor convencional, deve-se gerar cinco vezes mais energia que a consumida nesse horário para que seja compensada. Portanto, se foi consumido 100kwh durante o horário de pico, deve ser gerado 500kwh fora dele para que haja compensação.

É interessante também indicar que no caso de grandes consumidores de energia elétrica, como indústrias, a resolução 482/2012 da Aneel estabelece que SFV, conectados ou não à rede, devem deter potência similar à demanda contratada, visto que segue a esses vetada a venda de energia excedente à rede. Ou seja, se o consumidor é de grande porte e possui uma demanda de 800kW, seu gerador de energia solar não deve dispor de potência maior que 800kWp, visto que o excedente gerado não poderá ser vendido (gerar crédito) à rede.

Já para pequenos consumidores (residências/domicílios e pequenos comércios), a RN 482/2012 da Aneel dita que potência maior que a demanda pode ser vendida/repassada à rede. Contudo, tais consumidores devem deter SFVCR/Grid-TIE de no máximo 5.000kWp (aproximadamente 35.000 m<sup>2</sup> de painéis solares), o que acaba limitando a produção excedente de energia para venda (geração de crédito) na rede.

A energia gerada a mais pelo SFVCR/Grid-TIE que é disposto na rede (geração distribuída – GD) é entendida como “emprestada” à concessionária (distribuidora) de energia, a qual gerará o já indicado crédito de energia ao consumidor cativo, tendo esse crédito de energia a validade de 60 meses a ser utilizado no abatimento de contas de energia.

Créditos de energia que não forem compensados no local principal indicado pelo contratante passivo podem ser empregados no abatimento de contas de outros endereços, desde que o titular cadastrado (CPF ou CNPJ) para cobrança do endereço seja o mesmo, o que vale tanto para Pessoas Físicas (PF) como para Pessoas Jurídicas (PJ).

Segundo Santana-Rodriguez et al. (2013) e Lima et al. (2017), de um modo amplo e simplista pode-se considerar que as principais vantagens de sistemas fotovoltaicos SFVCR/Grid-TIE para consumidores cativos são:

- A energia excedente gerada pode ser repassada à rede, gerando créditos de energia ao mesmo;
- Baixo custo operacional e alta confiabilidade no ponto de geração de eletricidade;
- Os SFVCR/Grid-TIE são relativamente mais fáceis de instalar, pois não exigem um sistema de bateria integrado;
- A integração do SFVCR detém vantagem de se utilizar efetivamente de toda carga gerada, não dispendo perdas envolvidas com armazenamento;
- Mesmo que o sol nem sempre brilhe, qualquer instalação SFVCR/Grid-TIE cede uma redução média razoavelmente previsível no consumo elétrico, gerando retorno financeiro no custo do mesmo.

Por outro lado, Lopez-Santos et al. (2017) e Lima et al. (2017) demonstram que o sistema de geração solar atrelado ao Grid-TIE também apresenta desvantagens, que são:

- Pode causar problemas com a regulação de tensão;
- A grade tradicional opera sob a suposição de fluxo unidirecional ou radial, mas a eletricidade injetada na rede aumenta a voltagem e pode levar a níveis fora da largura de banda aceitável de  $\pm 5\%$ ;
- Alto custo inicial de investimento;



- Em algumas localidades as tecnologias Grid-TIE não conseguem lidar com a geração de energia distribuída na rede, o que torna a exportação de eletricidade excedente impossível, tendo o excedente de ser aterrado;
- O mesmo pode comprometer a qualidade da energia, visto que a “natureza” da energia FV gerada é intermitente, dispendo mudanças rápidas na voltagem, o que desgasta os reguladores de tensão, devido a necessidade de ajuste frequente, e gera oscilação de tensão;
- Desafios relacionados à proteção e ao ilhamento, vide o SFVCR/Grid-TIE, e dessensibilização de relés, desarme, interferência com religadores automáticos e ferroressonância.

## **5. CONCLUSÃO**

Conforme o apelo pela utilização de fontes de energia renováveis no mundo cresce, a geração fotovoltaica atrelado a Grid-TIE ganha cada vez mais espaço como fonte de energia. No Brasil não é diferente, visto que em 2020, segundo a Absolar (2020), entramos no top 10 países que mais instalaram energia solar no mundo.

Fato esse devido, principalmente, à queda no custo de implantação e a vários incentivos fiscais fornecidos pelo Governo Federal e alguns Governos Estaduais, tais como isenção de ICMS e PIS/Cofins, implantados partir de 2015, causando um crescimento exponencial de instalação de SFVs.

Ao mesmo tempo, o Brasil ainda tem desafios a superar para que tal tipo de geração seja mais comum na nossa realidade. Podemos destacar que seu custo de implantação, mesmo que caindo ano após ano, ainda é proibitivo para a grande maioria da população, enquanto em muitas áreas a qualidade do fornecimento de energia pelas concessionárias é ruim, de forma que a implantação de um sistema de geração SFVCR/Grid-TIE pode ser impossível.

Tendo em vista o exposto, conclui-se que hoje, no Brasil, na maioria dos casos, a implantação de um sistema de geração solar atrelado a Grid-TIE será vantajosa. Porém é necessário a avaliação de um profissional habilitado para

que haja uma análise “caso a caso” da situação, visto os problemas acima mencionados que devem ser levados em consideração.

