



FACULDADE VÉRTICE – UNIVÉRTIX
SOCIEDADE EDUCACIONAL GARDINGO LTDA. – SOEGAR

TRABALLHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO
ENGENHARIA MECÂNICA



MATIPÓ
2021-1

SUMÁRIO

AVALIAÇÃO DO CUSTO-BENEFÍCIO DA SUBSTITUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA TRADICIONAL POR PLACAS FOTOVOLTAICAS	1
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AR-CONDICIONADO PARA UMA ACADEMIA NA CIDADE DE SÃO PEDRO DOS FERROS	16
MANUTENÇÃO PREDITIVA EM INDÚSTRIA DE COMMODITIES AGRÍCOLAS	42

AVALIAÇÃO DO CUSTO-BENEFÍCIO DA SUBSTITUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA TRADICIONAL POR PLACAS FOTOVOLTAICAS

Acadêmicos: Abraão Emerick Melo
Vitor Santos dos Reis

Orientador: Esp. Carlos Eduardo Marques Cerqueira
Coorientador: D.Sc. Rieder de Oliveira Neto

RESUMO

O estudo objetivou a análise comparativa entre dois métodos de fornecimento de eletricidade, a fim de determinar e compreender as relações de cada fonte de energia. O desenvolvimento do estudo, foi baseado em levantamento de dados de uma propriedade privada, que oferece serviços de hotelaria, em que foram verificados os processos realizados, desde a obtenção, implementação e a comparação de custos entre os métodos de energia elétrica comum e sua substituição por energia fotovoltaica. As placas foram fornecidas por empresa privada, a instalação do sistema fotovoltaico, foi adicionado em solo, a partir de aterramento SPDA individual, sendo dispostas em orientação a 24 graus referente ao norte. Foi realizada a comparação entre os custos e a projeção de preços futuros na obtenção da energia solar, assim como a perspectiva dos retornos da implementação do sistema fotovoltaico. Verificou-se que o uso de energia alternativa é uma possibilidade e oportunidade para a redução dos gastos com o consumo de energia. Demonstrando que o investimento em placas fotovoltaicas para o uso de energia, comparadas ao uso de energia elétrica tradicional é compensatório, a atratividade é demonstrada quando em 3,25 há o retorno total do valor do investimento, o que se compara a uma taxa anual de juros de 17,2%.

PALAVRAS-CHAVE: economia; energia alternativa; energia solar.

1. INTRODUÇÃO

A eletricidade é a forma de energia amplamente utilizada pela população Bittencourt (2011), sendo essencial para o desenvolvimento social e econômico de uma sociedade, é o recurso necessário para melhorar o padrão e qualidade de vida da população (AHLBORG, HAMMAR, 2011).

O sistema elétrico no Brasil é baseado em energia gerada por meio de reservatórios hídricos, em períodos secos outras fontes são utilizadas como as termelétricas, que determina um recurso oneroso e podem acarretar impactos na distribuição e consumo da população (DANNA, 2019).

Com o crescimento populacional há certa demanda global que apresenta fortes tendências ao aumento de consumo de energia, principalmente no quesito industrial, na qual, os países em desenvolvimento poderão sofrer com esse aumento do crescimento

populacional e das demandas energéticas, que não crescem na mesma proporção de oferta (REIS, VICHI e MELLO, 2014).

Shayani, Oliveira e Camargo (2006) já observaram a necessidade de ações estratégicas integradas às áreas econômicas, sociais e ambientais, dentre elas, as fontes de energia alternativas como os recursos fósseis, nucleares e solares.

As fontes de energia empregue por unidades e centros de consumos, apresentam impactos socioambientais, tendo a geração de energia descentralizada, o que torna atraente e apresenta perspectivas de implementação de novas fontes energéticas, como é o caso da energia solar (FEARNSIDE, 2015).

A energia solar a partir de células fotovoltaicas, é a conversão direta de radiação solar em eletricidade, que são a partir de sistemas fotovoltaicos acoplados em telhados e/ou arranjos independentes (BANG et al., 2000).

Com isso, o presente estudo objetivou a análise comparativa entre dois métodos de fornecimento de eletricidade, a fim de determinar e compreender as relações de cada fonte de energia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é uma das descobertas mais importantes, feita pelo homem, facilitando a vida da humanidade. A energia sempre existiu em várias formas naturais, como de raios e até mesmo em animais, mas para ser usada em grande escala, necessitou de aprimoramento (LIMA, 2019).

Os métodos de aperfeiçoamento, juntamente com o desenvolvimento de novas formas de geração e aproveitamento de energia, são frutos de descobertas e aplicação no cotidiano. Nesse contexto, paralelo a expansão populacional, há aumento na demanda energética caracterizando relação de dependência com o desenvolvimento da população (AMARAL, 2019). A geração de energia é crescente e apresenta constante incentivo para o aproveitamento de recursos disponíveis, tendo como fontes, as energias: solar, hidrelétrica, nuclear e eólica, que são transformadas em energia elétrica (MORAIS, 2015).

A capacidade de atender as crescentes demandas, principalmente nos países emergentes, levam em consideração, quando relaciona-se há uma oferta de energia elétrica, fatores como sustentabilidade, poluição ambiental, custo social e segurança energética. Os aspectos econômicos de um país, ainda continuam a exercer forte influência na definição da matriz energética, porém considerando os diversos fatores, surgem grandes investimentos nas fontes renováveis de energia (MORAIS, 2015).

2.2 PRINCIPAL FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Os tipos de energia utilizadas mundialmente na produção de energia elétrica são provenientes de fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural. As grandes dependências de fontes não renováveis de energia têm acarretado, além da preocupação permanente com o seu esgotamento, a emissão de gases tóxicos e poluentes e material particulado. Dos gases liberados para a atmosfera, o mais preocupante do ponto de vista mundial é o dióxido de carbono (FREITAS; DATHEIN, 2013).

No Brasil o processo de produção e desenvolvimento de energia é crescente e determina um período de desenvolvimento econômico incerto, em contrapartida, a demanda por energia elétrica tem crescido, sendo assim, é necessário destacar que o país possui um vasto potencial na produção de combustíveis fósseis e participa do grupo de países em que a produção de eletricidade é proveniente, na sua maior parte, de usinas hidrelétricas (consideradas limpas e renováveis) (MORAIS, 2015).

A grande parte da população brasileira, recebe acesso a recursos elétricos, porém de maneira insuficiente em sua maioria, não por recursos, mas por sua distribuição. Há uma abundância de recursos, que em muitos casos estão distantes de grandes centros urbanos, onde centralizam mais de 80% da população brasileira (O GLOBO, 2013).

2.3 CUSTO DO SISTEMA ELÉTRICO TRADICIONAL BRASILEIRO

A eletricidade consumida e distribuída para as moradias da grande massa da população compreende um aspecto relacionado a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia, que ganha relevância quando se aborda a missão da eletricidade para o aprimoramento da dinâmica de desenvolvimento de regiões e país (BORGES, 2021).

Consoante com Borges, Rodrigues e Oliveira (2017), o Brasil conta notadamente com uma fonte de produção de eletricidade com reduzidos custos relativos (hidrelétricas) por um aspecto; por outro aspecto, os custos de energia elétrica no Brasil são bastante elevados em relação ao de outros países. Historicamente a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão regulador relacionado a cobrança de tarifas cobradas pela distribuição de energia elétrica aos consumidores finais (MAGALHÃES *et al.*, 2018).

No contexto mundial, os custos de energia elétrica no país registravam em 2014 a 11ª colocação de mais onerosa no ranking das 28 nações (Firjan, 2014). No ano de 2015, o país passou para a 5ª colocação desta pesquisa de mais cara tarifa residencial. De acordo com a ANEEL (2015), a tarifa cobrada, junto as moradias, pela eletricidade no Brasil

registrou US\$ 174 por megawatt-hora, ultrapassado pelo Canadá (US\$ 107/MWh), seguido por Coreia do Sul (US\$ 110/MWh).

A ANEEL implementou o método de regulação por incentivos conhecido como preço-teto, nesse sentido, o órgão estipula um preço inicial limite a ser cobrado pela distribuição que permanece até o reajuste tarifário próximo, atualizando pelos índices gerais de preços menos um fator de produtividade fixado pela ANEEL (MAGALHÃES *et al.*, 2018). O regime de tarifas permite refletir os elementos de um mercado competitivo na tarifa, possibilitando que os retornos de produtividade sejam apropriados tanto pelas distribuidoras, quanto pelos consumidores. A composição de custos varia entre concessionárias, sendo o preço variável em cada distribuidora, a característica do mercado local, densidade dos consumidores, fatores na distribuição, entre outros, isso é significativo e demonstra as variações de preços regionais (DIEESE, 2007). As figuras 1 e 2 demonstram gráficos, que apresentam a variação de preço da energia elétrica em diferentes setores de consumo no Brasil e em Minas Gerais.

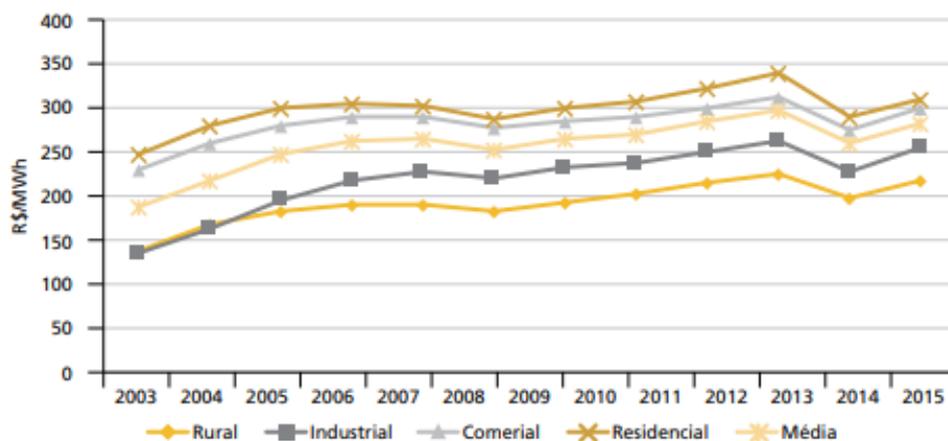


Figura 1: Evolução das tarifas médias de fornecimento por classe de consumo para o Brasil (2003-2015). (Valores correntes em R\$/MWh).

Fonte: ANEEL (2015).

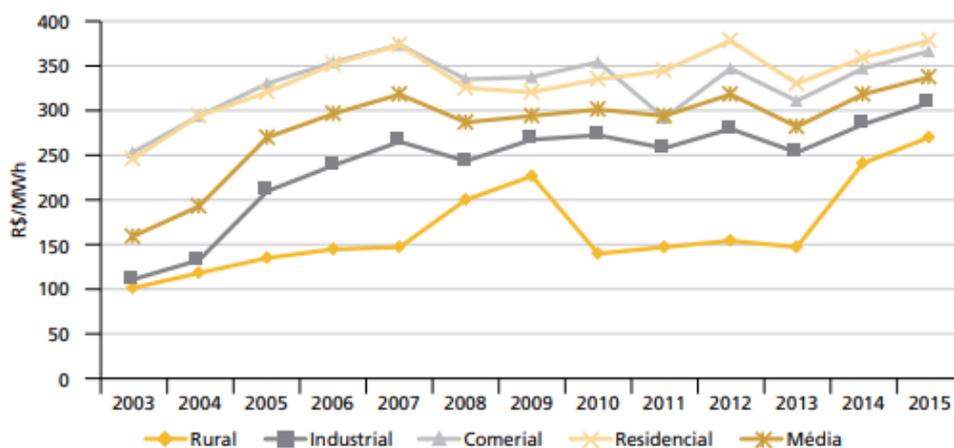


Figura 2: Evolução das tarifas médias de fornecimento por classe de consumo para Minas Gerais (2003-2015). (Valores correntes em R\$/MWh).
Fonte: ANEEL (2015).

O consumo de energia elétrica em Minas Gerais está concentrado no comércio, que responde por cerca de metade do gasto total em energia no estado. O outro grande usuário de energia são as famílias. O consumo residencial responde por quase 40% do gasto com energia.

2.4 PRINCIPAIS FONTES RENOVÁVEIS

O conhecimento relacionado a necessidade de expansão e diversificação da matriz energética nacional, motivada pelo crescimento e metas atingidas das experiências internacionais, justifica-se o interesse sobre o estudo de propostas que incentivem o crescimento da utilização das energias renováveis no Brasil (MORAIS, 2015).

As fontes renováveis de energia são determinadas por apresentarem recursos naturais capazes de se regenerar, considerados assim, inesgotáveis. Assim, diminuem o impacto ambiental, aproveitamento de sua matéria prima e redução de custos a longo prazo, se tornando uma fonte renovável energética atrativa e alternativa as utilizadas. Atualmente essas fontes são foco de estudos, na qual busca, minimizar os danos ao planeta, já que as fontes utilizadas contribuem aos danos ao meio ambiente, problemas ecológicos e aquecimento global (AZEVEDO, 2013).

A utilização de energias alternativas renováveis em substituição aos combustíveis fósseis é possível e favorável e apresenta fonte inesgotável. Além disso, apresenta-se inerte a composição atmosférica do planeta, conseqüentemente leva menor impacto ambiental e minimiza os efeitos do balanço térmico. Dentre as energias alternativas renováveis, as mais conhecidas são: a energia hidráulica, energia geotérmica, eólica, biomassa e energia solar (AZEVEDO, 2013).

Além disto, o país demanda de um rico e vasto potencial em fontes renováveis como a energia eólica e a solar, que segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL, o Brasil possui um potencial de energia eólica que pode ser aproveitado de 143 GW e apresenta ainda, regiões no território nacional que categorizam às melhores regiões do mundo por irradiação dos raios solares para geração de energia fotovoltaica (ANEEL, 2002).

2.5 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar apresenta avanços e recuos como fonte de energia, uma das formas de uso são pela capacidade de converter diretamente luz solar em energia elétrica, a partir de células fotovoltaicas. Apresentam-se como sistema promissor, com fonte sustentável e renovável energética (CARVALHO e CALVETE, 2010).

O método fotovoltaico utiliza uma célula solar, que é um aparelho conversor de luz solar em corrente elétrica, usando efeito fotoelétrico. Utilizando painéis solares foram desenvolvidos por Charles Fritts em 1883, que revestiu um semicondutor de selênio com uma camada fina de ouro para formar junções. Muitos estudos vieram desde então e há formas mais inovadoras de realizar essa condução, havendo formas mais simplificadas. É considerado um sistema inovador e na atualidade tem se tornado uma importante fonte de energia renovável (CARVALHO e CALVETE, 2010).

A produção do equipamento é predominantemente desenvolvida na Ásia, porém, seu uso é distribuído mundialmente. No ano de 2008 as vendas dos painéis solares totalizaram 5,6 gigawatts (GW), comparada a 2007 o aumento foi de 48%. Em 2009 houve um decréscimo nas vendas. Em 2010 foram publicados a partir da utilização de 7,1 GW, um aumento de 26%, 10,5 GW de novas instalações do sistema fotovoltaico (CARVALHO; CALVETE, 2010).

Atualmente existem vários exemplares de módulos produzidos, podendo ser rígidos ou flexíveis, de acordo com o tipo de célula empregada (PINHO e GALDINO, 2014). Em relação a fabricação dos painéis, a produção dos módulos solares tem tido incentivos governamentais, por meio de interferências fiscais e ambientais, com isso o aumento da produção dos componentes tem reduzido os custos da implementação do sistema.

2.6 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A forma de uso do sistema é a partir de painéis de energia solar, é um método já utilizado por algumas empresas e domicílios, esta fonte de energia apresenta um custo inicial importante, em 2007 o custo da eletricidade produzida por células solares

fotovoltaicas, representava 0,030 US\$/kWh, enquanto a eólica 0,005 US\$/kWh e do gás natural 0,003 US\$/kWh (CARVALHO; CALVETE, 2010).

Os valores relacionados à implantação do sistema fotovoltaico, é variável, varia desde o local a ser implantado, os materiais utilizados, quem oferece o serviço e a necessidade de cada local. A título de exemplo pode ser citado os valores para instalação determinados por uma empresa no estado do Pará, Brasil, que variaram entre R\$ 57.536,20 a R\$ 68.479,02 (SILVA, et al., 2019).

3. METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

O desenvolvimento do estudo foi baseado em um levantamento de dados de uma propriedade privada, que oferece serviços de hotelaria, localizado em Ubaporanga – MG, 19°64'24"S42°10'64"O. Foram verificados todos os processos realizados, desde a obtenção, implementação e a comparação de custos entre os métodos de energia elétrica tradicional e a substituição por energia fotovoltaica. A avaliação foi realizada no período de 01 de maio de 2019 a 30 de abril de 2021. A empresa responsável pela distribuição energética da cidade de Ubaporanga, Minas Gerais é a CEMIG, sendo a propriedade classificada como classe comercial monofásica, conforme art. 98. da resolução 414 da ANEEL. O custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente a: 1 – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores (CEMIG, 2021).