## REFERÊNCIAS

- ABSOLAR (São Paulo). Brasil entra no top 10 de países que mais instalaram energia solar em 2020. In: ABSOLAR (São Paulo). **Brasil entra no top 10 de países que mais instalaram energia solar em 2020**. São Paulo, 26 maio 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-entra-no-top-10-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020-2/>. Acesso em: 26/10/2021.
- ADALBO, R. **Energia solar para produção e eletricidade**. 1º Ed. São Paulo: Artliber, 2012.
- ANEEL. **RN 482/ 2012**. Publicada 17/04/2012a. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p\\_p\\_id=participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=2&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_cacheability=cacheLevelPage&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublica\\_portlet\\_idDocumento=38561&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp](https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublica_portlet_idDocumento=38561&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp). Acesso 27/05/2021.
- ANEEL. **RN 414/ 2010**. Atualiza em 2012b. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/REN\\_414\\_2010\\_atual REN\\_4\\_99\\_2012.pdf/d299b3a0-ad4a-4c68-a280-6891e10b4465](https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/REN_414_2010_atual REN_4_99_2012.pdf/d299b3a0-ad4a-4c68-a280-6891e10b4465). Acesso 27/05/2021.
- ANNEEL. **Informações técnicas**. S/ d. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>. Acesso 30/08/2021.
- BANYERES, L. J. **Geração de energia solar fotovoltaica**. 1º Ed. São Paulo: Marcombo, 2012.
- BELISÁRIO, R. **Brasil inova nas redes elétricas inteligentes**. Cienc. Cult. 2011; vol.63(1). Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext) HYPERLINK "http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0009-67252011000100003"& HYPERLINK "http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0009-67252011000100003"pid=S0009-67252011000100003. Acesso 13/11/2021.
- BRASIL. **Portaria nº 538/2015**. Publicado 15/12/2015. Disponível em: <https://www1.satrix.com.br/satrix/arquivos/aneel-portari-538-1-progd-15122015.pdf>. Acesso 28/05/2021
- CAMARGO, J. R. *et al.* **Sistemas Fotovoltaicos: Conceitos, inovação e aplicações**. 1º Ed. São Paulo: Cabral editora universitária, 2016.
- CRUZ, T. B. **Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil**. Dissertação [Mestrado em Planejamento Energético]. Rio de Janeiro: COPPE\_UFRJ, 2016. 188f. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Talita\\_Borges\\_Cruz.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Talita_Borges_Cruz.pdf). Acesso 27/05/2021.
- ESFERA. **Entenda as diferenças entre ACR e ACL na compra de energia**. Publicado 19/10/2020. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/blog/acr-e-acl/>. Acesso 27/05/2021.
- IRENA (Abu Dhabi). **Renewable capacity statistics 2020. Renewable capacity statistics**, Abu Dhabi, ano 2020, 2020. DOI ISBN 978-92-9260-239-0. Disponível em: <https://irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>. Acesso em: 12/11/2021.

- LIMA, L. C. *et al.* Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. **Energy for Sustainable Development**. 2017; vol. 37: 79–85.
- LOPEZ-SANTOS, O. *et al.* **Operation of a Photovoltaic Microinverter as Active Power Filter using the single phase P-Q Theory and Sliding Mode Control**. **Ingeniería**. 2016; Vol. 22 (2). Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Publicado 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318240659> Operation of a Photovoltaic Microinverter as Active Power Filter using the single phase P-Q Theory and Sliding Mode Control. Acesso 13/11/2021.
- MARTINS, H. **Novas regras da ANEEL para geração doméstica de energia elétrica solar**. Publicado 2015. Disponível em: <http://solarenergy.com.br/2016/03/novas-regras-aneel-geracao-domestica-energia-solar/>. Acesso 27/05/2021.
- MENDEZ-MUNIZ, J. M.; CUERVO GARCIA, R. **Energia solar fotovoltaica**. 7º Ed. São Paulo: FC Editorial, 2012.
- OĞZ, Y.; ÖZSOY, M. F. **Sizing, design, and installation of an isolated wind-photovoltaic hybrid power system with battery storage for laboratory general illumination in Afyonkarahisar**, Africa do Sul. 2015; Vol.26 (4). Publicado 2015. Disponível em: [http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext) HYPERLINK "http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1021-447X2015000400007"& HYPERLINK "http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1021-447X2015000400007"pid=S1021-447X2015000400007. Acesso em 13/11/2021.
- PEREIRA, F. A. S.; OLIVEIRA, M. A. S. **Laboratório de energia solar fotovoltaica**. São Paulo: Piblindústria, 2011.
- PINTO, M. O. **Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados**. 1º Ed. São Paulo: LTC, 2013.
- SANTANA-RODRIGUEZ, G. *et al.* **Evaluation of a grid-connected photovoltaic system and in-situ characterization of photovoltaic modules under the environmental conditions of Mexico City**. *Revista Mexicana de Física*. 2013; vol. 59: 88–94 MARCH–APRIL 2013. Publicado 2013. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v59n2/v59n2a12.pdf>. Acesso 13/11/2021
- SANTOS, M. A. **Fontes de energia renovável**. 1º Ed. São Paulo: LTC, 2013.
- TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes: smart grid handbook**. 1º Ed. São Paulo: Brasport, 2012.
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações - sistemas isolados e conectados à Rede**. 2º Ed. São Paulo: Érica, 2014.

# ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE RETÍFICA DE REVESTIMENTO CERÂMICO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

Gabriel Guaitolini<sup>1</sup>, Rafael de Paula Cosmo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico do curso de Engenharia Química

<sup>2</sup>Doutorando em Eng. Mecânica – Professor da Multivix - Vitória

## RESUMO

O setor da construção civil tem grande influência no consumo de recursos naturais e no descarte de resíduos ao meio ambiente. Sendo assim, é esperado que as empresas tenham um compromisso com essa prática e busque alternativas para que esses dois pontos sejam mitigados. Dessa forma, estudos para reutilização desses resíduos na fabricação de produtos mostra ser uma boa alternativa. Portanto, este trabalho busca apresentar uma forma de reutilizar o resíduo da indústria de cerâmica, pó da retífica, originado na etapa de retífica, para a produção de argamassas por meio da substituição em escalas de até 20%. A substituição da argamassa pelo pó da retífica tem influência em suas propriedades físicas e químicas. Por esse motivo, as amostras passaram primeiro por ensaios de caracterização e, depois, por uma avaliação dos resultados de resistência à tração, tudo em escala laboratorial. As argamassas testadas utilizando pó da retífica em sua composição apresentaram resultados positivos, mostrando ser uma alternativa viável para consumo. Os benefícios obtidos nos ensaios estão ligados principalmente ao tamanho pequeno de suas partículas: quanto menor a granulometria do pó na amostra, maior será sua resistência.

**Palavras-chave:** resíduo, argamassa, revestimento cerâmico.

## ABSTRACT

The construction sector has a great influence on the consumption of natural resources and the disposal of waste to the environment, so it is expected that companies have a commitment to this practice and seek alternatives so that these two points are mitigated. In this way, studies for the reuse of these residues in the manufacture of products proves to be a good alternative. Therefore, this work seeks to present a way to reuse the residue from the ceramic industry, grinding powder, originated in the grinding stage, for the production of mortars, through substitution in scales of up to 20%. The replacement of the mortar by the grinding powder has an influence on its physical and chemical properties, for this reason, the samples first underwent characterization tests, and then, an evaluation of the tensile strength results, all on a laboratory scale. The mortars tested using grinding powder in their composition showed positive results, proving to be a viable alternative for consumption. The benefits obtained in the tests are mainly linked to the small size of its particles, the smaller the particle size of the powder in the sample, the greater its resistance.

**Keywords:** Residue, mortar, ceramic coating.

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil é um dos segmentos de mercado que mais movimentam a economia e geram emprego no mundo, seja por meio dos produtos ou serviços relacionados ao setor. Os produtos produzidos para esse seguimento, em sua grande maioria, utilizam recursos não renováveis, que ao longo dos anos de extração vão tornando esses recursos cada vez mais raros

na natureza. Além do dano ambiental gerado por essa prática, as indústrias são obrigadas a pagar mais caro por essas matérias-primas (Barboza et al., 2020).

Além disso, as indústrias que abastecem o mercado da construção civil são grandes geradoras de resíduo. Dessa forma, empresas que não encontram uma forma de reutilizar seus resíduos são forçadas a ter mais um gasto referente a seu descarte. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (Anfacer), apenas em 2018 só as indústrias de revestimentos cerâmicos produziram aproximadamente 694,5 milhões de m<sup>2</sup> de placas cerâmicas e estima-se que o resíduo gerado por essa produção seja entre 3 a 7% (Barboza et al., 2020).

Logo, devido à preocupação com alto custo e da sustentabilidade da produção desses produtos, fez-se necessário o estudo de medidas alternativas na utilização de novos insumos, como a reutilização de subprodutos e resíduos.

O pó da retífica, um resíduo originado na etapa de retífica de revestimentos cerâmicos, foi o material escolhido para realização deste estudo, com o intuito de apresentar uma alternativa de consumo que não fosse no próprio processo de fabricação de revestimentos cerâmicos. O seguimento escolhido para sua utilização foi o da argamassa.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CERÂMICA**

Por definição geral, um material cerâmico pode ser definido como o resultado físico de matérias-primas inorgânicas que são submetidas a um processo envolvendo calor ou calor e pressão. Do ponto de vista químico, materiais cerâmicos são constituídos por ao menos um elemento metálico e um não metálico ou dois não metálicos. Exemplos de possíveis combinações simples são: SiO<sub>2</sub> (Sílica); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alumina); Na<sub>2</sub>O (Óxido de Sódio); MgO (Óxido de Magnésio); e estruturas mais complexas como 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O (mulita) e Na<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub> (Albita). Vale ressaltar ainda que os átomos de materiais cerâmicos apresentam ligações iônicas (átomo metálico com átomo não metálico) e covalentes (dois átomos não metálicos).

Dessa forma, as características do material cerâmico dependem essencialmente da combinação dos elementos utilizados em sua composição e da sequência de processamentos atribuídos a ele (Oliveira, Hotza, 2015).

## 2.2 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Segundo Oliveira e Hotza (2015), a cerâmica é também empregada como revestimento, e nesse contexto ela é produzida essencialmente por materiais que compõem o substrato do produto, responsável por atribuir características de resistência a carga e ao impacto. E, ainda, como vitrocerâmicos que são utilizados em esmaltes para impermeabilizar o substrato e melhorar a resistência ao desgaste abrasivo, o que aumenta sua vida útil (Oliveira, Hotza, 2015).

Vale ressaltar que os revestimentos são classificados de acordo com seu acabamento superficial, em esmaltado e não esmaltado, pelo método de conformação, que pode ser por extrusão, por prensagem e por colagem ou outras técnicas. E, ainda, pelo grupo de absorção d'água. O Quadro 1 demonstra as classificações do revestimento cerâmico esmaltado (ABNT NBR ISO 13006, 2020).

Quadro 1 - Codificação dos grupos de absorção d'água em função dos métodos de fabricação de acordo com a ABNT NBR ISO 13006, 2020.

Absorção de água (%)	Métodos de fabricação		
	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
Abs ≤ 0,5	AI	Bla	CI
0,5 < Abs ≤ 3		Blb	
3 < Abs ≤ 6	Alla	BIIa	CIIa
6 < Abs ≤ 10	Allb	BIIb	CIIb
Abs > 10	AIII	BIII	CIII

Fonte: ABNT NBR ISO 13006, 2020

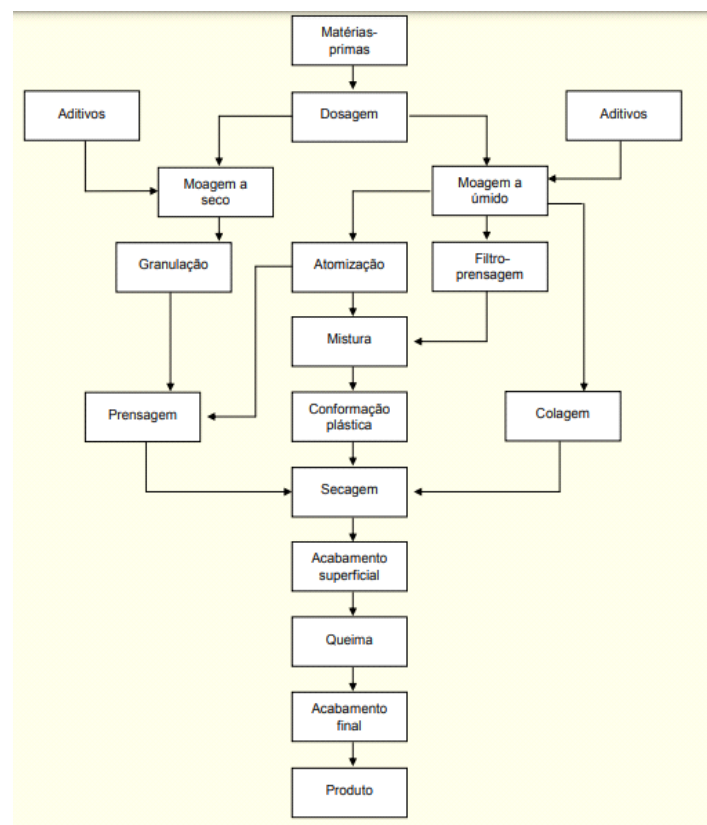
Segundo a norma de placas cerâmicas, ABNT NBR ISO 13006, 2020, o produto Bla é definido como porcelanato, uma placa totalmente vitrificada, com índice de absorção d'água igual ou inferior a uma fração de massa de 0,5%.

Já as placas cerâmicas classificadas como BIII são comumente chamadas de monoporosa, em que apresentam um índice de absorção d'água acima de 10%. Essas são recomendadas para serem utilizadas como revestimentos de parede (azulejo) justamente por possuírem alto índice de absorção d'água e, portanto, resistência mecânica reduzida (INMETRO, 1998).

### 2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Além da composição química das matérias-primas, as características do produto dependem significativamente dos parâmetros tecnológicos e métodos adotados ao longo do processo de fabricação (Figura 1). Na definição das condições operacionais de um determinado processo, é fundamental levar em consideração os aspectos tecnológicos, a natureza física e química e os parâmetros de trabalho nas etapas do processo (Oliveira, Hotza, 2015).