3.2 OBTENÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS

As placas instaladas no hotel foram dimensionadas pela empresa privada Miraiva Solar- Soluções em energia solar. O sistema fotovoltaico foi adicionado em solo a partir de aterramento SPDA individual, sendo dispostas em orientação a 24 graus referente ao norte.

Foram utilizados 44 módulos fotovoltaicos Q-cells, 1 inversor fronius com potência de 15,02 KWp, estimando a base de consumo local de 1750 kWh/mês, em uma área de 90 m², já que o local apresenta 40 quartos com banheiro dispendo de 20 m², 100 m² de lavanderia, 40 m² de refeitório, 30 m² de cozinha e 20 m² recepção, perfazendo um total de 1000 m² de área construída.

No dimensionamento da área dos painéis fotovoltaicos foi utilizada a formula de Suzuki e Rezende (2013).

3.3 CUSTOS E ANÁLISES ECONÔMICAS

A avaliação foi realizada em um período de dois anos (2019-2021), sendo feita a comparação média anual. De maio de 2019 a abril de 2020 a verificação sem a instalação das placas fotovoltaicas verificando a média anual em kWh/mês, e de maio de 2020 a abril de 2021, com a instalação e a média anual em kWh/mês.

A relação econômica financeira (R\$), visando comparar os dados obtidos foram realizados a partir de cálculos de verificação do custo da eletricidade produzida (EPC- Electricity Production Cost) pela fórmula, segundo Neto (2021):

$$A = \text{Custo (anual)} \cdot \left[\frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \right]$$

Determinando “A” como anuidade, “i” como a taxa anual de juros que o investimento será sujeito, sendo utilizada as taxas de 8 e 10%, adaptado de Neto (2021) e o tempo de operação da planta em anos (período de amortização) “t”.

Para encontrar o EPC a fórmula será, segundo Neto (2021):

$$EPC = \frac{A + f \cdot \text{Custo (anual)}}{W_{liq} \cdot H}$$

Sendo “A” o resultado obtido da fórmula anterior, “f” representa o custo com a operação, manutenção e seguro da instalação no valor de 1,65% do custo total da planta (TIAN, 2012). “H” é a quantidade em horas por ano de funcionamento do sistema, que nesse caso é de 24 horas, totalizando 8.760 h/ano, com base em Tian, 2012). O cálculo também leva em consideração a energia líquida produzida pelas placas fotovoltaicas.

O tempo de retorno do investimento foi baseado na ANEEL, sendo verificado o preço médio de venda da energia elétrica pelas residências para a ANEEL (2020), na região Sudeste, local onde foi realizada a avaliação, é de 0,55 R\$/kWh. Nesse sentido, a diferença entre o valor fornecido pela ANEEL, para o preço de compra da energia elétrica das residências e o EPC é, então, o ganho obtido pela implementação de placas fotovoltaicas. Vale lembrar que esse ganho assumirá valores negativos, ao variarem-se os anos em que o sistema será usado, até o momento em que o investimento seja pago (*payback*), tudo desse ponto em diante entende-se como lucro obtido ao implementar o sistema proposto. Quanto maior for o período de amortização, ou seja, o tempo que a planta está em operação, mais rápido acontece o retorno financeiro (NETO, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a instalação de placas fotovoltaicas do local que oferece serviços de hotelaria no estado de Minas Gerais, foram utilizados 44 módulos fotovoltaicos, em uma área de 90 m² em solo, com valor do investimento de R\$ 55.500 reais.

Silva *et al.*, (2019) realizaram instalação de placas fotovoltaicas no estado do Pará, usando 40 placas solares em telhado de 80 m², com valor de investimento de R\$ 68.479,02.

A diferença observada entre os trabalhos, deve-se às regiões, já que a eletricidade consumida e distribuída para as moradias, compreende vários aspectos relacionado a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia, e há variações de acordo com as regiões (BORGES, 2021). Como pode ser observado a partir dos dois orçamentos apresentados, verificou-se que o uso de energia alternativa é uma possibilidade e oportunidade para a redução dos gastos com o consumo de energia.

De acordo com propósito realizado pela empresa responsável pelas placas, o projeto de instalação da energia fotovoltaica, apresentaria economia estimada no primeiro ano de R\$ 19.304,38 reais e economia estimada acumulada ao final do quarto ano de R\$ 86.294,58. O período de desenvolvimento do projeto o valor da tarifa paga por kW/h referente a avaliação anual do ano de 2018 foi de R\$ 0,92; o valor da conta de luz era em média de R\$ 1.780,00 e o valor estimado da conta com a energia solar foi de R\$ 95,00, tais dados previram um retorno total do investimento em 2,8 anos.

Os resultados obtidos a partir da avaliação média realizada pelo presente estudo, trouxe variação da média anual da tarifa para por kW/h em 2019 para R\$ 0,90, no ano de 2020 de R\$ 0,89 e por fim, a de 2021, R\$ 0,88.

O consumo de energia pago pela propriedade entre 2019 e 2020, foi evidenciado por valores em real da conta de luz, sendo verificado a média mensal e seu respectivo desvio padrão, demonstrado por R\$ 1544,58±359,46 antes da instalação, ou seja, no período prévio de uso de energia elétrica tradicional, comparados e apresentando-se diferentemente do período de implementação das placas fotovoltaicas de 2020/2021 que apresentaram média mensal de R\$ 48,92±12,52 no valor da conta de luz.

Verificou-se ainda, o consumo de energia a partir de kWh/mês usado pela propriedade em 2019/2020, determinado pela conta de luz, sendo verificado a média de kWh/mês de 1755,21±408,5 antes da instalação, usando a energia elétrica tradicional, e no período de implementação das placas fotovoltaicas de 2020/2021 que apresentou média mensal de kWh/mês de 55,59±14,23 (tabela 1). A tabela 1 mostrou os resultados reais de consumo da unidade, obtidos através do acompanhamento da unidade entre o período de (maio de 2019) a (abril de 2020), onde a energia usada era a tradicional fornecida pela

concessionária, e (maio de 2020) a (abril de 2021), na qual a energia utilizada era proveniente da usina fotovoltaica em questão. A tabela apresentou a quantidade de energia elétrica consumida da concessionaria em valores mensais, antes da instalação da usina fotovoltaica (mostrada pela primeira coluna), e após a instalação da mesma (mostrada pela segunda coluna). Já na terceira, e quarta coluna foi evidenciado o mesmo período de consumo, porém expressado em kWh consumidos mensais.

Tabela 1. Consumos em reais e kwh/mês da comparação da utilização de energia elétrica tradicional – ET (maio/2019 a abril/2020) e da energia fotovoltaica – EF (maio/2020 a abril/2021) em uma propriedade privada prestadora de serviços de hotelaria no município de Ubaporanga-MG.

Meses	ET (R\$)	EF (R\$)	ET kWh/mês	EF kWh/mês
Maio	1398,0	44,00	1588,6	50,0
Junho	1390,0	49,00	1579,5	55,6
Julho	958,0	34,00	1088,6	38,6
Agosto	1448,0	54,00	1645,4	61,6
Setembro	1451,0	49,00	1648,8	55,6
Outubro	1451,0	51,00	1648,8	57,9
Novembro	1450,0	53,00	1647,7	60,2
Dezembro	1458,0	39,00	1656,8	44,3
Janeiro	2375,0	45,00	2698,8	51,1
Fevereiro	1524,0	74,00	1731,8	84,0
Março	1541,0	66,00	1751,1	75,0
Abril	2091,0	29,00	2376,1	32,9

Fonte: Os autores.

Os valores observados na tabela determinaram que os meses com maiores valores pagos de energia foram janeiro e abril de 2020, sendo associado a um maior consumo de energia pela verificação da contagem de quilowatts mensais. Diferindo dos valores observados pela substituição por placas fotovoltaicas, os valores são exorbitantemente menores, sendo que os meses de julho de 2020 e abril de 2021 os menores valores observados.

Com base na avaliação realizada e a comparação do presente estudo, a redução significativa do custo de energia elétrica tradicional pela substituição pela energia fotovoltaica, se dá pela ação de captação da energia solar pelas placas, que é feita a partir de uma conversão direta da luz em eletricidade, em nível atômico, de acordo com Miranda (2014), reduzindo então o gasto monetário de energia proveniente das concessionárias de energia elétrica, já que irá “produzir” sua própria energia. Com o cálculo da EPC (custo da eletricidade produzida) foi possível determinar que cada kW/h produzido pela usina fotovoltaica apresentou um valor de R\$ 0,155, ao ser comparado ao valor cobrado pela concessionária que disponibiliza a energia elétrica tradicional esse valor foi de R\$ 0,88,

perfazendo uma geração de economia de R\$ 0,725 em cada kW/h consumido pelo estabelecimento. Muitos fatores podem está associados a redução de consumo, inclusive o momento vivido globalmente afetou diversos setores, inclusive o de hotelaria, associando ao período do ano de 2021.

Apesar do sistema de placas fotovoltaicas exigir um alto investimento inicial como demonstrado anteriormente pela empresa executora do projeto (R\$ 55.500,00), com o decorrer dos anos, o valor inicial gasto com o sistema é retomado, devido à redução dos gastos com energia elétrica, proporcionado pela geração de energia solar.

De maneira geral, os principais custos do empreendimento fotovoltaico são a partir do material-base (inversor, módulo e balance of system components – BOS), sendo representados pelos custos de investimentos básicos, o termo "overnight costs" ou "engineering procurement construction costs (EPC)" que é frequentemente utilizado para designar o custo de construção, excluídos os gastos com juros, segundo o Ministério de Minas e Energia, a perspectiva é que esses custos reduzam em torno de 30% entre 2020 e 2050. O aperfeiçoamento das tecnologias de armazenamento de eletricidade em grande escala deve revolucionar a geração fotovoltaica, no entanto, ainda constituem fatores de incertezas para o longo prazo no que se refere às perspectivas tecnológicas e custos (EPE, 2018).

No presente estudo, o investimento foi pago à vista e por isso, as taxas de juros não foram consideradas nos cálculos de retorno. A realização da avaliação de retorno é determinada pela figura 4, na qual verificou-se que em média de 3,25 anos haverá o retorno do investimento realizado pela instalação das placas fotovoltaicas. O que difere do planejamento realizado pela empresa que instituiu o desenvolvimento do projeto, no qual descreveu que seria em 2,8 anos, uma diferença de em média 6 meses.

A avaliação da viabilidade econômica demonstrada pela figura 3, apresentando um indicador econômico, o *payback*, que determina o período de tempo mínimo para obtenção de retorno de um investimento. Amplamente utilizado em recursos elétricos e verificação de viabilidade econômica energética (MIRANDA, 2014). Evidenciando que no período de 3,25 anos é o tempo necessário de obtenção do retorno do investimento feito, que no presente estudo foi de R\$55.500,00, demonstrando o valor do lucro líquido igualado ao valor aplicado pelo investimento.

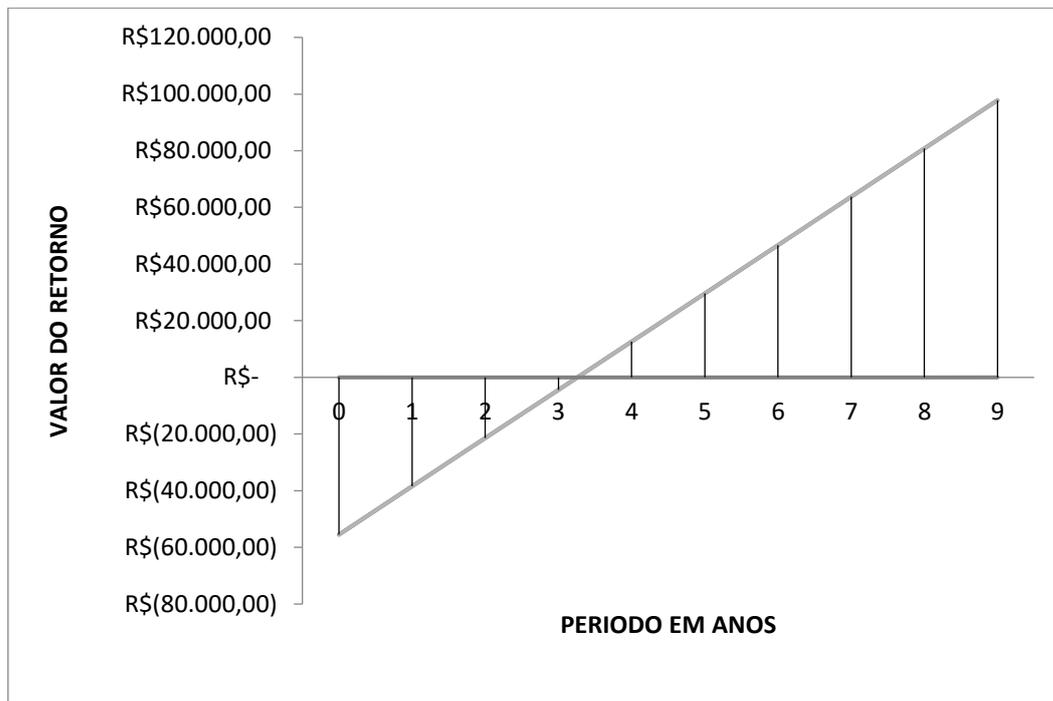


Figura 3. Indicador econômico: *Payback*, demonstrando o período de tempo necessário para obtenção de retorno de um investimento da instalação de placas fotovoltaicas do presente estudo.

Fonte: os autores

Os resultados apontam uma taxa de atratividade do investimento (retorno sobre o capital investido ao longo do tempo – ROI) positiva variável, dependente do valor da taxa de juros, sendo demonstrada, a partir de 3,25 anos de financiamento da instalação, a uma taxa de 17,2% de juros, tendo um valor de R\$ 37.462,50, verificado pela figura 6. De acordo com Neto (2021) e Ristjansdottir *et al.* (2018) o ROI é a razão do lucro obtido (ganho) com o custo do produto (EPC), o custo da eletricidade produzida é alterado, bem como o tempo de retorno financeiro.

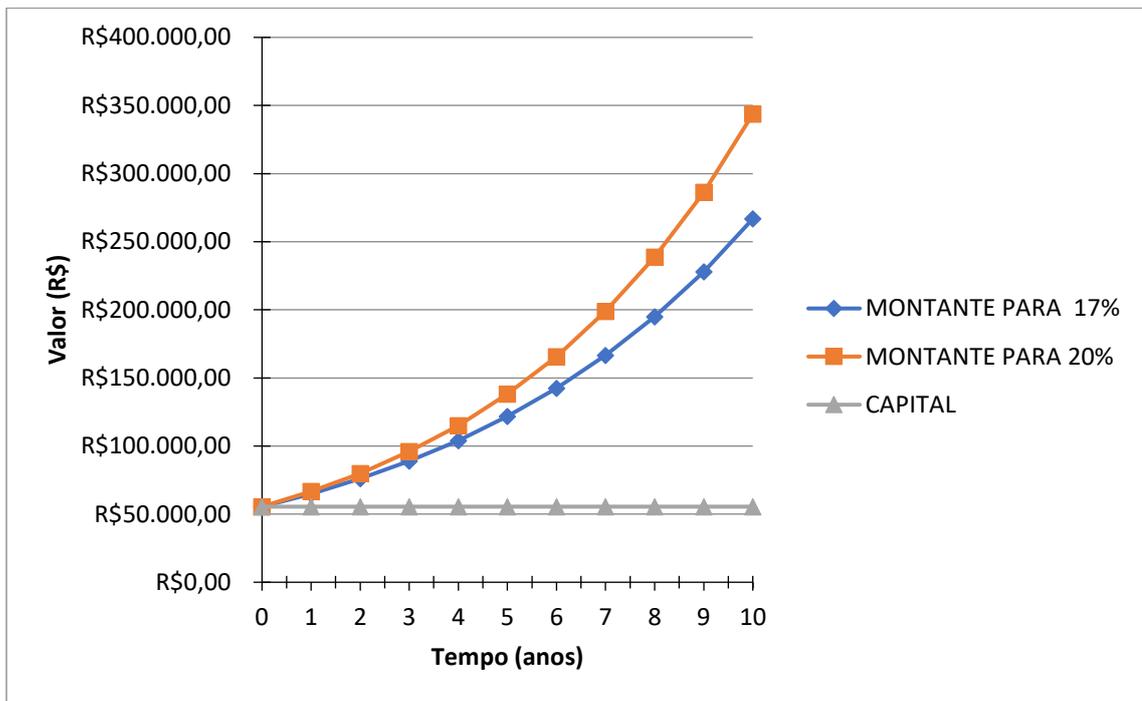


Figura 4. Retorno de capital com taxa atrativa em uma propriedade privada foco do estudo do presente trabalho.