Figura 1 - Fluxograma genérico do processo de fabricação de revestimentos.



Fonte: Oliveira, Hotza, 2015

Segundo Oliveira e Hotza (2015), as matérias-primas a serem utilizadas na composição da massa devem ser dosadas, baseando-se nas propriedades físicas necessárias para produção e características esperadas no produto final.

Destaca-se, ainda, os dois processos de moagem: a seco, em que não se utiliza água para a trituração das matérias-primas, e a úmido, em que se processa com a presença de água. Os dois métodos apresentam vantagens e desvantagens, segundo Oliveira e Hotza (2015). Logo, a escolha final do processo é uma questão tanto técnica quanto econômica e depende de uma série de fatores, como:

- Escala produtiva;
- Capacidade de investimento inicial;
- Equipamentos e processos já existentes;
- Características das matérias-primas disponíveis;
- Características desejadas do produto.

Ressalta-se, ainda, que na etapa de acabamento superficial, a placa recebe a decoração e aplicação do esmalte, responsável por atribuir características como brilho, textura e tonalidade do produto. Já na etapa do acabamento final, o produto já queimado passa pelos processos de retífica e polimento, agregando ao produto um aperfeiçoamento dimensional e um aumento de seu brilho, respectivamente (Oliveira, Hotza, 2015).

### • **2.3.1 Retífica**

A retificação do revestimento cerâmico é uma etapa do acabamento final do processo, onde o material é submetido a uma ação de desgaste gerado por abrasivos diamantados, conhecidos como rebolos, devido sua dureza e condutividade térmica (Fujita et al., 2006). Segundo o mesmo autor, o processo de retificação é exposto como a interação do material abrasivo dos rebolos com a peça.

Acrescenta-se que o atrito entre a peça e o rebolo faz com que ele sofra alterações em sua microtopografia, que é o desnivelamento do disco, causados pela remoção do composto do rebolo (liga e grãos abrasivos). Esse desgaste é influenciado pela força atuante, tipo de grão e velocidade do rebolo. Juntamente com o material do rebolo removido, é gerado um resíduo sólido



originado do desprendimento de material cerâmico da placa retificada (Fujita et al., 2006).

- **2.3.2 Resíduos sólidos**

De acordo com a norma ABNT NBR 10004 (2004), resíduos no estado sólido e semi-sólido são resultado de atividades de origem de indústrias, residências, hospitais, comércio, agricultura e demais serviços. Sua classificação está relacionada a identificação do seu processo ou atividade primária, além de suas características, seus constituintes e a comparação desses elementos com listagens de resíduos e substâncias cujos impactos tanto à saúde quanto ao meio ambiente são conhecidos (ABNT, 2004).

De acordo com o art. 9º da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, essa prática deve ser observada com a ordem de prioridade: não geração; redução; reutilização; reciclagem; tratamento dos resíduos sólidos; e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos, sendo eles: classe I (perigosos) e classe II (não perigosos), em que o segundo é subdividido em não inerte (IIA) e inerte (IIB) (ABNT, 2004).

Os resíduos sólidos originados de atividades envolvendo materiais cerâmicos são classificados como classe II - B não perigosos inertes, ou seja, não são inflamáveis, não sofrem qualquer tipo de reação física ou química, nem afetam negativamente outras substâncias que entrem em contato com esse tipo de resíduo (ABNT NBR 10004, 2004).

- **2.3.3 Pó da retífica**

O pó da retífica é um resíduo sólido originado do processo de desgaste entre a placa cerâmica, massa e esmalte, e os rebolos abrasivos, metais e liga de polímero, da fabricação da cerâmica de revestimento. Vale ressaltar que esse material é capturado por um sistema de exaustão, transportado por meio de veículo adaptado e armazenado em um pátio (Fujita et al., 2006).

Segundo o mesmo autor, esse material pode ser reutilizado no processo de fabricação da cerâmica, dependendo da quantidade de contaminante (resíduo do abrasivo) presente. Além disso, o pó da retífica pode ser utilizado na composição de produtos de outros segmentos, por exemplo, cimento e argamassa.

Para a utilização de forma segura em outros produtos, o pó da retífica precisa passar por ensaios de avaliação de suas características. Dentre esses ensaios, destaca-se a importância do controle de umidade por meio do ensaio de determinação de umidade, conforme norma ABNT NBR 6457 (2016). Além desse, outro controle importante é a determinação da composição química do pó da retífica, obtido por meio da análise química por fluorescência de raio-X (FRX) regido pela norma brasileira ABNT NBR ISO 12677 (2014). Ressalta-se, ainda, a relevância do controle do tamanho das partículas por meio do ensaio de análise de tamanho de partícula pelo método de difração a laser, conforme ISO 13320 (2020).

#### **2.4 ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA**

A argamassa é uma mistura homogênea no estado seco, composto por cimento Portland e agregados minerais moídos, podendo eventualmente conter adição de aditivos químicos para melhorar suas propriedades (ABNT NBR 14081-4, 2012). Dentre os agregados minerais moídos, pode ser utilizado matérias-primas próprias para a produção da argamassa, assim como coprodutos originados de processos de outro segmento, como pó da retífica da fabricação da cerâmica (Barboza et al., 2020).

Esse aglomerado é usado em uma mistura com água, onde é formada uma massa viscosa, plástica e aderente, utilizada no assentamento de placas cerâmicas para revestimentos (ABNT NBR 14081-4, 2012). Segundo a norma ABNT NBR 14081-4 (2012), a argamassa pode ser classificada em:

- Argamassa colante industrializada – AC I: apresentam características de resistência à influência mecânica e termoigrométricas, típicas de revestimentos internos;

- Argamassa colante industrializada – AC II: apresentam características de adesividade que permite absorver os esforços mecânicos em revestimentos de pisos e paredes tanto internos quanto externos;
- Argamassa colante industrializada – AC III: apresentam uma aderência mais elevada com relação aos tipos I e II. (ABNT NBR 14081, 2004);
- Para o controle de qualidade da argamassa, são realizados testes para comprovar a qualidade do produto fabricado, descritos na norma ABNT NBR 14081 (2004). Por exemplo, o ensaio de determinação da resistência de aderência à tração.

## 2.5 ENSAIOS

### • 2.5.1 Determinação de umidade

A análise do teor de umidade consiste na determinação do percentual de água, em peso, presente em uma amostra. Um dos métodos que podem ser utilizados é o de determinação do teor de umidade de solos, prevista na norma ABNT NBR 6457 (2016), onde são definidos os padrões e os métodos a serem seguidos (ABNT NBR 6457, 2016).

Segundo a norma ABNT NBR 6457 (2016), para definição dos resultados do ensaio é realizada a coleta dos materiais, que são homogeneizados e depois separados em amostras. Essas amostras são pesadas em um equipamento de medição calibrado, com capacidade nominal e resolução compatíveis. A pesagem é feita utilizando capsulas metálicas como recipiente que será considerado no cálculo de teor de umidade. Após pesado, o material precisa ser secado e pesado novamente.

A determinação do teor de umidade é obtida utilizando a Equação 1:

$$(1)$$

Em que,

W é o teor de umidade, expresso em porcentagem (%)

M1 é a massa da amostra úmida mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g)

M2 é a massa da amostra seca mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g)

M3 é a massa do recipiente (capsula metálica), expressa em gramas (g)

- **2.5.2 Análise química (FRX)**

As diretrizes do ensaio de análise química por fluorescência de raio-X (FRX) são regidas pela norma brasileira ABNT NBR ISO 12677 (2014). Esse é um método qualitativo e quantitativo realizado para identificar os elementos químicos presentes em um determinado produto e seus percentuais. Esse método se destaca por ser uma forma rápida para obtenção de resultados, por não destruir a matriz e por seu baixo custo operacional (Börjesson et al., 2003).

A FRX consiste na produção e na detecção de raios-X, gerados pelo fenômeno fotoelétrico, emitidos pelos elementos presentes na amostra. Isso ocorre quando essa é irradiada com elétrons, prótons, raios-X ou gama com energias apropriadas. A radiação eletromagnética emitida interage com a amostra, podendo ocorrer absorção, emissão e espalhamento de radiação eletromagnética (Skoog et al., 2009). Como resultado, há um abuso de energia no processo, que é manifestado na forma de emissão de raios-X característicos de cada átomo presente na amostra (Jenkins, 1999).

- **2.5.3 Análise de tamanho de partículas – método de difração a laser**

A técnica de difração a laser ISO 13320 (2020) é o método mais usado para determinação da distribuição do tamanho de partículas. O sucesso da técnica se baseia no fato de que pode ser aplicada a uma grande variedade de sistemas de partículas, além de ser rápida e poder ser automatizada (ISO 13320, 2020).

Segundo a norma ISO 13320 (2020), a resolução do teste descreve a habilidade de medir e identificar, significativamente, partículas de tamanhos aproximados, apresentando uma curva com a dispersão da amostra. O sistema consiste em uma fonte de luz monocromática, um alimentador simples, um sistema óptico, detectores de luz e um dispositivo de cálculo de controle. Para

estender a faixa aplicável de tamanho de partícula e sua análise, fontes de luz múltipla, sistemas de detenção de luz adicionais e sistemas ópticos relacionados podem ser usados.

Preparar uma amostra representativa, com volume adequado, para o teste de medição é necessário usar uma técnica adequada de separação de amostra. Pequenas amostras podem ser retiradas de uma pasta homogênea de partículas em um líquido. A pasta é formada, adicionando dispersante à amostra gota a gota, misturando-a com a espátula. Uma boa consistência para a pasta é semelhante ao mel ou a pasta de dente. A consistência da pasta influencia nos resultados (ISO 13320, 2020).

#### • **2.5.4 Determinação da resistência de aderência à tração**

A norma ABNT NBR 14081-4 (2012) define um método para determinação à resistência à aderência entre a placa cerâmica e a argamassa colante, medida por meio de arrancamento por tração.

Para a realização do ensaio, deve-se estender a argamassa na direção longitudinal sobre uma superfície e, após cinco minutos, posicionar dez placas cerâmicas sobre a argamassa estendida, respeitando uma separação de aproximadamente 50mm entre as placas. Na etapa de cura normal, o material precisa ser submetido, durante 28 dias, às condições de temperatura do laboratório descritas na ABNT NBR 14081-2 (ABNT NBR 14081, 2012).

Após o tempo de cura, realiza-se o ensaio de arrancamento por tração manual, aplicando carga a uma velocidade uniforme de  $(250 \pm 50)$  N/s até a ruptura, e avaliar sua a classificação, podendo ser:

- Ruptura do substrato;
- Ruptura da interface argamassa e substrato;
- Ruptura da camada de argamassa colante;
- Ruptura da interface argamassa e placa cerâmica;
- Ruptura da placa cerâmica;

- Falha de colagem da peça metálica.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

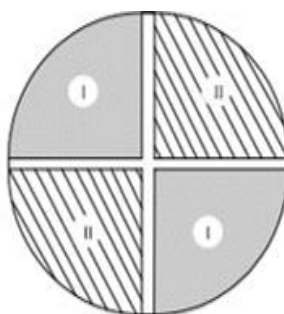
#### 3.1 AMOSTRAGEM

O processo de amostragem é tão importante quanto o próprio ensaio em si, devendo, por isso, serem adotadas as devidas precauções. É necessário que se obtenham amostras representativas em relação à natureza do material e suas características.

Para este trabalho, foram recolhidas amostras do coproduto cerâmico, pó da retífica, de dois processos diferentes, um da produção de produtos BIa e outro da produção de produtos BIII. A fim de coletar uma amostra representativa de todo material armazenado no pátio, seguiu-se os padrões pré-estabelecidos pela norma DNER - PRO 120/97 (NBR 7216). Vale ressaltar que foi recolhido uma amostra de 50kg do resíduo de cada processo utilizando recipientes livres de qualquer contaminante.

Para realização dos ensaios de caracterização em níveis laboratoriais, a amostra foi reduzida utilizando a técnica de quarteamento de acordo com a NBR NM 27 (2001), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Divisão da amostra: (I) partes aproveitadas; (II) partes descartadas.



Fonte: DNER (1997)

#### 3.2 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

Com o objetivo de identificar os materiais estudados, foram realizados ensaios para determinar as características do pó da retífica, da argamassa e das matérias-primas que a compõem.

Para a caracterização do pó da retífica e da argamassa, foram realizados os ensaios de determinação do teor de umidade, análise química e análise do tamanho de partícula. Já para a caracterização das matérias-primas da composição da argamassa, foi realizado o ensaio de análise química.

O ensaio de determinação do teor de umidade é regido pelas diretrizes da norma ABNT NBR 6457 (2016). Para determinar o teor de umidade das amostras do pó da retífica dos dois produtos e da argamassa, os materiais coletados foram homogeneizados e depois separados em três amostras cada contendo 30g, conforme Figura 3.

Figura 3 – Amostras para ensaio de determinação de umidade.