Fonte: os autores

A vista disso, a geração energética proveniente do sol por placas fotovoltaicas apresenta diminuição da influência do comportamento do tempo, como é notado pelas formas de energia hidrelétricas e eólicas. Demonstrando que a fonte alternativa solar, facilita a integração dessa alternativa energética ao sistema elétrico, uma vez que são relativamente reduzidas as incertezas quanto à sua disponibilidade, sua fonte e, as possíveis consequência, quanto ao retorno econômico do investimento (MIRANDA, 2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado a partir dos dois orçamentos apresentados, o presente estudo, verificou-se que o uso de energia alternativa é uma possibilidade e oportunidade para a redução dos gastos com o consumo de energia. Apesar do sistema de placas fotovoltaicas exigir um alto investimento inicial como demonstrado, com o decorrer dos anos, calculado a média de 3,25 anos, o valor inicial gasto com o sistema é retomado devido à redução dos gastos com energia elétrica, proporcionado pela geração de energia solar. Demonstrando que o investimento em placas fotovoltaicas para o uso de energia, comparadas ao uso de energia elétrica tradicional é compensatório, relacionado ao custo benefício, mas deve ser verificado para cada situação e proposta. No presente trabalho, a atratividade é demonstrada que em 3,25 há o retorno total do valor do investimento, o que se compara a uma taxa anual de juros de 17,2%.

REFERÊNCIAS

- Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2002). Atlas de Energia Eólica do Brasil. Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2015). Tarifas da classe de consumo residencial de uma concessionária, 2015.
- AHLBORG, H.; HAMMAR, E. Dirigirrs e barriers para rural eletrification em Tanzanium e Mozambique – grid extensão, off-grade e renewable e fontes de energia. **World Renewable Energy Congress**, Sweden, 2011.
- AMARAL, A.F.P. Análise das viabilidades técnicas e econômica da energia solar fotovoltaica. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica, 77 pp, 2018.
- AZEVEDO, P.J.S. Uma análise dos efeitos da crise econômica-financeira sobre as políticas de incentivo às energias renováveis. [Dissertação] Universidade do Porto, 2013.
- BANG H., *et al.* Consumer concern, knowledge, belief, and attitude toward renewable energy: an application of the reasoned action theory. **Psychology & Marketing**. v. 17, p.449– 468, 2000.
- BITTENCOURT, F.T. **Estudo comparativo do aproveitamento da energia solar fotovoltaica em relação à rede de distribuição na eletrificação rural do estado de Tocantins**. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Departamento de Engenharia (DEG), pós-graduação lato sensu. Lavras, 2011.
- BORGES, F.Q. Energia elétrica e desenvolvimento sustentável paraense. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, e 7210212275, 2021. (CCBY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12275>
- BORGES, F. Q.; RODRIGUES, I. M.; OLIVEIRA, A. S. P. (2017) Paradoxo da energia elétrica no estado do Pará: um estudo dos fatores que contribuem às altas tarifas residenciais (2005-2014), *Revista Observatorio de la Economía Latino-americana*, Espanha 23-39. <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/17/energia-electrica-para.html>
- CARVALHO, E.F.A; CALVETE, M.J.F. Energia solar: Um passado, um presente...um futuro auspicioso. **Revista Virtual de Química**, v.2, n.3, p. 192-203, 2010.
- CEMIG (2021) Valores de tarifas e serviços [online]. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>.
- DANNA, D.C. **Ensaio comportamentais aplicáveis a consumidores de energia elétrica para aperfeiçoamento das bandeiras tarifárias**. Dissertação – (Mestrado em Administração Pública) -- Instituto Brasiliense de Direito Público, Brasília – DF, 2019.
- DIEESE. As tarifas de energia elétrica no Brasil: sistemática de correção e evolução dos valores. *Nota Técnica*, 58, dez. 2007.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Nota técnica PR 07/18 – Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no Horizonte 2050. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2018.
- FEARNSIDE, P.M. 2015. Impactos ambientais e sociais de barragens hidrelétricas na Amazônia brasileira: As implicações para a indústria de alumínio.pp. 261-288. In: P.M. Fearnside (ed.) **Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras**. Vol. 2. Editora do INPA, Manaus. 297 pp.

Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN). (2014). Nota técnica. Perspectivas do custo da energia elétrica para a indústria no Brasil em 2014 e 2015. nº.1, maio.

FREITAS, G.C.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. *Revista Nexos Econômicos*, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

FRITTS, C.E. **American Journal of Science**, n.26 p.465 (1883).

Jornal O Globo. (2013). Um milhão de lares brasileiros não tem energia elétrica. [Online]. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/ciencia/revista-amanha/energia-eolica-crescebusca-mais-investimento>.

RISTJANSDOTTIR K. *et al.* Return on investment from the use of product configuration systems – A case study. *Computers in Industry*, v. 100, p. 57-69, 2018.

LIMA, J.S. Energia Solar Fotovoltaica: Estudo de viabilidade técnica-financeira de implantação de sistema de geração de energia fotovoltaica para o Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – CCAA, na cidade da Chapadinha-MA. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, 86 pp, 2019.

MAGALHÃES, A.S., et al. Custo econômico da energia em Minas Gerais: Impactos das elevações de tarifas entre 2011 e 2015. *Pesquisa e planejamento econômico*, v. 48 | n. 1 | abr, 2018.

MIRANDA, A.B.C.M. Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 98 pp., 2014.

MORAIS, L.C. Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Elétrica, UNESP, Bauru - SP, 2015.

NETO, R.O. Simulação off-design de um sistema ORC para recuperação do calor residual de um motor de combustão interna. 2021. 131p. Tese de doutorado (Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2021.

REIS, L.B.; VICHI, F.M.; MELLO, L.F. Energia e Meio Ambiente Tradução da 5ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SHAYANI, R.A.; OLIVEIRA, M.A.G.; CAMARGO, I.M.T. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Políticas públicas para a energia: Desafios para o próximo quadriênio-, Brasília – DF, 2006.

SILVA, et al. Avaliação de custo benefício da utilização de energia fotovoltaica. *Revista da Ciência e Tecnologia*, n.9, v.5, p. 1-12, 2019.

SUZUKI, E.V.; REZENDE, F.D. Estudo da utilização da geração fotovoltaica para auxiliar a suprir a demanda crescente de energia elétrica no Brasil. 2013. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

TIAN H., SHU G., WEI H., LIANG X., LIU L. Fluids and parameters optimization for the organic Rankine cycles (ORCs) used in exhaust heat recovery of Internal Combustion Engine (ICE). *Energy*, v.47, p.125-136, 2012.

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AR-CONDICIONADO PARA UMA ACADEMIA NA CIDADE DE SÃO PEDRO DOS FERROS

Acadêmicos: Caio Avelino Dos Santos
Túlio De Miranda Fialho

Orientador: D.Sc. Rieder de Oliveira Neto

RESUMO

Para que um ambiente esteja dentro dos parâmetros de conforto térmico, é necessário que se conheça a quantidade de calor sensível e latente que deve ser adicionado ou retirado do local, chamado de carga térmica. Diversos fatores afetam o cálculo da carga térmica como a iluminação e equipamentos elétricos, ocupantes, condução de calor para as paredes e janelas. Com o objetivo de dimensionar a carga térmica de uma academia e selecionar um aparelho com capacidade adequada, foram feitos os cálculos necessários. Identificou-se que a carga térmica, devido aos ocupantes e à condução, apresentou maiores valores se comparado aos demais fatores analisados. Ao final, concluiu-se que, para a área de 201,2 m², serão necessários três aparelhos de 60.000 btus e um aparelho de 10.000 btus condicionadores de ar.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto Térmico; Sistema de Climatização; Carga Térmica.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais indicadores de nível de qualidade de vida e desenvolvimento econômico é o consumo de energia, ele não só reflete o ritmo de crescimento das áreas industriais, comerciais e de serviços, mas também reflete a capacidade da população em adquirir bens e serviços mais avançados tecnologicamente, como eletrodomésticos e eletroeletrônicos (ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008).

O processo de climatização consiste em garantir um ambiente termicamente agradável e, de acordo com as normas sanitárias, evitar a transmissão de doenças causadas por fungos e bactérias. A OMS (Organização Mundial da Saúde) salienta que a faixa de temperatura considerada perfeita para ambientes fechados é de 23 a 26°C. (CLIMASUL, 2008). Já a ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária), defende que a temperatura ideal varia por estações e indica de 23 a 26°C para o verão e 20 a 23°C para o inverno. (INFOCLIMA, 2021).

Desse modo, o condicionamento do ar é um processo que visa ao controle simultâneo de um ambiente delimitado de pureza, umidade, temperatura e movimentação do ar. Obtendo, portanto, melhor qualidade do ar e, também, um melhor conforto térmico.

O funcionamento dos condicionadores de ar tem como princípio promover a troca de temperatura do ar do ambiente pela passagem do ar pela serpentina do evaporador que, por contato, tem queda ou aumento de temperatura do ar, dependendo do ciclo utilizado, baixando a umidade relativa do ar. (ARAUJO, 2011).

A prática de atividade física também é uma aliada à saúde e à qualidade de vida. Para algumas pessoas, a academia é o melhor lugar para se exercitar. Durante os treinos, é comum a preocupação em saber se o exercício está sendo executado de maneira correta para se obter os resultados desejados. O que poucas pessoas sabem é que em todos os ambientes de uso público e/ou coletivo, a renovação do ar no ambiente é fundamental para garantir a saúde e qualidade de vida dos ocupantes do espaço. A Lei em vigor 13.589/2018 determina que todos os edifícios públicos ou privados são obrigados a realizar a manutenção de seus sistemas de ar-condicionado, garantindo a boa qualidade do ar interior, considerando padrões de temperatura, umidade, velocidade, taxa de renovação e grau de pureza do ar. (SICFLUX, 2020).

Em 2017, o Brasil passou a ter o segundo maior mercado de academias em número de estabelecimentos, contando com 34.509 unidades, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. O país também tem o quarto maior contingente de praticantes de atividade física de forma orientada (PACTOBLOG, 2018).

Com o mercado de academias aumentando cada vez mais, é importante destacar que, quando o cliente fica em exposição prolongada ao calor em excesso, ele poderá desenvolver um quadro de aumento da fraqueza, irritabilidade, ansiedade, falta de foco e dificuldade de concentração e, em alguns casos, até mesmo depressão.

São Pedro dos Ferros é uma cidade do Estado de Minas Gerais. O município se estende por 402,8 km² e conta com 7 781 habitantes no último censo. A densidade demográfica é de 19,3 habitantes por km² no território do município e tendo como vizinho os municípios de Rio Casca, Raul Soares e Abre Campo.

Há na cidade uma academia de musculação cujos clientes apresentam constantemente reclamações devido ao desconforto excessivo com altas temperaturas. Para atendê-los, surgiu a necessidade de implementação de um sistema de climatização eficiente.

Nesse contexto, o presente trabalho visa a calcular a carga térmica do ambiente e dimensionar um sistema de ar-condicionado adequado, usando as normas de climatização de ambientes vigentes e, também, o software ANSYS®CFX para avaliar a circulação do ar condicionado pelo recinto. Serão avaliadas a circulação, a eficiência do sistema e a melhor localização para instalação do aparelho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ar-Condicionado

Em 1902, o engenheiro Norte Americano Willis Carrier, formado pela Universidade de Cornell, criou o primeiro processo mecânico para condicionar o ar. Esse processo foi desenvolvido para melhorar a produção e a absorção da umidade pelo papel de uma empresa gráfica (SILVA, 2014). Segundo Carrier (2020) a invenção retirava a umidade do interior da fábrica por meio do resfriamento do ar por dutos artificialmente resfriados. Esse dispositivo que controlava a temperatura e umidade do ar foi o primeiro exemplo de condicionador de ar existente.

Em 1906, Stuart Cramer, explorando mais a fundo o termo ar-condicionado, criou o próprio aparelho com a finalidade de explorar formas de adicionar umidade ao ar de uma empresa de tecido. O equipamento foi patenteado por ele no mesmo ano, porém a invenção demorou a ser popularizada e utilizada, pois seu inventor não percebeu a importância e o potencial de seu protótipo (NEVES, 2018).

Em 1920, após Willis Carrier vir a falecer, aparelhos de ar-condicionado começaram a ser produzidos em massa e instalados inicialmente nos grandes prédios públicos como nos escritórios da Casa Branca, Senado Americano e Câmara dos Deputados (SILVA, 2014).

Define-se o termo ar-condicionado como um processo projetado para controlar a temperatura, umidade e distribuição de ar, garantindo conforto térmico aos seus usuários (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, 1993). O ar-condicionado tem a função de controlar a umidade do ar para ajustar sempre as condições de temperatura ideal de acordo com as premissas das normas técnicas: NBR6401 de 2008, NBR 16401-1 de 2008 e NBR 15220 de 2003.

A ABNT, por meio da norma NBR-6401 de 2008, estabelece o seguinte conceito:

O condicionamento de ar, qualquer que seja a finalidade a que se destine, implica na limitação entre os seguintes valores pré-estabelecidos das grandezas discriminadas e representativas das condições que devem coexistir nos recintos, no período em que se considera a aplicação do processo: temperatura do ar no termômetro de bulbo seco; umidade relativa do ar; movimentação do ar; grau de pureza do ar; nível de ruído admissível; porcentagem ou volume de renovação do ar.

A Norma NBR 16401-1 de 2008 estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ares-condicionados centrais e unitários. Aplica-se a instalações de ares-condicionados especiais que são regidas por normas específicas (salas

limpas, laboratórios, centros cirúrgicos, processos industriais e outras) apenas nos dispositivos que não conflitem com a norma específica. Também, aplica-se a pequenos sistemas unitários isolados, para conforto, em que a soma das capacidades nominais das unidades que compõem o sistema é inferior a 10 KW. Não possui efeito retroativo, aplica-se a sistemas novos e a instalações ou partes de instalações existentes objetos de reformas.

A Norma NBR 1520 estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico da de edificações.

Observando os principais elementos do ciclo de ar-condicionado, de acordo com a Figura 1, o fluido refrigerante sai do compressor em alta pressão e alta temperatura e segue para o condensador. No condensador, ele perde calor para o ambiente externo e condensa até chegar ao dispositivo de expansão (válvula de estrangulamento) onde o fluido refrigerante diminui a pressão e a temperatura. Logo, entra no evaporador o fluido refrigerante evapora ao retirar calor do ambiente a ser resfriado.

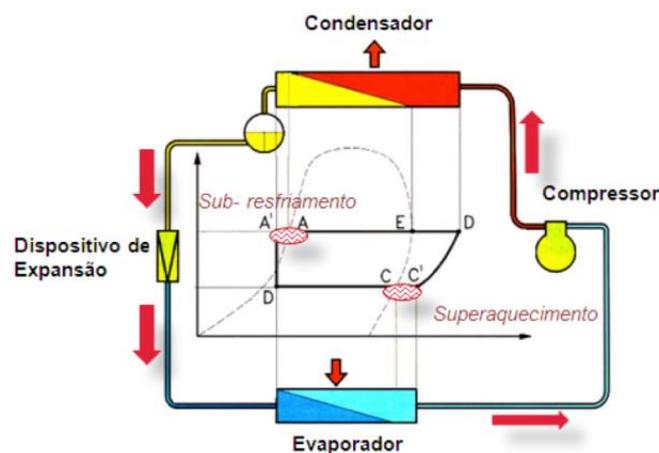


Figura 1: Ciclo de refrigeração.

Fonte: Disponível em: www.ambientegegado.com.br/artigos-tecnicos/fluidos-refrigerantes/tipos-de-fluidos/371-comportamento-dos-fluidos-refrigerantes-em-um-sistema-de-refrigeracao. Acesso em: 12 maio 2021.

2.1.1 Principais Elementos do Ciclo

Compressores: O compressor tem por finalidade elevar a pressão e a temperatura do fluido, no compressor o fluido será comprimido. Durante a compressão, o fluido deve estar totalmente na forma de vapor, pois o fluido líquido possui baixa capacidade de compressão. No decorrer deste processo, o calor sensível é cedido para o ambiente externo, atingindo, assim, a linha de saturação.



Figura 2: Compressores.

Fonte: Disponível em: www.eletrofrigor.com.br/tipos-de-compressor-para-refrigeracao. Acesso em 25 maio 2021.

Condensadores: No condensador, o fluido vai perdendo calor latente que absorveu do produto e o calor que ganhou ao ser comprimidos aos poucos até chegar em seu final estando totalmente líquido.



Figura 3: Esquema de Funcionamento do Resfriador Evaporativo.

Fonte: Disponível em: Microsoft Word – Apostila de ar condicionado e exaustão -10.2011. Acesso em: 25 maio 2021.

Dispositivo de expansão: O dispositivo é responsável pela expansão do fluido, nela o fluido sai de uma passagem restrita para uma tubulação consideravelmente maior, passando assim o fluido vapor saturado (vapor + líquido), perdendo pressão e temperatura.



Figura 4: Dispositivo de expansão.

Fonte: Disponível em: blogdofrio.com.br/tubo-capilar-x-valvula-de-expansao-qual-e-a-melhor-escolha. Acesso em: 21 maio 2021.

Evaporadores: São responsáveis por promover essa troca de calor entre o ambiente e o fluido, fazendo assim o ambiente resfriar e o fluido evaporar. Antes de entrar no evaporador, o fluido encontra-se em baixa pressão e em estado saturado. Todavia, na saída desse componente, espera-se que o fluido saia totalmente no estado gasoso.

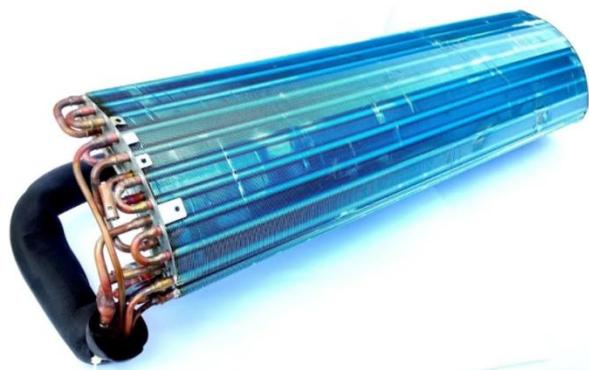


Figura 5: Evaporador.

Fonte: Disponível em: produto.mercadolivre.com.br/MLB-1301828562-serpentina-evaporador-ar-condicionado-split-philco-inverter-ph9000-_JM#&gid=1&pid=1. Acesso em: 11 maio 2021.

2.2 Sistemas de Climatização

2.2.1 Condicionadores de Ar de Janela

São aparelhos que já saíram do mercado há algum tempo, são instalados na parede ou janela como o próprio nome já diz. Sua capacidade de resfriamento varia por volta de 6.000 a 36.000 BTU/ h. A Figura 5 mostra um modelo já ultrapassado de mercado.



Figura 6: Ar condicionado de Janela.

Fonte: Disponível em: www.fazfacil.com.br/manutencao/ar-condicionado-parede/. Acesso em: 07 mar. 2021.

As vantagens desse sistema são:

- ✓ É o modelo de ar-condicionado mais barato do mercado;
- ✓ De fácil instalação, pois o de janela é uma peça única, diferente dos outros modelos Split, que divide sua condensadora e evaporadora em duas partes;

- ✓ Instalação mais barata;
- ✓ O de janela e mais fácil de controlar, com todos os botões e comandos podendo ser acionados no próprio aparelho ou no controle remoto.

As desvantagens são:

- ✓ Geram muitos ruídos;
- ✓ Trabalha apenas com baixas potências.

2.2.2 Sistemas Split

O sistema de ar-condicionado Split originou-se do sistema de ar-condicionado de janela que, traduzindo do inglês significa “divisão”, possui a unidade externa e a unidade interna. A unidade externa, instalada fora do ambiente a ser climatizado, abriga componentes como o compressor, o condensador e a válvula de expansão. A unidade interna compreende o evaporador e o ventilador de resfriamento. Para a unidade interna, não há necessidade de aberturas nas paredes como no caso do ar condicionado do tipo janela. A figura 7 ilustra um ar-condicionado do tipo Split (SOUZA, 2019).



Figura 7: Sistema Split.

Fonte: Disponível em: www.leveros.com.br/ar-condicionado-maxiflex-12000/p. Acesso em: 28 mar. 2021.

O equipamento possui um nível de ruído baixo comparado aos condicionadores de janela, pois seu compressor fica na parte externa junto ao condensador. É um tipo de aparelho muito versátil, sendo adaptável a qualquer ambiente e podendo vir a ser instalado junto ao piso, ao teto e, em alguns casos, embutido no forro. (SILVA, 2014).

As vantagens desse sistema são:

- ✓ Não é necessário grande trabalho com alvenaria, pois é um equipamento de fácil instalação comparado aos equipamentos de janela;

- ✓ Baixo nível de ruído do equipamento;
- ✓ Não é necessária a instalação de sistemas de água gelada e rede de dutos.

As Desvantagens desse sistema são:

- ✓ O aparelho Split possui duas partes precisando de mais espaço para instalação se comparado ao modelo de janela que possui apenas uma parte;
- ✓ Desaconselhado seu uso em locais que seja necessário o controle de umidade e temperatura do ambiente, em condições especiais como salas de cirurgia e demais ambientes que necessitam de filtragem do ar ambiente.

2.2.3 Sistemas tipo Fan-Coil/Chiller

E basicamente um sistema de ar-condicionado de grande potência, que utiliza de um fluido (água gelada misturada com etileno-glicol ou apenas água gelada) para climatizar os ambientes (Figuras 8 e 9).

São indicados para aplicação em grandes ambientes como teatros, shoppings, galpões grandes, cinemas e prédios por exemplo.

Sua principal vantagem é a facilidade de distribuição das tubulações e dutos, que requer menor espaço de construção. Porém, em relação aos demais sistemas, requerer uma manutenção mais especializada, já que a central (Chiller) trabalha com baixas temperaturas, exigindo controle da quantidade de aditivos anticongelantes. (polipropileno glicol).

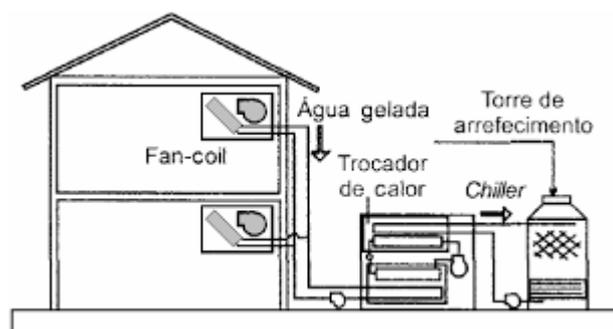


Figura 8: Sistemas Tipo Fan-Coil/Chiller.

Fonte: Disponível em: fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/11/sistemas-de-climatizacao5.pdf. Acesso em: 20 maio 2021.



Figura 9: Figura tipo Fan-Coil/Chiller.

Fonte: Disponível em: firmadeacondicionado.com/industrial/instalacao-fancoil. Acesso em: 27 nov. 2020.

2.3 Conforto térmico

Stoecker (1985) define o conforto térmico como a sensação de bem-estar e satisfação do homem na sua percepção de temperatura do ambiente. Essa condição de percepção individual de cada ser humano poderá variar de uma pessoa para outra conforme a idade, condição física e nível de atividades.

Ashrae (2017) relata que, para entender melhor os padrões de conforto térmico, é necessário compreender algumas das variáveis humanas e climáticas que se relacionam a esta condição. Segundo Alves (2011), o conforto térmico para os seres humanos depende de uma série de variáveis sendo que os principais atributos interferem nisso são temperatura do ar, radiação solar, movimento do ar e umidade relativa.

A norma ABNT NBR 16401-2 (2008) descreve os seguintes fatores que afetam o conforto térmico:

- ✓ Temperatura operativa;
- ✓ Velocidade do ar;
- ✓ Umidade relativa do ar.

A norma ABNT esclarece ainda que esses parâmetros dependem dos fatores pessoais sobre o tipo de roupa usado e o nível de atividade física das pessoas.

Muitos são os pontos comuns dessas normas e, de forma principal, pode-se destacar o embasamento dessas normas internacionais nos parâmetros de Fanger. Conseqüentemente, a norma nacional foi baseada nessas normas internacionais.

Geralmente as pessoas estão em um estado termicamente confortável quando as seguintes premissas são alcançadas (FROTA e SCHIFFER, 2001):

- ✓ A temperatura da pele e a taxa de secreção de suor devem estar na faixa adequada para a atividade desenvolvida;
- ✓ A pessoa deve estar livre de qualquer desconforto térmico vindos das correntes de ar de qualquer sentido (vertical e pisos aquecidos ou resfriados).

Ao relatar sobre o conforto térmico, é bom lembrar a importância de uma ventilação adequada. Uma pesquisa com aproximadamente 500 empresas, realizada pela NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health, 2017*), sugeriu que as principais fontes dos problemas de qualidade interna do ar estavam relacionadas à ventilação, conforme representado na Figura 10.

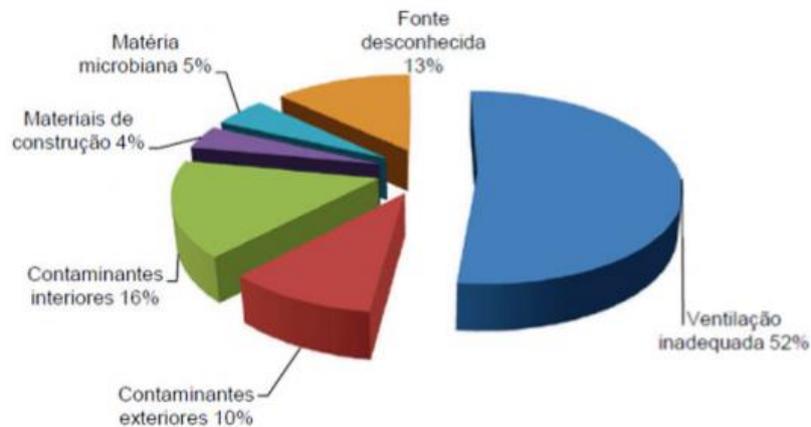


Figura 10: Problemas na qualidade do ar interior.
Fonte: Disponível em: NIOSH.

Nesse processo, com a função de viabilizar o deslocamento adequado do ar tratado, a distribuição do ar tem papel fundamental nesse processo de refrigeração, de modo a produzir movimentos que permitam a mistura de massas de ar, troca de calor, garantindo o atendimento das condições de projeto. A orientação dos fluxos de ar depende de componentes e acessórios, bem como estratégia de posicionamento e sistema adotado para o projeto (LUIZETTO, 2014).

2.4 Carga térmica

Carga térmica de resfriamento é definida como a taxa de calor que deve ser retirada do ambiente em um dado instante.

Assim, carga térmica para climatização é a potência calorífica de calor sensível e latente que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto a fim de proporcionar condições de conforto desejadas ou manter as condições ambientes adequadas para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação e umidade relativa constante (ROCHA e ALMEIDA, 2010).

O conceito da carga térmica contribui para dimensionar a instalação, selecionar equipamentos, avaliar o funcionamento de equipamentos existentes ou a serem adquiridos, avaliar as alterações necessárias ao sistema que beneficia ambientes, cuja finalidade venha ser alterada.

Para o cálculo de carga térmica, define-se ganho de calor como a taxa segundo a qual a energia é transferida para ou gerada no interior do ambiente, podendo ocorrer das seguintes maneiras:

- ✓ Carga Térmica de Condução: Transferência de calor por meio de um elemento estrutural do edifício (parede, piso, teto etc.); causada pela diferença de temperatura entre o interior e o exterior.
- ✓ Carga Térmica de Convecção e Radiação (Insolação): Transferência de energia solar por meio de superfícies transparentes do edifício ou absorção dessa energia por um componente opaco.
- ✓ Carga térmica de Infiltração: Perda ou ganho de calor pela infiltração e ou ventilação do ar externo no recinto condicionado.
- ✓ Geração interna: Liberação de energia no interior do recinto (luzes equipamento, pessoas, etc.).
- ✓ Ventilação: Taxa de renovação de ar para manter sua qualidade.

Segundo Martinelli (2012), as três propriedades termodinâmicas do ar úmido fundamentais, associadas com diferentes temperaturas são:

Temperatura de Bulbo Seco (t_{BS}), indicada por um termômetro comum, não exposto à radiação, é verdadeira temperatura do ar úmido.

Temperatura de Bulbo Úmido (t_{BU}), indicada por um termômetro cujo bulbo foi previamente envolto por algodão úmido, tão logo seja atingido o equilíbrio térmico. Nesse tipo de termômetro, a mistura de ar seco, vapor d'água, sofre um processo de resfriamento adiabático, pela evaporação da água do algodão no ar, mantendo-se a pressão constante. Considerando que o estado de equilíbrio é a situação em que o fluxo de energia do ar para o bulbo do termômetro é igual à energia necessária para a evaporação da umidade.

Temperatura de Orvalho (t_o), no qual o vapor se condensa ou solidifica quando é resfriado sobre pressão constante e conteúdo de umidade constante.

Umidade Relativa (φ) é definida como sendo a relação entre a pressão parcial do vapor d'água na mistura (P_v) e a pressão de saturação correspondente à temperatura de bulbo seco da mistura (P_{vs}) (ESGANZELA, 2014).

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{vs}} * 100 (\%)$$

O software ANSYS é bastante usado para modelação, capaz de produzir uma boa aproximação de escoamentos, turbulências, transferências de calor e reações para aplicações do estudo de conforto térmico em um determinado ambiente. O ANSYS realiza

os cálculos para solução de um determinado problema por meio de uma solução numérica utilizando o método de volumes finitos baseado na malha definida. Tais resultados podem ser visualizados na forma de gráficos, tanto 2D quanto 3D, como também de outras formas. (JUNQUEIRA, 2018).

O *software* ANSYS (CFX), em sua versão 16, é um programa para a predição de escoamento laminar e turbulento e transferência de calor, massa e reações químicas. O programa ANSYS (CFX) consiste de um número de módulos: geometria (Design Modeler), geração da malha (CFX-Mesh), setup do modelo (CFX-Pré), solução (Solver) e Pós-Processamento ou gráfico (CX-Pós). (CHAVES et al., 2014).

3 METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho foi criar um projeto de climatização eficiente, visando custo x benefício, para a Fisiofitness, academia de musculação localizada no município de São Pedro dos Ferros na Zona da Mata Mineira. O espaço ocupado pela academia é uma edificação simples com dois andares, sendo a academia no térreo. “A latitude é de - 20° 9’ 37” Sul; a longitude é de - 42° 31’ 20” Oeste; a altitude é de 373 metros. A temperatura média anual do município é de 31 °C (Cidade-Brasil, 2021).

O sistema de refrigeração foi dimensionado visando a proporcionar uma temperatura ambiente de 24° C, possibilitando um melhor conforto térmico.

Baseou-se, portanto, no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), e tendo como referência a cidade de Manhuaçu a mais próxima de São Pedro dos Ferros, cuja latitude é de - 20,2633°; longitude de - 42,1828°; e uma altitude de 819,47 metros. O cálculo do sistema de climatização foi realizado para o dia 30 de janeiro identificado como o mais quente dos últimos dez anos, com uma temperatura média de 32,9 °C, no qual foi feito um arredondamento para 33 °C.

O dimensionamento das cargas térmicas totais requeridas foi determinado atendendo às normas NBR 6401, NBR 16401-1 e NBR 15220 que tratam dos parâmetros básicos de projetos para instalações de ares-condicionados para conforto térmico, além de consulta à literatura técnica especializada. Os cálculos do sistema de ar-condicionado encontram-se detalhados ao longo desta seção.

Após os cálculos realizados, determinou-se uma simulação da distribuição do fluxo de ar no interior da academia utilizando o programa de simulação ANSYS (CFX). O programa executa as etapas da simulação que vão desde a confecção do modelo de *layout* até as resoluções e tratamento dos resultados. Assim, com base numa simulação no

software ANSYS (CFX) com os valores da carga térmica encontrados, pode ser visualizado o comportamento do fluxo de ar, devido ao posicionamento de cada máquina de ar-condicionado dentro do recinto. A avaliação do posicionamento das máquinas promove um satisfatório fluxo de ar na academia.

As simulações ocorreram da seguinte maneira:

1. A geometria da academia feita no *software* de CAD *SolidWorks*, segundo dimensões apresentadas na seção 3.1 do presente trabalho;
2. Foi utilizado o método de elementos finitos do *software* ANSYS (CFX) e as condições de contorno utilizadas foram as cargas térmicas apresentadas no presente capítulo pelas Tabelas 4, 5 e as cargas térmicas gerada pelas pessoas e equipamentos;
3. A velocidade de insuflamento pelos ares-condicionados foi determinada em 0,6 m/s. Conforme a ABNT NBR 16401 (2008), a velocidade do ar não deve estar acima de 0,8 m/s.
4. A simulação ocorreu para erros abaixo de 0,01% e os resultados estão apresentados e discutidos no presente capítulo.