Fonte: Autor (2021)

Essas foram pesadas em balança com capacidade nominal de 200g e resolução de 0,01g, utilizando capsulas metálicas como recipiente, anotando-os como M1. Após a pesagem, o material foi levado para a estufa por 24 horas a uma temperatura de 105°C a 110°C. Posteriormente, as amostras foram retiradas da estufa e transferidas para um dessecador até atingirem a temperatura ambiente e, em seguida, pesadas novamente M2. As capsulas metálicas utilizadas como recipiente também foram pesadas e anotadas como M3. Por fim, foi feito o cálculo usando a Equação 1, a partir das massas obtidas, para encontrar o resultado, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados das massas obtidas.

Identificação Pó da retífica	Massa (g)		
	Antes da secagem (M1)	Após secagem (M2)	Recipiente metálico (M3)

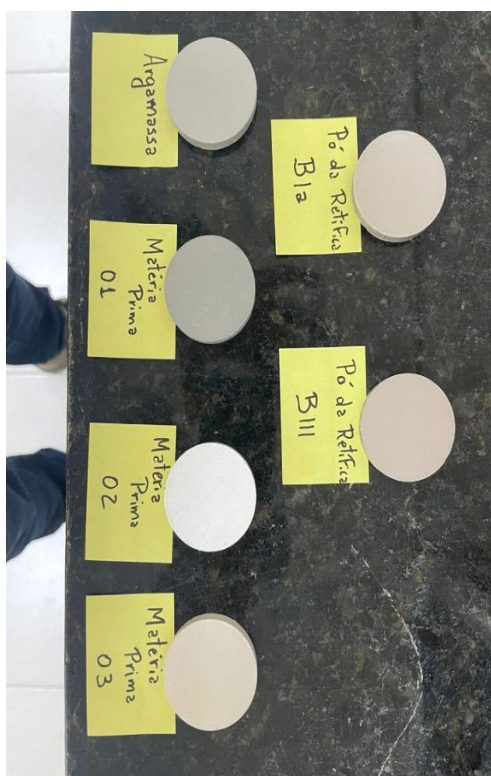
Bla - Amostra 1	30,00	29,65	3,02
Bla - Amostra 2	30,00	29,62	3,04
Bla - Amostra 3	30,00	29,61	3,01
BIII - Amostra 1	30,00	29,70	3,02
BIII - Amostra 2	30,00	29,67	3,00
BIII - Amostra 3	30,00	29,65	3,02
Argamassa - Amostra 1	30,00	29,04	3,02
Argamassa - Amostra 2	30,00	29,11	3,01
Argamassa - Amostra 3	30,00	29,01	3,00

Fonte: Autor, 2021

Os ensaios de análise química por fluorescência de raio-X (FRX) são regidos pela norma brasileira ABNT NBR ISO 12677 (2014). Para realização dos ensaios, foram utilizadas amostras do pó de retífica do produto Bla, do pó da retífica do produto BIII, da argamassa e das matérias-primas que a compõem.

Inicialmente, uma porção de aproximadamente 300g de cada amostra, foram secadas por oito horas em estufa, com temperatura até 110°C. Após isso, os materiais foram pesados em balança com capacidade nominal de 200g e resolução de 0,01g, a quantidade de 20g de cada material e adicionado 1g de resina para que fosse possível a conformação dos corpos de prova em prensa hidráulica a 30 bar e identificados, conforme a Figura 4:

Figura 4 – Corpos de prova das amostras conformados.



Fonte: Autor (2021)



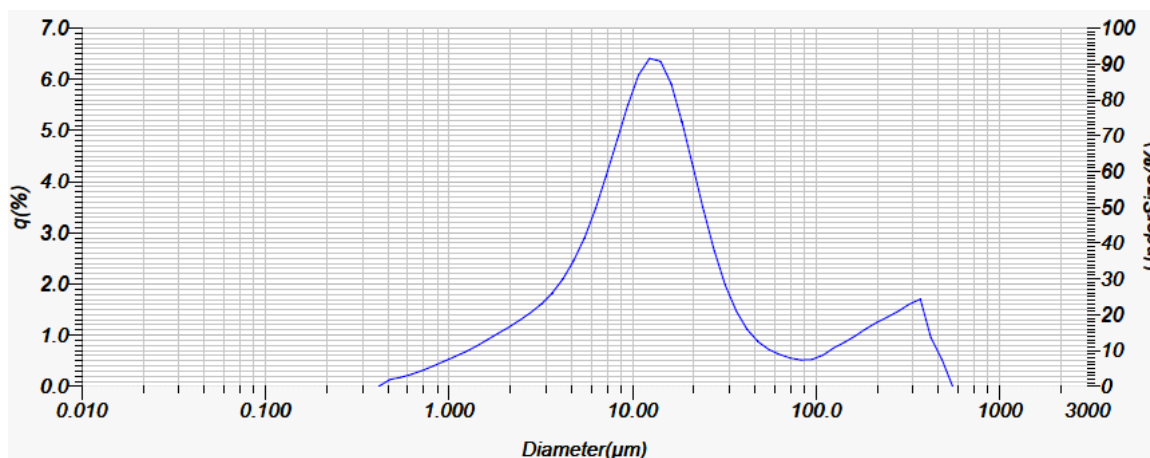
Após tais procedimentos, os corpos de prova foram posicionados no equipamento Epsilon 3X, marca Malvern Panalytical, e, três horas mais tarde, seus resultados foram obtidos.

O ensaio de análise de tamanho de partícula, pelo método de difração a laser, é regido pela norma ISO 13320 (2020), que determina uma curva distribuição dos tamanhos das partículas da amostra.

Para realização desse ensaio, foi aproveitado o restante das amostras secas utilizadas no ensaio de determinação de análise química. Inicialmente, foram preparadas três amostras de cada um dos materiais analisados, pó de retífica do produto Bla, pó da retífica do produto BIII e argamassa. Para isso, foi pesado em balança com capacidade nominal de 200g e resolução de 0,01g, a quantidade de 100g por amostra e adicionado 20% de água. Após isso, as amostras foram homogeneizadas em agitador mecânico por três minutos a fim de garantir a textura adequada para a leitura no equipamento modelo LA-950 da marca Horiba.

Após a finalização desse ensaio, uma curva com a distribuição do tamanho das partículas é gerada, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Distribuição do tamanho de partícula da amostra de argamassa.