3.1 Descrição da área da academia fisioftnes:

Após medição da temperatura ambiente, foi determinada a geometria do ambiente a ser climatizado pelo sistema de ar condicionado (Tabela 1). As temperaturas de bulbo seco no interior foram determinadas experimentalmente com um termômetro digital, sendo realizada medição em horário de maior insolação do dia. No exterior, foi determinada com base nos relatórios INMET (2010 a 2020), sendo verificada a temperatura do dia mais quente do mês com média de temperatura mais elevada dos últimos dez anos. Assim, tomaram-se os valores críticos para o dimensionamento, as temperaturas de 30°C e 33 °C foram adotadas para o interior e o exterior, respectivamente. A umidade relativa foi de 38%.

Tabela 1 – Informações detalhadas da estrutura física da Fisioftnes, academia localizada no município de São Pedro dos Ferros, MG, obtidas no mês de março do ano de 2021.

Ambientes	Geometria
Área do ambiente	885,28 m ³
Área das paredes	223,52 m ²
Área do teto	201,20 m ²
Altura do pé direito	4,40 m
Área das janelas	10,04 m ²
Área da porta	8,75 m ²
Composição das janelas e porta	Vidro comum 3 mm
Composição das paredes	Tijolos de lajota 8 furos e embolso

Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 Cálculo da carga térmica total

3.2.1 Carga de condução térmica

Para calcular a carga térmica por condução pelas paredes e teto, utilizou-se a equação 1.

$$Q = AUDt \quad (1)$$

Em que, **Q** é a taxa de calor (W), **A** é a área (m²), **U** é o coeficiente global de transmissão de calor (W/m².K) e **D_t** é a diferença de temperatura entre as superfícies em °C.

As paredes e o teto são considerados não homogêneos, por possuírem diferentes materiais em sua construção, como: tijolos, reboco, etc. Para obter cálculos mais precisos, foi utilizado o método das resistências térmicas de transferência de calor de cada material que compõem as paredes e o teto. O somatório das resistências virtuais de um circuito elétrico representa a Resistência Total (**R**), conforme equação 2.

$$U = \frac{1}{R} \quad (2)$$

Tomando como base o conceito de resistência total (**R**) e aplicando para a parede e para o teto, determinam-se equação 3 e equação 4, para posteriormente determinar o coeficiente global de transmissão de calor.

$$R = \frac{1}{h \text{ ar exterior}} + \frac{1}{K \text{ emboso}} + \frac{1}{K \text{ tijolo}} + \frac{1}{K \text{ embolso}} + \frac{1}{h \text{ ar interior}} \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{h \text{ ar exterior}} + \frac{1}{K \text{ laje}} + \frac{1}{h \text{ ar interior}} \quad (4)$$

Sendo assim, obtendo-se também a seguinte expressão:

$$Q = \frac{A * (te - ti)}{R}$$

Para as paredes externas (área total da parede retirando a área total das janelas e porta), procedeu-se como sendo ar exterior $t_e = 33 \text{ °C}$, ar interior parado $t_i = 24 \text{ °C}$, embolso no interior e no exterior de 3 cm ($K = 1,15 \text{ W/m.K}$), tijolo de lajota de 8 furos comum de uma vez ($K = 0,7 \text{ W/m.K}$) e $D_t = 9 \text{ °C}$, e para o teto foi considerado laje de 30 cm de espessura de concreto com areia e brita ($k = 1,75 \text{ W/m.K}$), em que 50% dele está correlacionado com ar interior $T_i = 24 \text{ °C}$ e ar externo $T_e = 33 \text{ °C}$, outros 50% correlacionados com uma

temperatura interna $T_i = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ e uma temperatura externa de $T_e = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Todos os dados foram obtidos das normas NBR 16401, NBR 6401 e NBR 15220.

3.2.2 Carga térmica de insolação

Para as janelas e porta com vidros, utilizou-se o coeficiente global de transmissão $U = 5,79 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (vidro comum de espessura 3 mm). O Fator Solar foi $F_s = 0,86 \text{ W/m}^2 \text{ K e } \Delta t = 9 \text{ }^\circ\text{C}$. Foi considerado o fator solar máximo, o qual está submetido às janelas, para cada orientação geográfica, conforme tabela 2. As cargas térmicas obtidas por insolação pelas janelas e portas foram calculadas na Eq. 5 em que A é a área de troca de calor em m^2 .

$$Q = F_s * I + U(T_e - T_i) * A \quad (5)$$

Tabela 2. Fator Solar máximo em função de cada posição geográfica, onde cada parede está voltada ao sol.

Orientação Geográfica	Fator Solar de Insolação(W/m^2)
Nordeste	266,80
Sudoeste	433,84
Sudeste	433,84
Noroeste	266,80

Fonte: Elaborado pelos autores

A transferência de calor por energia solar através de paredes, lajes e telhados ocorre por condução e convecção, conforme equação 6.

$$Q = \frac{\frac{\alpha * I}{h_e} + (T_e - T_i)}{R} \quad (6)$$

Na equação, Q é a taxa de calor (W) I é o fator de insolação, T_e é a temperatura do exterior ($^\circ\text{C}$), T_i = temperatura interior ($^\circ\text{C}$) e R a resistência térmica de cada material. Adotou-se a cor escura para as paredes externas $\alpha = 0,50$ (absorção para radiação solar) e para o (coeficiente de convecção) $h_e = 20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ das áreas da academia como base.

3.2.3 Carga devido às pessoas

A carga térmica devido às pessoas foi determinada mediante a atividade a qual estão submetidas. Determinou-se, então, a quantidade de calor emitido por cada pessoa, tomando como base os valores das normas NBR-16401 e NBR-6401. Considerou-se que as pessoas presentes no ambiente estão exercendo atividades de musculação, utilizando-

se para fins de cálculos o calor total igual a 585 Wpor pessoa. Também, segundo o proprietário do estabelecimento, estima-se um total de 30 pessoas para a área da Fisiofitness.

3.2.4 Carga devido à iluminação e aparelhos elétricos

A quantidade de aparelhos elétricos e lâmpadas, contidas no ambiente está descrita na Tabela 3, bem como a especificação da potência de cada lâmpada e aparelho elétrico. Assim, fazendo o somatório das dissipações de calor de cada equipamento, obtém-se a carga térmica total.

Tabela 3. Equipamentos elétricos contidos na academia fisiofitness:

Equipamento	Dissipação em (watts) para cada
1 computador	155
1 som	70
1 impressora	10
4 esteiras	1890
1 bebedouro refrigerado	350
6 lâmpadas fluorescentes	100
2 televisões	360

Fonte: Elaborado pelos autores

3.2.5 Carga devido à infiltração

O cálculo da carga térmica devido à infiltração de ar foi realizado pelo método das frestas, considerando janelas e porta comum de vai e vem e utilizando a vazão de ar infiltrado pelas frestas na porta de $V= 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e da janela $V= 3\text{m}^3/\text{h}$, transformando para m^3/s o qual é desejado. Na equação, tem-se, $V= 1,806 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ da porta e da janela $V= 8,333 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$, uma massa específica de ar (densidade) $\rho_{ar}= 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$. De acordo com a NBR 6401, a temperatura externa $T_e= 33 \text{ }^\circ\text{C}$ e interna $T_i= 24 \text{ }^\circ\text{C}$ passando respectivamente para kelvin (K), obtemos um $t_e= 306 \text{ K}$ e $t_i= 297 \text{ K}$. Sendo as entalpias da tabela termodinâmica A-17 (Çengel, 2007) muito próximas das temperaturas, Kevin considerou uma entalpia de $h_e= 306 \text{ kJ}/\text{kg}$ e $h_i= 297 \text{ kJ}/\text{kg}$. O ganho de calor total se dá pela multiplicação da densidade do ar, vezes vazão volumétrica do ar, vezes a variação de entalpia. O comprimento linear das frestas das janelas foi de 3 m e da porta foi 2,5 m. A taxa de transferência de calor foi determinada pela equação 7.

$$Q = \rho_{ar} * V (h_e - h_i) * c \quad (7)$$

3.2.6 Carga devido à ventilação

Para a carga térmica de ventilação o ar de ventilação, tomou-se como base a norma NBR 16401 que especifica a vazão eficaz de ar exterior, expressa em L / s por pessoa. No

estudo em questão, adotou-se o ar exterior para ventilação para transposição por pessoa as $h_e = 306$ K e $h_i = 297$ K, uma vazão de $F_p = 7,5$ L/s por pessoa, uma vazão por área útil ocupada $F_a = 0,9$ L/s por m^2 , um número máximo de pessoas na zona de ventilação $P_z = 30$ pessoas e uma área útil ocupada pelas pessoas $A_z = 201,2$ m^2 . A vazão eficaz é determinada pela equação 8.

$$V_{ef} = P_z * F_p + A_z * F_a \quad (8)$$

Logo, a carga térmica de calor de ventilação se dá pela equação 9.

$$Q = \rho_{ar} * V_{ef} (h_e - h_i) \quad (9)$$

3.2.7 Carga térmica total

Sabe-se que a carga térmica é representada pelo calor que é introduzido ao recinto por condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação. Logo, somando todas essas cargas térmicas, encontra-se o valor total, que será representado pela quantidade de calor a ser retirada do recinto a fim de obter conforto térmico desejado pelas pessoas. Como coeficiente de segurança utilizado para cobrir um eventual ganho de calor no recinto, acrescenta-se mais 10 % à carga térmica total, conforme *Morais et al.* (2019). Normalmente, deseja-se resultado dos cálculos expressos em toneladas de refrigeração (TR), por atender às unidades técnicas dos fabricantes de ares-condicionados.

Segundo Rosa (2015), o sistema de climatização pode ocupar 50% do consumo de energia de uma edificação comercial, esse gasto muitas vezes torna-se inviável para implementação do sistema.

Especialistas lembram a vantagem da filtragem do ar proporcionada pelo ar condicionado, que reduz significativamente o número de impurezas em suspensão no ar, como também proteção de materiais ou equipamentos. Lembrando, ainda, que um sistema bem dimensionado proporciona uma distribuição de ar uniforme, filtra o ar e poderá permitir a renovação, evitando sua saturação. Além disso, vale destacar que os equipamentos de ares-condicionados modernos utilizam o sistema bomba de calor “a inversão do ciclo para aquecer”, tornando os consumos energéticos moderados. (ARAUJO, 2011). Assim, a climatização artificial acaba por ser indispensável para se conseguir um bom nível de conforto térmico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos valores das áreas das paredes, janelas e porta obtidos pela medição, do coeficiente global de transferência de calor (U), das diferenças de temperaturas (Dt) e de acordo com a equação 1,2,3,4, pode-se obter a Tabela 4, que representa os valores do ganho de calor por condução.

Tabela 4. Carga térmica por condução no recinto em w/m².k.

Descrição	Área (m ²)	U (W/m ² .K)	Dt (°C)	Carga térmica (W/m ²)
Janelas	10,40	5,79	9,0	2214,82
Paredes	176,41	4,00	9,0	6368,76
Parede garagem	26,40	4,00	6,0	633,60
Teto 1	100,60	5,83	9,0	5282,38
Teto 2	100,60	5,83	6,0	3521,58
Total				18021,14

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base nas equações 5 - 6 utilizadas para insolação através das janelas, paredes e tetos, respectivamente, determinou-se a carga térmica que é introduzida ao recinto por insolação.

Tabela 5. Carga térmica de convecção e insolação no recinto em w/m².

Descrição (Orientação)	Área (m ²)	Fator Solar (W/m ²)	Resistên cia (m ² K/W)	DT (°C)	Entalpia (W/m ² K)	Coef. de absorção solar	Carga térmica (W/m ²)
Nordeste	90,87	266,80	0,0027	9,0	20	0,50	2586,38
Sudoeste	65,92	433,84	0,0038	9,0	20	0,50	2447,05
Sudeste	21,62	433,84	0,0115	9,0	20	0,50	947,41
Teto Noroeste	100,60	266,80	0,1714	9,0	20	0,50	2348,74
Teto Sudeste	100,60	0	0	6,0	0	0	0
Total							8329,58

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com o total de pessoas no recinto e com a intensidade da atividade realizada por cada uma, obteve-se um ganho térmico total devido às pessoas de 17550 W/m². Tomando o total de lâmpadas fluorescentes e aparelhos elétricos, levando em consideração a potência de cada um, obteve-se o ganho térmico total de calor de 9465 W/m².

Utilizando o método das frestas e tomando as Equação 7, para determinar a quantidade de calor, respectivamente, transmitido ao recinto por infiltração através frestas das janelas e porta, obteve-se a Tabela 6.

Tabela 6. Carga térmica, devido infiltração no recinto.

	Densidade do ar (kg/m ³)	Vazão vol. de ar ((m ³ /s) /m)	Varição de entalpia (kJ/kg)	Ganho de calor (W/m ²)
Janelas	1,2	8,333*10 ⁻⁴	306-297	26,99
Porta	1,2	1,806*10 ⁻³	306-297	48,76
			Total	75,75

Fonte: Elaborado pelos autores

Para o cálculo da carga da ventilação, entrada intencional de ar externo no recinto, realizada por meios mecânicos, utilizou-se as Eq. 8 e 9. Com base na norma NBR 16401 e informações segundo o dono da academia. A carga efetiva foi encontrada em (L/s) e dividida por 1000 para ser expressa em (m³/s) (Tabela 7 e 8).

Tabela 7. Vazão eficaz de ar exterior (V_{ef}).

Fp (L/s*pes.)	Fa (L/s*m ²)	Pz	Az (m ²)	Vef (m ³ /s)
7,5	0,9	30	201,2	0,40608

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 8. Carga térmica de ventilação.

Densidade do ar (kg/m ³)	Vazão eficaz (m ³ /s)	Varição de entalpia (kJ/kg)	Ganho de calor (W/m ²)
1,2	0,40608	306-297	4385,6

Fonte: Elaborado pelos autores

Fazendo o somatório tem-se o total de calor que se deve retirar do recinto, assim, a carga térmica total foi de 57827,07 W/m² para a academia Fisiofitness.

Na Tabela 9, é possível analisar um resumo de todos os ganhos de calor considerados no recinto em questão que serão transformados em toneladas de refrigeração (TR).

Tabela 9. Resumo dos ganhos de calor na área da academia em w/m².

Descrição	Quantidade de Calor (W/m ²)	Quantidade de Calor (Btu/h)	Quantidade de Calor (TR)
Condução	18021,14	61488,13	5,124
Insolação	8329,58	28420,53	2,368
Pessoas	17550,00	59880,60	4,990
Equipamentos	9465,00	32295,91	2,691
Infiltração	75,75	258,47	0,021
Ventilação	4385,60	14964,28	1,247
Calor Total	57827,07	197307,92	16,441

Fonte: Elaborado pelos autores

Em cálculos de carga térmica, é indicado adotar um coeficiente de segurança para suprir eventualidades, uma vez que os valores considerados nos cálculos são estimados.

Neste trabalho utilizou-se um coeficiente de segurança de 10 % do valor total da Carga Térmica Total calculada, resultando de projeto então para academia foi de 18,08 TR (Tonelada de Refrigeração).

Venturini (2015), usando o mesmo procedimento para dimensionamento da carga térmica, obteve sucesso no tratamento do ar de modo a controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação e pureza do ar.

Quando comparado ao trabalho de Matos (2016), também pode-se observar que há o mesmo sequenciamento de cálculos para melhor conforto térmico e obedecendo os mesmos princípios das normas. Também os resultados comparados com o trabalho de Rosa (2018) estabelecem uma concordância de valores.

O estudo de Santos (2019) utilizou os mesmos princípios para dimensionar a carga térmica de uma academia de ginástica localizada na cidade de Mossoró-RN. A área do ambiente era de 259,53 m², com uma quantidade de 84 pessoas e a mesma quantidade de aparelhos elétricos. Determinou-se, naquele caso, uma carga térmica de 30,74 TR, pois o clima da região e o ambiente são afetados pela radiação solar em todas as paredes e teto. No caso desta pesquisa, em São Pedro dos Ferros, o ambiente não possui radiação solar em umas das paredes e em 50% do teto. Além disso, há 54% de pessoas a menos no recinto, determinando 18,08 TR.

Na simulação representada na Figura 11, em que se encontram os posicionamentos das máquinas de ar-condicionado (AC 1, AC 2, AC 3 e AC 4), verificamos que há um déficit no fluxo de ar na parede noroeste da academia onde se encontra a maior parte dos equipamentos para exercício aeróbicos (que fazem com que o praticante sue mais e sinta, conseqüentemente, mais calor), desse modo, não atendo um fluxo aceitável.