Fonte: Autor (2021)

### 3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

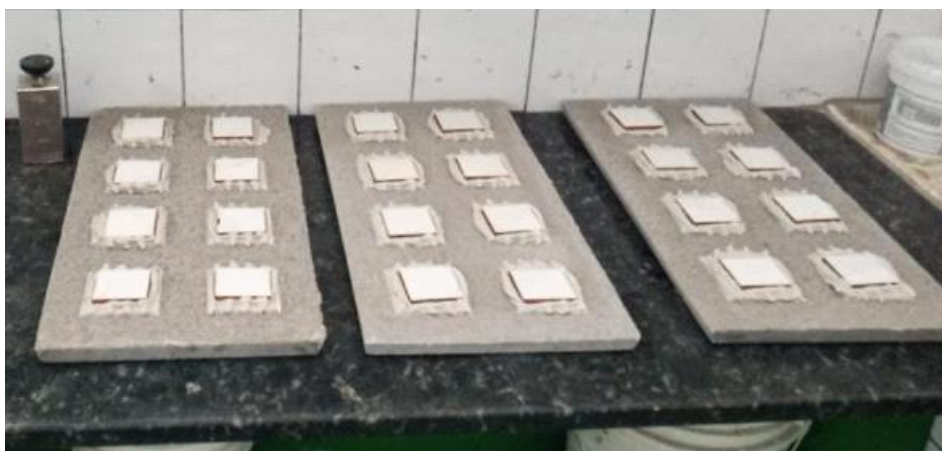
Levando em consideração os valores de caracterização encontrados em laboratório, foram formulados testes diluindo o pó da retífica em escala de 2%,

5%, 10% e 15% na formulação e realizado o teste para determinar a resistência a tração. Conforme norma ABNT NBR 14081-4 (2012), a tensão de ruptura deve ser no mínimo de 0,3 Mpa.

No teste 1, foi substituído argamassa pelo pó da retífica do produto Bla, seguindo as escalas de percentual descritas acima. No teste 2, foi substituído argamassa pelo pó da retífica do produto BIII, nas mesmas escalas. No teste 3, o pó da retífica do produto BIII substituiu o material da composição da argamassa que apresentou características mais semelhantes a ele.

Com as amostras preparadas, foram realizados os ensaios de determinação da resistência de aderência à tração, conforme norma ABNT NBR 14081-4 (2012), em que se determina as diretrizes para a avaliação por meio de arrancamento por tração. Para isso, foi utilizado uma placa de concreto, e em sua superfície, dois corpos de prova de cada teste foram submetidos ao ensaio, conforme a Figura 4:

Figura 4 – Placa de concreto com os corpos de prova.



Fonte: Autor, 2021

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 DETERMINAÇÃO DE UMIDADE**

Inicialmente, a partir dos processos de coleta do material e redução para determinação das amostras para o ensaio, obteve-se valores das amostras antes e depois da secagem em estufa e do recipiente metálico utilizado.

Utilizando as massas, foi possível identificar o teor de umidade, conforme apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores obtidos no ensaio.

Identificação Pó da retífica	%
	Teor de umidade
Bla - Amostra 1	1,17%
Bla - Amostra 2	1,27%
Bla - Amostra 3	1,30%
BIII - Amostra 1	1,00%
BIII - Amostra 2	1,10%
BIII - Amostra 3	1,17%
Argamassa - Amostra 1	3,20%
Argamassa - Amostra 2	2,97%
Argamassa - Amostra 3	3,30%

Fonte: Autor, 2021

A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que as amostras apresentam um baixo teor de umidade em relação aos resultados das amostras da argamassa.

Pelo fato de a argamassa passar por um processo de moagem a seco, os resultados de umidade apresentados pelo pó da retífica dos dois produtos demonstram que não haveria um custo extra de secagem para sua utilização.

## 4.2 ENSAIO DE ANÁLISE QUÍMICA

A partir dos processos descritos anteriormente, foi possível caracterizar as amostras quanto a sua composição química. O Quadro 4 apresenta os resultados obtidos do ensaio em questão.

Quadro 4 – Resultados do ensaio de análise química.

ANÁLISE QUÍMICA (%)						
Óxidos Constituintes	Argamassa	Pó Retífica Produto Bla	Pó Retífica Produto BIII	MP1	MP2	MP3
Na <sub>2</sub> O	0,62	1,31	1,36	0,42	-	-
MgO	2,51	2,23	1,43	1,33	4,91	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,04	16,59	17,58	5,90	0,82	2,49
SiO <sub>2</sub>	49,14	69,06	67,68	21,90	6,02	96,13
SO <sub>3</sub>	2,44	0,34	0,09	0,34	-	-
Cl	0,17	0,05	0,27	-	-	-
K <sub>2</sub> O	0,36	4,38	3,81	0,26	0,11	0,06
CaO	33,97	2,35	3,59	61,98	47,27	-
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,62	0,60	-	0,06	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,15	2,50	2,47	2,75	0,55	0,89
ZnO	-	0,11	0,53	-	-	-
BaO	-	-	0,05	-	-	-
Perda ao	2,80	0,45	0,52	4,71	39,94	-

fogo						
------	--	--	--	--	--	--

Fonte: Autor, 2021

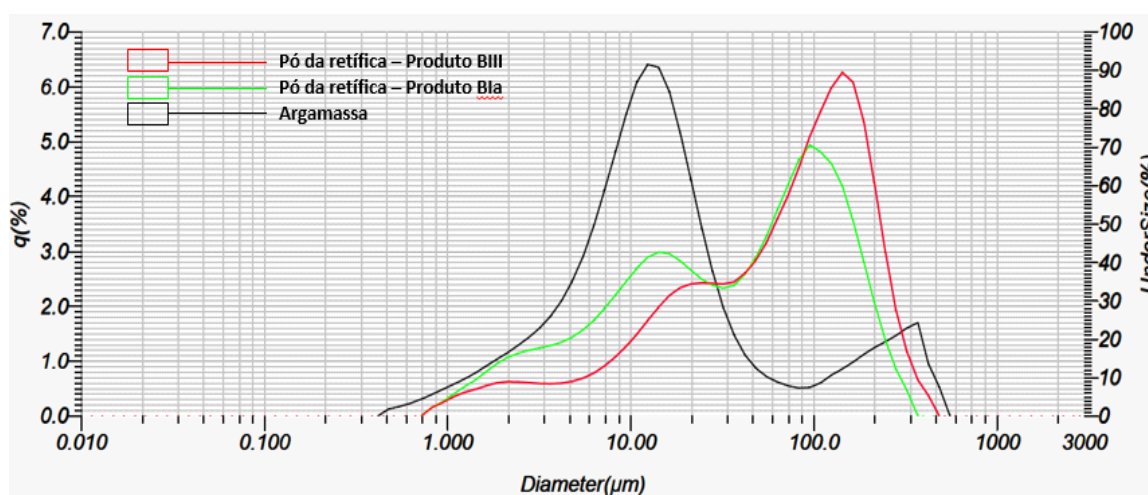
A análise foi importante para observar a composição química dos materiais estudados, e baseado em suas similaridades, reforçar a confiabilidade para a garantia da qualidade do produto final, já que grande parte de suas características após aplicação é concebida pela composição química do produto.