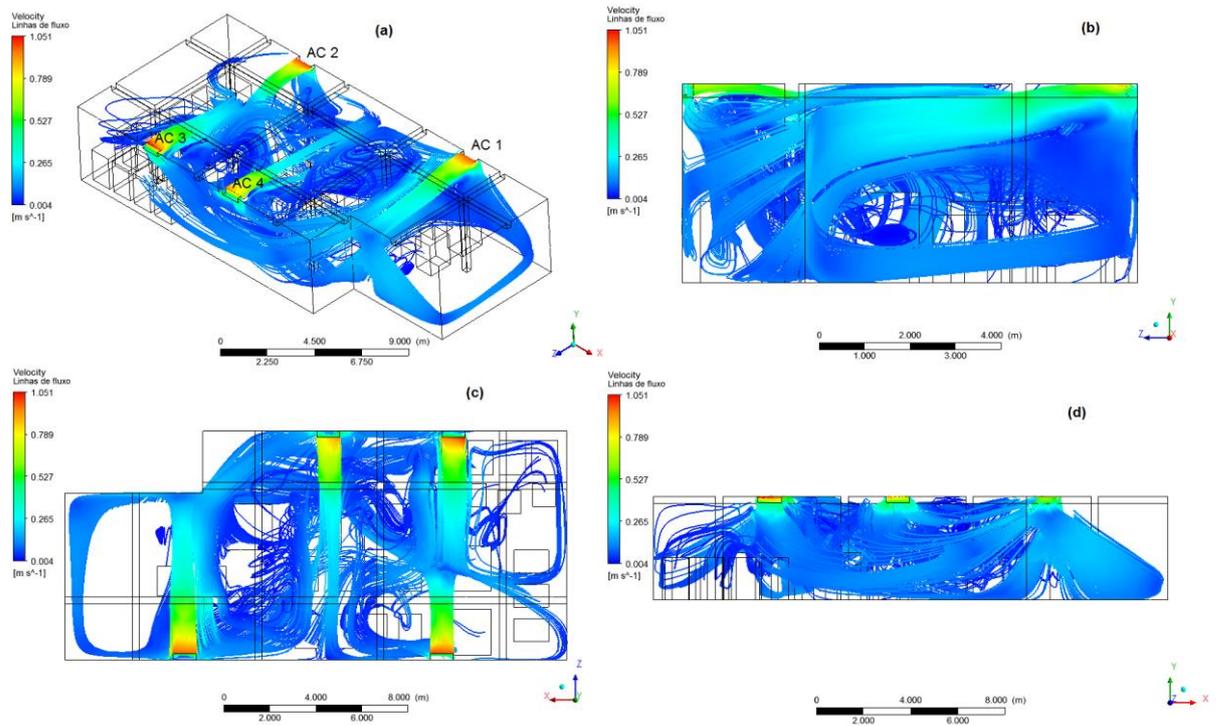


Figura 11. Simulação do fluxo de ar.
Fonte: Elaborados pelos autores.

Assim, foi simulada uma nova versão para configuração de posicionamento dos aparelhos de ar-condicionado (Figura 12), visando a melhorar a circulação de ar para área com deficiência, inserindo o AC 4 ao lado esquerdo da região sudeste, fazendo frente aos equipamentos e fixando o AC 3 mais próximo dos equipamentos.

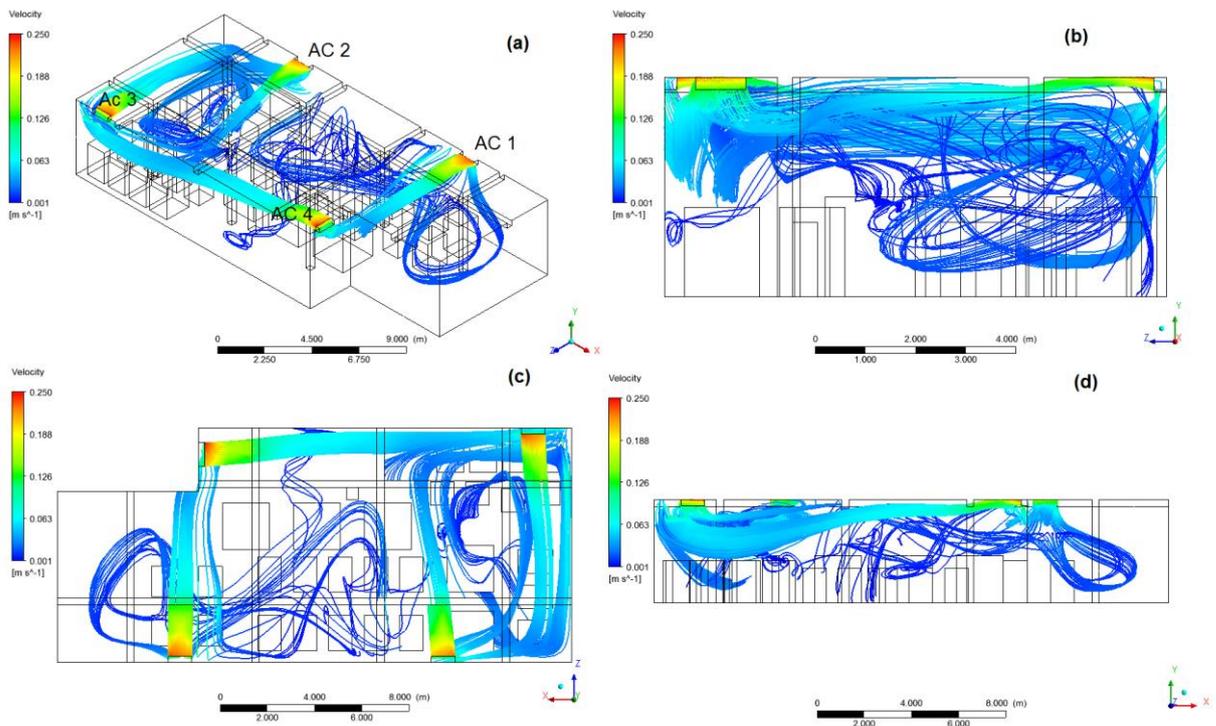


Figura 12. Simulação do fluxo de ar.
Fonte: Elaborados pelos autores.

Pode-se perceber que melhorou o fluxo de ar para a área com deficiência, mas diminuiu a concentração de ar ao centro do recinto. Nesse caso, o fluxo de ar sai de uma máquina e logo é aspirado pela outra no caminho do fluxo, não promovendo, assim, uma circulação adequada no ambiente da academia.

Logo, mais uma configuração foi simulada (Figura 13), voltando com AC 4 a sua posição inicial. Pode-se notar que o fluxo de ar na área com deficiência e o centro é contínuo e satisfatório, fazendo com que haja uma circulação em todo ambiente mais homogênea.

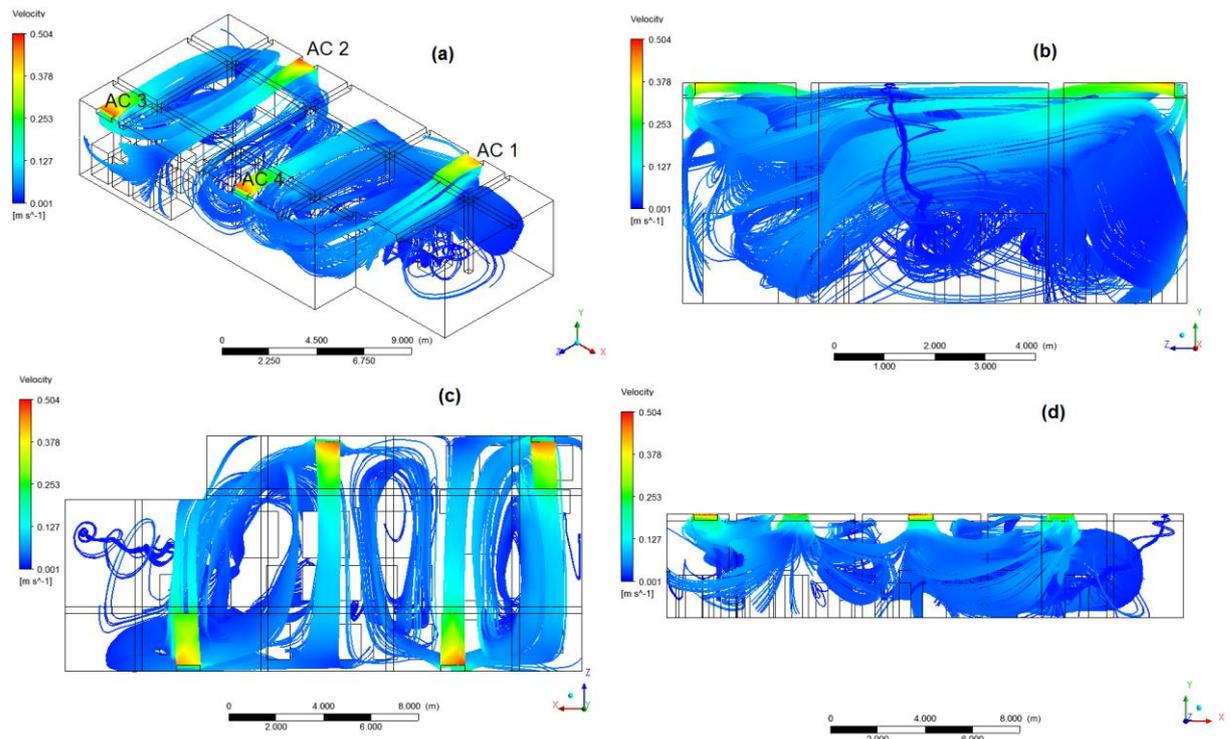


Figura 13. Simulação do fluxo de ar.
Fonte: Elaborados pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de ar-condicionado do tipo Split foi o escolhido para este projeto, devido ao seu bom rendimento associado aos baixos custos de instalação e manutenção. Portanto, para a academia Fisiotfness, indica-se a instalação de 4 aparelhos de 60.000 BTUh-1 por ser um espaço de longo comprimento, assim, fazendo uma circulação de ar por todo o ambiente. Optou-se por aparelhos de mesma potência, com a finalidade de facilitar a manutenção do sistema, proporcionar melhor distribuição de ar e se antever a uma possível necessidade de aumento de carga.

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que a maior parcela do ganho térmico introduzida ao recinto se dá por condução, devido ao fato de que quase todas as paredes e teto receberem insolação. Além disso, as áreas totais das paredes no recinto são maiores

que as áreas das janelas e portas. Vale ressaltar também que as paredes são de tijolos embolso simples, possuem cor escura e não contam com nenhuma proteção contra condução e insolação.

Neste trabalho foi escolhido o sistema de ares-condicionados do tipo Split, por ter um custo relativamente menor do que Fan-Coil/Chiller em termos de instalações, manutenção e custos. É relevante destacar que o emprego de proteção para as janelas de vidro implica em redução significativa no ganho térmico através da transferência de calor por radiação solar, na ordem de 70% para todos e 45% para persianas internas e refletoras. E para uma obtenção de cor clara, uma redução de 44,5% na redução de calor para insolação pelas paredes.

Com as simulações feitas no ANSYS (CFX), pôde-se definir uma posição adequada para as máquinas de ar-condicionado, promovendo um arrefecimento mais satisfatório usufruindo melhor das máquinas e garantindo uma maior eficiência. Assim, trazendo conforto e bem estar para as pessoas na academia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES. R. R. **MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO HUMANO**. São Paulo 2011. Disponível em: TGI-[ROGERIOROZOLEN_FINAL.pdf](#). Acesso em: 15 maio 2021.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 17 dez 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 16401: **Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. São Paulo, SP, 2008. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/NBR_16401-1_2008.pdf. Acesso em: 20 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 16401-2. **Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/NBR_16401-2_2008.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <file:///C:/Users/caio%20santos/Downloads/NBR15220-3.pdf>. Acesso em 20 maio 2021.

AMBIENTE GELADO. **Comportamento de Fluidos Refrigerantes em Sistemas de Refrigeração**. Disponível em: www.ambientegegado.com.br/artigos-tecnicos/fluidos-refrigerantes/tipos-de-fluidos/371-comportamento-dos-fluidos-refrigerantes-em-um-sistema-de-refrigeracao. Acessado em 12 maio 2021.

ARAÚJO. P. E. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS – Arquitetura e Urbanismo. **Apostila de ar Condicionado e Exaustão**. Brasília 2011. Disponível em: Microsoft Word – Apostila de ar-condicionado e exaustão -10.2011. Acesso: 26 mar. 2021.

ASHRAE. **Moldando o ambiente construído do amanhã hoje**. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>. Acesso em: 2 jun. 2021.

BLOGFRIO. Tubo capilar x válvula de expansão: qual é a melhor escolha. Disponível em: blogdofrio.com.br/tubo-capilar-x-valvula-de-expansao-qual-e-a-melhor-escolha Acesso em: 3 jun. 2021.

CARRIER. **Sobre Willis Carrier, biografia**. Disponível em: <http://www.williscarrier.com/about.php> . Acesso em: 12 maio 2021.

CEFET-BA. **Sistemas de Climatização**. Disponível em: fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/11/sistemas-de-climatizacao5.pdf Acesso em: 20 maio 2021.

CHAVES. C. A. et al. **Simulação Computacional do escoamento de Ar Através de uma Válvula Borboleta**. Taubaté, 2014. Disponível em: www.swge.inf.br/mercofrio2014/anais/PDF/MF2014-0002.pdf. Acesso em: 3 jun. 2021.

Climasul. **SOLUÇÕES EM CLIMATIZAÇÃO**. Disponível em: <https://climasul.com.br/a-temperatura-ideal-do-ar-condicionado>. Acesso em: 3 jun. 2021.

ESGANZELA. A. J. **Material de Estudo para o Ensino da Umidade Relativa do Ar**. Cuiabá, MT. 2014. Acesso em: 03 maio 2021. Disponível em: ri.ufmt.br/bitstream/1/392/1/DISS_2014_Jo%C3%A3o%20Am%C3%A9rico%20Esganzela.pdf

FARIA. C.A.F. **Ferramenta de apoio para gerenciamento de projetos e dimensionamento de sistema de ar condicionado**. Paraná.2016. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15130/4/PB_DAMEC_2016_1_07. Acesso em: 5 jun. 2021.

FAZFACIL. **Ar Condicionado de Parede: Faça uma boa instalação**. Disponível em: www.fazfacil.com.br/manutencao/ar-condicionado-parede. Acesso em: 07 mar. 2021.

FERNANDES C. D. et al. **Dimensionamento de um Sistema de Ar-Condicionado para um Templo Religioso em Aracruz**. Orientador: Prof. João Paulo Calixto da Silva. 2018. 62 f. Dissertação (Bacharel em engenharia mecânica)- Faculdades Integradas de Aracruz, 2018. Acesso em: 17 dez. 2020.

FERROS. S. **Informações**. Minas Gerais 2021. Disponível em: www.cidade-brasil.com.br/municipio-sao-pedro-dos-ferros.html. Acesso: 01 maio 2021.

FIRME. F. A. **Estudo Experimental da Formação de Gelo em Evaporadores**. Covilhã, Outubro de 2015. Acesso em: 11 maio 2021. Disponível em: ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/5870/1/4382_8458.pdf

FIRMAC. Instalação De FanCoil / Chiller E Manutenção Preventiva. Rio de Janeiro. Disponível em: firmade-ar-condicionado.com/industrial/instalacao-fancoil. Acesso em: 27 nov. 2020.

FRIGOR. E. Tudo para Refrigeração, Ar-Condicionado e Lavadora. Disponível em: www.eletrofrigor.com.br/tipos-de-compressor-para-refrigeracao. Acesso: 25 maio 2021.

FROTA e SCHIFFER. **Manual de conforto térmico. 2021.** Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>. Acesso em: 26 maio de 2021.

GUIBOURG. C. **Aquecimento Global: 7 gráficos que mostram em que ponto estamos.** 2019. Disponível em: [Aquecimento global: 7 gráficos que mostram em que ponto estamos - BBC News Brasil](http://www.bbc.com/portuguese/brasil-55888888). Acesso em: 17 dez. 2020.

INFOCLIMA. Qual a temperatura ideal do ar condicionado para climatizar seu ambiente. Disponível em: <https://infoclima.com.br/2020/03/25/temperatura-ideal-ar-condicionado>. Acesso em: 26 maio 2021.

JUNQUEIRA. A. R. **Simulação em Conforto Térmico.** Guarapuava 2018. Disponível em: repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10233/1/GP_COEME_2018_1_06.pdf. Acesso em: 3 jun. 2021.

LAMBERS. R; DUTRA. L e RUTTKAY. F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Rio de Janeiro. ANO 3.

LEVEROS. Ar-Condicionado Split HW Springer Midea MAXIFLEX 12.000 BTUs. Disponível em: www.leveros.com.br/ar-condicionado-maxiflex-12000/p. Acesso em: 28 mar. 2021.

LUIZETTO. F. E. L. **Conforto Térmico em Ambientes de Escritório.** Universidade de São Paulo. São Paulo 2014. Disponível em: poli-integra.poli.usp.br/library/pdfs/39e10afeb57382ae3333cabcb204c9fb.pdf. Acesso em: 15 maio 2021.

MARTINELLI C. L. Refrigeração e Ar-Condicionado. Parte IV – Psicrometria. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/FT/Psicrometria2.pdf>. Acesso em: 03 jun 2021.

MATOS. S. R. Universidade Federal do Paraná. **Climatização.** Paraná, 2016. Acesso em: 12 maio 2021. Disponível em: <ftp://demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC153/Apostila/Apostila%20Climatiza%E7%E3o.pdf>

MERCADO LIVRE. **Serpentina, Evaporador e Ar Condicionado Split.** Disponível em: produto.mercadolivre.com.br/MLB-1301828562-serpentina-evaporador-ar-condicionado-split-philco-inverter-ph9000-_JM#&gid=1&pid=1. Acesso em: 11 maio 2021.

MORAIS. F. K.et al, **Dimensionamento de um Sistema de Ar-Condicionado para as Áreas de Estudo da Biblioteca Central da UFCG.** Bahia 2019. Disponível em: www.researchgate.net/publication/336887758_Dimensionamento_de_um_Sistema_de_Ar_Condicionado_para_as_Areas_de_Estudo_da_Biblioteca_Central_da_UFCG. Acesso: 01 abr. 2021.

PACTOBLOG. Número de academias cresce no Brasil, mas faturamento cai.2018. Disponível Em: <https://blog.sistemapacto.com.br/numero-de-academias-cresce-no-brasil-mas-faturamento-cai/>. Acesso em: 3 maio 2021.

NIOSH. **NationalInstituteofOccupationalSafetyand Health.** NIOSH PublicationsandProducts, Building Air Quality; Workplac Solutions. 2017. Disponíveis em: Acesso em: 15 maio 2021.

NÉBORA L. e MARIA. D. **Avaliação da Eficiência e Energética da Evoltoria do Bloco Acadêmico “a” da UFFS/CAMPUS.** Erechim, 2015. Disponível em: doi.org/10.18256/2318-1109/argimed.v4n2p42-51. Acesso em: 22 dez. 2020.

NEVES.S. **A história do ar-condicionado.** Goiânia, 2018. Disponível em: <https://cemeq.ufg.br/n/103153-a-historia-do-ar-condicionado>. Acesso em: 4 jun. 2021.

SANTOS. P.R. **Dimensionamento de Carga Térmica de uma Academia.** Carnaúba, 2019. Disponível em:repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3045. Acesso em:5 jan. 2021.

SICLIFUX. **Ar em movimento.** Araquari. S.C. 2019. Disponível em: <https://sicflux.com.br/blog/como-virus-e-bacterias-se-espalham-no-ambiente>. Acesso em: Junho de 2021.

SILVA L. **Plano de manutenção, operação e controle do ar condicionado central presente no hotel das cataratas.** Medianeira. 2014. Disponível em:<http://docplayer.com.br/185086362-Plano-de-manutencao-operacao-e-controle-do-ar-condicionado-central-presente-no-hotel-das-cataratas.html>. Acesso em: 5 jun. 2021.

SOUZA.L.G. **Eficiência energética em sistemas de ar-condicionado: Revisão de literatura.** Pato branco 2019. Disponível em:http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24763/1/PB_DAMEC_2019_1_08.pdf . Acesso em: 5 jun. 2021.

STOECKER. W. J. et al. **Refrigeração e ar-condicionado.** São Paulo; McGraw-Hill do Brasil,1985. Acesso em: 22 dez. 2020.

ROCHA. C. R e ALMEIDA.R. **Desenvolvimento de Ferramenta Computacional em Visual Basic para Estimativa de Carga Térmica Segundo a NBR 16401.** Vitória, 2010. Disponível em:mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2010-1_rafael_campos_e_rafael_de_almeida.pdf.Acesso em: 03 maio 2021.

ROSA. E. D. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ. **Projeto Básico do Sistema de Ar Condicionado Central e Ventilação Mecânica do Novo Restaurante Universitário do CEFET/RJ.** Rio de Janeiro, 2018. Acesso em: 12 maio 2021. Disponível em: www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/Projeto%20Final%202018_2%20Projeto%20B%C3%A1sico%20Sist%20Ar%20Condicionado%20Central%20e%20Ventila%C3%A7%C3%A3o

ESGANZELA. A. J. **Material de Estudo para o Ensino da Umidade Relativa do Ar.** Cuiabá, MT. 2014. Acesso em: 03 maio 2021. Disponível em: ri.ufmt.br/bitstream/1/392/1/DISS_2014_Jo%C3%A3o%20Am%C3%A9rico%20Esganzela.pdf

TERMODINÂMICA - 5. ed. código: [Yunus a. Cengel e Michael a. Boles](#) Editora: McGraw-Hill Brasil. Ano: 2007. Acesso em: 02 maio 2021.

VENTURINI, J. O. Universidade Federal de Itajubá. **Condicionamento de Ar e Conforto Térmico**. Itajubá 2015. Acesso em: 12 maio 2021. Disponível em: www.academia.edu/40435143/UNIVERSIDADE_FEDERAL_DE_ITAJUB%C3%81_CONDICIONAMENTO_DE_AR_E_CONFORTO_T%C3%89RMICO

LISTA DE SÍMBOLOS

Q	Fluxo de calor (kcal/h)
ΔT	Diferença de temperatura (°C)
U	Coeficiente global de transmissão de calor (kcal/h · m ² · °C)
<i>t_e</i>	Temperatura do exterior (°C)
<i>t_i</i>	Temperatura do interior (°C)
Δt	Acréscimo do diferencial de temperatura
R	Resistência total
F_s	Fator Solar (w/m ² ·k)
I	Fator Solar de Insolação (w/m ²)
V	Vazão volumétrica do ar (m ³ /s)
He	Variação de entalpia (k)
α	Absorção para radiação solar
ρ_{ar}	Densidade do ar (kg/m ³)

MANUTENÇÃO PREDITIVA EM INDÚSTRIA DE COMMODITIES AGRÍCOLAS

Acadêmicos: Cassiano Anthony de Melo Rocha
Jhonathan dos Santos Viana

Orientador: Esp. Carlos Eduardo Marques Cerqueira,

RESUMO

A manutenção é um setor fundamental para o desenvolvimento de uma indústria e para o crescimento do mercado. A evolução industrial permitiu que o setor se destacasse e procurasse melhorias para combater as quebras de equipamentos, para que os lucros sejam maiores do que os previstos pelas empresas. O objetivo do presente estudo foi avaliar a implementação da manutenção preditiva em uma indústria de commodities agrícolas que recebe, rebeneficia e exporta café e está localizada na cidade de Matipó/MG.

Para isso, avaliaram-se dados coletados dos equipamentos da empresa por meio de uma técnica de manutenção preditiva. Também foram avaliadas as horas nas quais esses equipamentos se encontravam desligados e o custo que essa parada acarretou para a empresa. Os resultados mostram a redução dos gastos após o controle sistemático por meio da implementação da manutenção preditiva no setor de rebenefício da indústria. Conclui-se, então, que as práticas de manutenção aplicadas com apoio de gestão e controle, são essenciais para a redução de custos.

PALAVRAS-CHAVE: Vibração; Custos; Gestão e Planejamento.

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio tem participação fundamental na economia do Brasil, desde os agrosserviços até o comércio de exportação. O grande volume de commodities agrícolas resultou em uma maquinaria robusta e eficiente para que o produto chegasse sem atraso ao consumidor. Aliado a isso, surgiu a preocupação com o meio ambiente, resultando em técnicas de engenharia para reduzir a emissão de poluentes.

Com a expansão do uso de máquinas agrícolas no processo produtivo, o setor de engenharia de manutenção foi valorizando-se devido às altas demandas de commodities no mercado, exigindo maior durabilidade dos componentes dos equipamentos. Com isso, a necessidade de um plano de manutenção é fundamental, utilizando-se técnicas e ferramentas que contribuam para o funcionamento constante das empresas do agronegócio.

Como afirma Labre (2019), essas técnicas de manutenção são constituídas por quatro pilares: manutenção corretiva, preventiva, proativa e preditiva — destacando-se a preditiva. Com a ajuda de dados coletados por inspeções e monitoramentos, essa técnica de manutenção utiliza diferentes tipos de testes, como a análise de vibração, inspeção visual, análise termográfica e técnicas de análise não destrutivas (GALLI, 2017).

A aplicação dessa técnica na indústria assegura um plano de ação para que se trate a falha antes da quebra (TOAZZA e SELLITO, 2015, *apud* LABRE, 2019), diminuindo, então, os custos de uma manutenção corretiva, a qual, por sua vez, impacta diretamente na parada de equipamento. Neto e Lima (2002) defendem a ideia de que a manutenção corretiva deve ser reduzida a fim aumentar a disponibilidade de máquina.

Em período de grandes volumes de commodities, longas paradas afetam os processos de expedição do produto. Conforme Vilela (2020), isso ocorre devido aos custos de maquinação em relação ao volume recebido, pois eles não possuem uma relação positiva. Esses custos referem-se ao investimento da empresa para o processamento, como energia e mão-de-obra, por exemplo. Visando à redução do número de paradas não-

programadas e, conseqüentemente, aos gastos com manutenção, o presente trabalho tem como objetivo a avaliação de uma manutenção preditiva com o uso de ferramentas de análise de vibração e análise FMEA (do inglês, *Failure Mode and Effect Analysis*), nos anos de 2019 a 2020, com um plano de ação para a tratativa de uma falha encontrada no relatório vibracional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO NAS INDÚSTRIAS

A ideia básica de manutenção foi evoluindo ao longo dos tempos; novas indústrias foram crescendo, e a necessidade de manter uma vida útil de máquina foi aumentando. Para Almeida (2014), a participação desse setor não é direcionada apenas para planos e reparos, mas também a novas ideias e desenvolvimentos, graças à alta disponibilidade de materiais no mercado.

Todavia, antes das inovações e novos projetos, um plano bem consistente já deve existir, priorizando as manutenções periódicas e preocupando-se com a quantidade de horas trabalhadas pelo equipamento. Esse princípio de prevenção foi idealizado por volta da década de 50, quando os impactos da industrialização surgiram. Como afirma Viana (2016), a partir daquela data, as primeiras técnicas para se elaborar um plano de manutenção preventiva apareceram e, diretamente, buscavam alavancar a atuação da manutenção nas indústrias, ou seja, a manutenção preditiva.

A manutenção preditiva, segundo Tondato (2004), consiste na inspeção com periodicidade regular, indiferentemente se ocorrer alguma falha na máquina. Isso transforma o que seria considerado uma manutenção reativa em manutenção proativa. Para Borlido (2017), os objetivos dessa técnica de manutenção vão além da redução de custos e da vida útil da máquina; ela impacta também na qualidade, evitando contaminações e quebras do produto, e na segurança do trabalho, identificando pontos com anomalias que podem causar algum acidente com o funcionário.

A manutenção preditiva, segundo Righetto (2020), é uma técnica que se adapta à evolução tecnológica, consolidando-se como uma técnica de manutenção futurista e promissora. Essa ferramenta de engenharia caracteriza-se pelo acompanhamento das máquinas enquanto está operando, intervindo somente quando alguma anomalia for identificada. Logo, o monitoramento realizado pela preditiva irá auxiliar beneficentemente os custos em relação à manutenção preventiva (apresenta o ponto específico da possível falha) e a manutenção corretiva (parada e quebra de componentes) (BORLIDO, 2017).

A aplicação desses planos busca a redução do uso da Manutenção Corretiva, essa, segundo Santos (2019), é a menos recomendável a se utilizar, devido ao alto tempo gasto para execução, pois depende exclusivamente da quebra ou falha.

2.2 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREDITIVA NA INDÚSTRIA

Uma gestão de manutenção é de extrema funcionalidade para qualquer empresa e, para tanto, os controles e execuções de serviços são guiados por um plano. Quando implementado, esse plano de controle de manutenção (PCM) impacta diretamente e positivamente na produção, tendo um excedente de eficiência operacional ao ser comparado com eficiência anterior ao plano (COSTA, *et al.*, 2018).

Esse plano consiste em utilizar as técnicas de manutenção para que se resulte em indicadores fundamentais para a empresa, a eficiência global do equipamento e a disponibilidade de máquina. A eficiência global do equipamento — ou somente OEE (do inglês “*Overall equipment effectiveness*”) — aborda o desempenho das máquinas em funcionamento em relação com o tempo programado para execução do processo e a capacidade projetada para trabalho (MEGIOLARO, 2015, *apud* ZUASHKIANI, *et al.*, 2011).

Esse indicador baseia-se no produto dos fatores disponibilidade (tempo de máquina disponível e operando), desempenho (capacidade de operação em relação ao tempo trabalhado) e qualidade (quantidade de produtos produzidos em relação a quantidade de produtos refugos). Para Santos (2019), esse indicador é facilmente aplicável em qualquer cenário industrial, observando os fatores para aumento na eficácia da empresa e o monitoramento operacional dos equipamentos.

A disponibilidade, como abona a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994, p.8), é o quanto um item está em condições de executar sua função em um determinado período de tempo. Esse indicador é o mais importante para a manutenção.

O fator disponibilidade do OEE e o indicador disponibilidade de máquina são itens semelhantes, porém não os mesmos, visto que o fator do OEE pode englobar inúmeros pontos. Nas indústrias agrícolas, é possível observar alguns desses, tais como: falha operacional, falta de espaço para armazenagem, silos e tulhas com capacidade máxima, entre outros; já a disponibilidade de máquina, refere-se exclusivamente ao equipamento em operação (MEGIOLARO, 2015).

Para alcançar uma porcentagem alta nos indicadores, principalmente na disponibilidade, a técnica de Manutenção Preditiva é uma excelente prática, considerando que as vantagens de sua implantação, com suas ferramentas de inspeção e análises,

envolvem diretamente a redução de custos e aumento de produtividade (RIGHETTO, 2020).

2.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS NA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Para que seja possível a execução de um plano de Manutenção Preditiva, é necessário que existam instrumentos específicos, os quais coletam dados e registram informações de falhas do equipamento. Esses dados são fenômenos físicos, como: vibrações acima do normal, altas temperaturas, integridade estrutural, entre outros defeitos (PIRES e OKADA, 2020).

Mesmo que essas falhas possam ocorrer em um equipamento, — a vibração por exemplo — não se trata somente de uma avaria negativa, já que vários desses equipamentos são projetados para uma operação vibracional moderada. O estudo da análise de vibração torna-se importante para os indicadores e não-conformidades, necessitando de um plano de ação como tratativa de falha (MARQUES e BRITO, 2019).

As falhas apontadas podem ser diversas, envolvendo folgas excessivas em rolamentos, desalinhamentos, desbalanceamento, vibração acelerada, empenamento de eixo, etc. Vanzo (2017) cita que as falhas decorrentes dos rolamentos são uma das principais paradas que ocorrem, visto que os diagnósticos relatados ainda não possuem uma leitura correta.

Para Nascimento (2016), a coleta de dados feita pela análise vibracional deverá ser computada em *softwares* que transformam essas medidas lidas em dados gráficos legíveis para o analista, o qual deve ter conhecimento dos elementos que constituem a vibração de sua máquina.

Esse tipo de análise exige parâmetros para leitura de dados e os parâmetros físicos de vibração associados a máquinas rotativas são: aceleração, deslocamento e velocidade, conforme Santos, Araújo e Lima (2018). Para Galli (2017), esse tipo de análise preditiva é bastante viável para máquinas rotativas, permitindo um melhor conhecimento e acompanhamento da integridade mecânica do equipamento, mostrando resultados confiáveis e que antecipam a quebra.

A partir dessa coleta, informações são geradas para elaborar uma tratativa que se adapte ao calendário de produção para que a máquina não fique parada e a produtividade continue alta. Com o relatório FMEA, é possível avaliar as possíveis falhas e o que de fato a ocorrência dessa falha pode gerar para empresa. Utilizando essa metodologia, oportunidades de melhoria de processo também são identificadas.

2.4 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

Com os resultados obtidos pela técnica preditiva, a leitura dos relatórios com anomalias é de responsabilidade do encarregado da área de manutenção ou de uma empresa de manutenção terceira. Com esses dados, a manutenção propõe ações para serem aplicadas aos equipamentos analisados, antecipando as falhas e perdas que poderão ocorrer futuramente (SANTOS, ARAUJO e LIMA; 2018). Anomalia, é um estado anormal de funcionamento, podendo ser simples ou crítico; a falha é a quebra, possivelmente causada pela anomalia indicada antes.

Esses dados podem ser avaliados de maneira quantitativa e/ou qualitativa, coletando-se pela prática vibracional e analisando pelo relatório FMEA. Segundo Righetto (2020), na análise vibracional, a coleta de dados é transformada em gráficos de tendência, que podem ser avaliados de diversas formas, por uma análise global, demodulação ou o espectro de vibração; já para o relatório FMEA, utilizam-se criticidades para determinar o quanto aquele componente/equipamento impacta na empresa. O RPN (*Risk Priority Number*, do inglês “Número de prioridade de risco”) é o produto entre a gravidade do componente, probabilidade de ocorrer uma falha e a probabilidade de detectar essa falha; quanto maior o resultado, mais crítico aquele componente é, necessitando de maior prioridade para tratar.