Além disso, o nível elevado de SiO das amostras do resíduo beneficiam a argamassa pela diminuição da capilaridade e aumentam a densificação, que devido a seu formato esférico das partículas e por serem mais finas, preenchem os espaços deixados pela hidratação (Vaske et al., 2008).

### 4.3 ENSAIO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Com os resultados obtidos por meio desse ensaio, foi possível determinar a distribuição do tamanho das partículas de cada amostra, e, assim, evidenciar a contribuição oferecida pelo tamanho da partícula no ensaio de aderência à tração. O Gráfico 2 apresenta uma comparação entres as curvas de distribuição de cada amostra.

Gráfico 2 – Curva da distribuição do tamanho de partículas das amostras.



Fonte: Autor (2021)

Os resultados obtidos das amostras de pó da retífica dos produtos Bla e BIII apresentaram uma distribuição com tamanhos de partículas menores, quando

comparados com os resultados da argamassa e as matérias-primas que a compõem.

Torgal e Jalali (2010) afirmaram que o tamanho da partícula influencia na resistência e na durabilidade da argamassa, pois com uma quantidade maior de partículas finas haveria um maior preenchimento dos espaços vazios, aumentando sua densidade, logo, reduzindo sua porosidade.

#### 4.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Com os dados obtidos por meio desse método e dos ensaios realizados anteriormente, foi possível identificar a influência que os resultados de caracterização dos materiais apresentaram em relação à aderência à tração. O Quadro 4 mostra os valores encontrados nesse ensaio.

Os valores encontrados para a resistência de aderência à tração estão dentro dos limites descritos pela norma ABNT NBR 14081-4 (2012), que determina uma resistência acima de 0,3Mpa. Dessa forma, é possível afirmar que os resultados deste estudo foram satisfatórios para todas as amostras.

Quadro 4 – Resultados de aderência à tração obtidos.

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Mpa)						
Corpo de Prova	Argamassa (Padrão)	Escala de diluição	Corpo de Prova	Argamassa c/ Pó prod. Bla	Argamassa c/ Pó prod. BIII	Argamassa subst. Cimento Portland por Pó prod. BIII
CP 1	0,43	2%	CP 1	0,44	0,44	0,42
CP2	0,43	2%	CP2	0,43	0,44	0,43
		5%	CP 1	0,44	0,45	0,43
		5%	CP2	0,44	0,44	0,43
		10%	CP 1	0,46	0,48	0,45
		10%	CP2	0,47	0,48	0,45
		15%	CP 1	0,50	0,53	0,46
		15%	CP2	0,50	0,52	0,47

Fonte: Autor (2021)

Vale ressaltar, também, que a mistura não apresentou variações consideráveis na composição inicial, como cor e aspecto. Além disso, todos os ensaios apresentaram um teor de umidade mais baixo, havendo possibilidade de atuar no processo de fabricação a fim de reduzir o custo de fabricação. Como o estudo não visa o fator financeiro, essa análise não foi considerada.

## 5. CONCLUSÃO

A busca por alternativas para a utilização dos resíduos industriais é um grande desafio enfrentado pelas indústrias na atualidade. Os custos de armazenamento, transporte e descarte, além do possível impacto ambiental causado por ele, podem trazer uma série de impactos negativos à corporação e ao meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade do resíduo do pó da retífica, originado na fabricação de cerâmica, para a fabricação de argamassa colante.

O resíduo estudado apresentou, de forma geral, bons resultados já na caracterização. Os ensaios de umidade, a análise química e a determinação do tamanho de partícula do pó da retífica demonstraram que sua utilização em condições naturais agrega qualidade ao produto final.

Na caracterização dos testes utilizando o pó da retífica dosado na argamassa, realizado por meio da determinação de resistência de aderência à tração, todos os testes apresentaram resultados que estão de acordo com a norma ABNT NBR 14081-4 (2012), sendo então consideradas alternativas viáveis.

Com os resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como os conhecimentos adquiridos durante o seu desenvolvimento, recomenda-se para trabalhos futuros:

Realização de teste em escala semi-industrial, para avaliar se os resultados são similares aos obtidos em escala laboratorial. Realização do teste de resistência à tração após intervalos de tempo de 15 dias, 30 dias, 6 meses e um ano, para analisar a influência do material em uma escala maior de tempo. Realização do estudo de viabilidade do produto.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 13006**: Placas cerâmicas – Definições, classificação, características e marcação. 2020, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. 2004, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457 Versão corrigida 2016**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2016, Rio de Janeiro.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 12677**: Análise química de produtos refratários por fluorescência de raios X (XRF) — Método do corpo de prova fundido. 2014, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081-4**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. 2012, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. 2000, Rio de Janeiro.
- BARBOZA, L. S. et al. **Estudo da viabilidade da utilização de resíduos de polimento e retificação de cerâmica para fabricação de argamassa**. Rio de Janeiro. 2020.
- BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. (pdf)
- FUJITA, H. et al. **Contribuição ao estudo da retificação abrasiva de materiais cerâmicos**. Associação Brasileira de Cerâmica, v. 52, n. 324, p. 269-275, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/8952>. Acesso em 29 set 2021. (pdf)
- International Organization for Standardization (ISO)*. **ISO 13320**: *Analyse granulométrique — Méthodes par diffraction laser*. 2020, Genebra.
- OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D.. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 2. ed.
- BORJESSON, J.; ISAKSSON, M.; MATTSSON, S. X-ray fluorescence analysis in medical sciences: a review. **Acta Diabetologica**, v. 40, n. 1, p. 39-44, 2003. (pdf)
- JENKINS, R. **X-Ray Fluorescence Spectrometry**. Nova York. 2 ed.1999. (pdf)
- SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, 5 ed. Porto Alegre: Bookman, p. 31-36; p. 317-342, 2009. (pdf)
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Revestimentos Cerâmicos (pisos e azulejos)**. Governo Federal do Brasil. 1998. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp?iacao=imprimir>. Acesso em: 01 out 2021
- TORGAL, F. P. JALALI, S. **A sustentabilidade dos Materiais de Construção**. 2 ed. Coimbra. 2010.
- VASKE, N. R. et al. **Aplicação da argamassa com adição de sílica ativa como material de reforço em elementos comprimidos de concreto**. Porto Alegre. 2008.