Com este estudo, é possível mapear quais equipamentos são mais críticos e que mais impactam no processo produtivo, avaliando-se, com a ajuda de gráficos e planilhas, onde atuar para melhorar as condições de funcionamento dos equipamentos, juntamente à redução de paradas e custos.

3. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido em uma empresa privada de commodities agrícolas, na cidade de Matipó, Minas Gerais. Esta região apresenta um grande volume de café, que é o produto recebido, maquinado e exportado da indústria.

Para o desenvolvimento do projeto, foram avaliadas duas fases de implementação. Uma no decorrer do ano de 2019, como modo de teste, sem ter um acompanhamento sistemático, com pouca prioridade do setor de manutenção para tratativas de falha; e outra no ano de 2020, em que foi priorizada a frente de outras atividades de manutenção, tornando-se uma ação obrigatória para equipe de manutenção.

Os equipamentos que serão medidos e avaliados são os seguintes: Catador de Pedras, que separa as pedras do café; Mesa Densimétrica, que separa por densidade os grãos do café dos resíduos; Classificador de Peneira, que separa o café pelo tamanho do

grão; Pré-Limpeza, que retira as impurezas como galhos, folhas e linhas de sacaria; Tripper, elevador e transportador, operam transportando horizontal e verticalmente o café até as caixas de armazenamento.

Para definir os equipamentos de prioridade para tratativa, foi estabelecido uma matriz de criticidade por meio de relatório FMEA, buscando selecionar os equipamentos mais importantes. Essa matriz foi separada por tipo de equipamento e consiste em classificar a gravidade, a probabilidade de ocorrência de falhas e sua identificação, classificando com ajuda de um indicador, chamado RPN, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Análise FMEA para avaliar criticidade. Gravidade Rate: 1 – 10 (10 = Mais Grave); Probabilidade de ocorrência Rate: 1 - 10 (10 = Maior probabilidade); Probabilidade de detectar falha Rate: 1 - 10 (10 = Menor probabilidade); *Risk Priority Number*.

Equipamento	Gravidade	PO	PDF	RPN
Catador de Pedras	9	7	3	189
Mesa Densimétrica	9	7	3	189
Classificador de Peneira	8	7	3	168
Pré-Limpeza	8	8	2	128
Tripper	8	4	3	96
Elevador de Canecas	6	3	4	72
Transportador de Correia	7	3	3	63

Fonte: Elaborado pelos autores

Esses dados foram coletados por uma caneta de vibração chamada “*Pruftechnik Vibxpert II*” medindo os mancais que são padronizados pelo tipo de máquina e lidos pelo software “*Omnitrend*”. Também foi feito registro sistemático das ordens de serviço executadas pela equipe, relatando equipamento por equipamento, individualmente.

Para avaliação e registro das ordens de serviço, foi utilizado um sistema integrado de gestão de manutenção transacional, o SAP PM, que registrou todas as inspeções levantadas durante a análise vibracional. Os equipamentos foram programados com antecedência em registros de ordens de serviço (OS) no SAP/PM de equipamento por equipamento. Como exemplo, pode-se observar nos registros do programa: o equipamento e a quantidade, a data de criação e o número de registro dessas ordens, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Registros das ordens de serviço dos equipamentos programadas no SAP/PM.

Equipamento	Quantidade de Equipamentos	Data de Criação	Número das Ordens
Catador de Pedras	2	04/05/2020	50.885.933 e 50.885.934
Classificador de Peneira	4	04/05/2020	50.885.823 a 50.885.826
Mesa Densimétrica	8	04/05/2020	50.885.935 a 50.885.940
Pré-Limpeza	2	04/05/2020	50.885.931 e 50.889.532

Fonte: SAP/PM

Para os pontos de medição de coleta de dados, foram padronizados os mancais excêntricos (os mancais que se posicionam nas extremidades, 03 e 04), mancais do motor (01 e 02) e os mancais internos. O sentido da medição é determinado pelas letras V, H e A, que representam, respectivamente, vertical, horizontal e axial. Os números que antecedem as letras, representam a ordem de medição (primeiro, segundo, etc) (FIGURA 1).

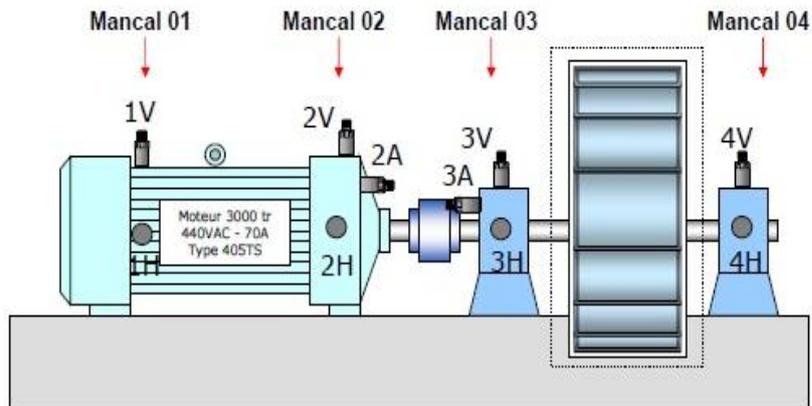


Figura 1: Pontos para medição de vibração dos mancais (Imagem ilustrativa).

Fonte: Vibramec Engenharia

Quando encontrada alguma anomalia nesses pontos, ela é indicada por cinco categorias, como recomenda a empresa terceira responsável pela coleta de dados. Esses parâmetros identificam a criticidade em que se encontra o equipamento.

São elas elas:

- P1 - crítica, necessitando intervenção no máximo 14 dias;
- P2 - crítica, necessitando intervenção no máximo 30 dias;
- P3 - alerta, necessitando avaliação e possível intervenção (com um prazo maior do que a P2) após o equipamento ser avaliado;
- P4 - pré-alerta, necessitando apenas um monitoramento não-rigoroso.
- NA (não-aplicável) – o equipamento está em perfeitas condições de funcionamento.

Para as anomalias encontradas de categoria P1 e P2, foi elaborado um plano de ação por meio da avaliação técnica da equipe de manutenção, chegando à causa raiz da falha e apontando um responsável pela execução e definindo um prazo (dentro dos 14 dias, e 30 dias, respectivamente). Para as outras anomalias de categoria P3 e P4, foram designadas inspeções, em que os mecânicos iriam avaliar a anomalia levantada.

Para análise crítica, todos os dados da preditiva foram computados em planilha de *Excel* e transformados em *Dashboard* (ferramenta para gestão de indicadores e dados que apresentam o status de um setor ou negócio) pelo programa *PowerBI* da Microsoft, a fim de facilitar a visualização e ter um melhor controle de indicadores. O programa ainda consiste em poder relacionar outras planilhas para poder analisar custos, disponibilidade de equipamentos, programação de serviços, etc.

Para realizar o cálculo dos custos por maquinação, foi usado o produto da capacidade produtiva nominal em sacas/hora (Cap_{Nom}) pela diferença dos valores médios de compra e venda da saca de café. Não foram inclusos salários dos envolvidos na área.

Na Equação, é apresentada a expressão para o cálculo de custo potencial por maquinação, de acordo com autores.

$$\text{Custo por Maquinação} = Cap_{Nom} \times (\text{Valor de venda}_{\text{médio}} - \text{Valor de compra}_{\text{médio}}) \quad (1)$$

As máquinas possuem uma capacidade nominal de processar 100 sacas/hora, de acordo com o manual da fabricante. Os valores de venda e compra não foram divulgados, com isso, será utilizado o preço médio de mercado, R\$ 400,00 para compra e R\$ 500,00 para venda. Substituindo na Equação 1, tem-se:

$$\text{Custo por Maquinação} = 100 \frac{\text{Sacas}}{\text{Hora}} \times \left(500 \frac{\text{R\$}}{\text{Saca}} - 400 \frac{\text{R\$}}{\text{Saca}} \right) \quad (2)$$

Para o cálculo do custo por horas paradas, foi multiplicado o resultado obtido na Equação 1 pelas horas de corretiva registradas no setor de rebenefício dos dois anos em análise.

Por fim, os resultados de 2019 e 2020 foram comparados, a fim de demonstrar que o número de horas paradas na área de rebeneficiamento do produto e, conseqüentemente, os custos de maquinação foram reduzidos por meio do planejamento de manutenção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os equipamentos foram avaliados por meio da análise FMEA, os que resultaram em um RPN superior a 100 foram selecionados para priorização. Esses valores revelam uma classificação maior de risco de falhas de máquinas na empresa, gerando, assim, maior atenção da equipe para executar as manutenções.

Os dados levantados foram avaliados e transcritos em um relatório contendo recomendações para mitigação da vibração elevada como, por exemplo, alto picos de vibração indicando impactos do conjunto eixo/rolamento/mancal. Esses impactos são características de folgas mecânicas, assim, as recomendações seriam verificar o dimensionamento do conjunto e verificar a lubrificação do mancal. Em seguida, o

planejamento da empresa contratante computa os dados em uma planilha à parte, montando um sistema de controle de anomalias.

A partir disso, são separadas as anomalias encontradas dos equipamentos em dois grupos: P1 e P2, as anomalias críticas e o grupo P3 e P4, as ações de menor impacto, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Tabela com as criticidades dos dados levantados.

Equipamento	Quantidade de anomalias P1 e P2	Quantidade de anomalias P3 e P4	Total de anomalias apontadas	Total de pontos de medição coletados
Catador de Pedras	10	5	15	84
Classificador de Peneira	3	4	7	78
Mesa Densimétrica	15	13	28	321
Pré-Limpeza	4	5	9	65
Total	32	27	59	548

Fonte: Elaborado pelos autores.

Do total de 59 anomalias levantadas, 30 foram em 2020, contando que foram feitas quatro coletas. No ano de 2019, foram feitas três coletas e registradas quase a mesma quantidade de anomalias.

Após as coletas, foram implantadas ações de troca ou ajuste de componentes para as anomalias encontradas de categoria 1 e 2 (P1 e P2, respectivamente), enquanto as de categoria 3 e 4 (P3 e P4), foram acompanhadas de forma sensível pela equipe de manutenção. No Figura 1, pode-se observar a comparação de anomalias levantadas em 2019 em relação a 2020.

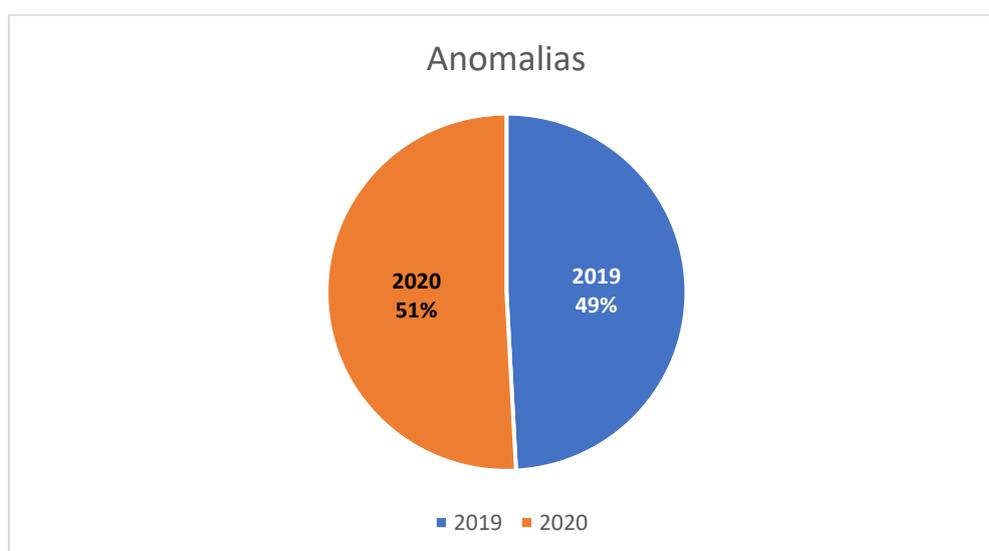


Figura 1: Comparativo entre anomalias levantadas nos equipamentos de rebeneficiamento do café na cidade de Matipó-MG.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Entretanto, o fato de a quantidade de anomalias levantadas em 2020 ser maior não significa que o equipamento ficou parado ou com falhas intermitentes, logo, há um tempo para intervenção que mitiga essa possível falha. Para isso, é necessário haver uma parada programada que, de certo ponto, assemelha-se bastante a uma manutenção preventiva, pois, segundo Mansano (2015), a preventiva necessita ser esquematizada para não atrapalhar o processo produtivo. A diferença trata-se, portanto, de a anomalia não deixar de ser prevista por um plano, mas sim ter o cuidado de não deixar a falha acontecer.

Em 2019, as ações levantadas não foram tratadas como recomendado e registrou-se um total de 9,8 horas de falhas mecânicas para o setor de rebeneficiamento, onde as máquinas em análise foram instaladas. Em 2020, com as tratativas recomendadas, esse número caiu para menos de uma hora parada, representando uma redução de aproximadamente 93% (Figura 2).

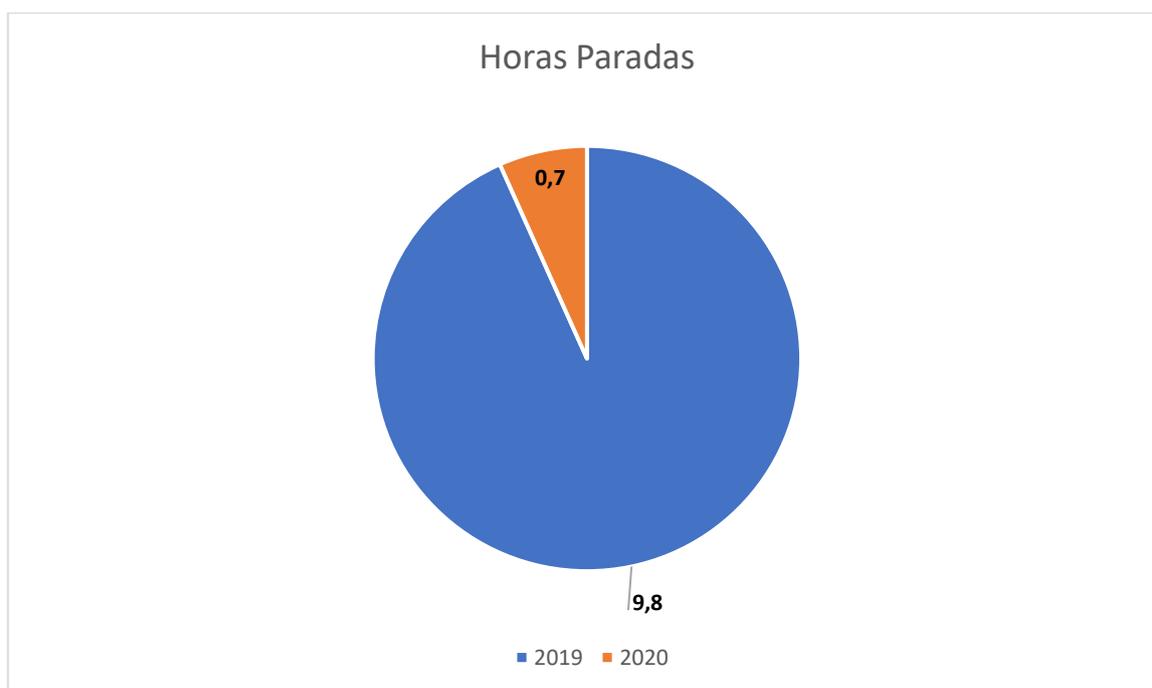


Figura 2: Comparativo de horas paradas por falha mecânica nos equipamentos do setor de rebenefício.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Essas horas de manutenção corretiva afetam a imagem do setor de manutenção na indústria de forma negativa, pois ainda existe um plano de manutenção constando as preventivas. Segundo Soares (2019), a manutenção preventiva apresenta uma diferença de valores para a corretiva. Devido às trocas de peças e horas sem funcionamento, a manutenção corretiva fica mais cara para a empresa.

Para Reis (2021), as manutenções preventivas devem ser priorizadas. Contudo, quando há alguma corretiva, essa deve ser priorizada para tratativa, sendo uma o complemento da outra. Isso aponta um tempo de resposta para falha bastante importante, medindo o grau de eficiência para correção das falhas.

Levando em consideração esse número de horas paradas em relação às anomalias apontadas, é possível avaliar o quão prejudicial para a empresa essas paradas foram. A partir dos resultados obtidos na Eq. 1 e multiplicando pelas horas paradas registradas pela empresa, pode-se observar, no Figura 3, o prejuízo potencial no setor de rebenefício:

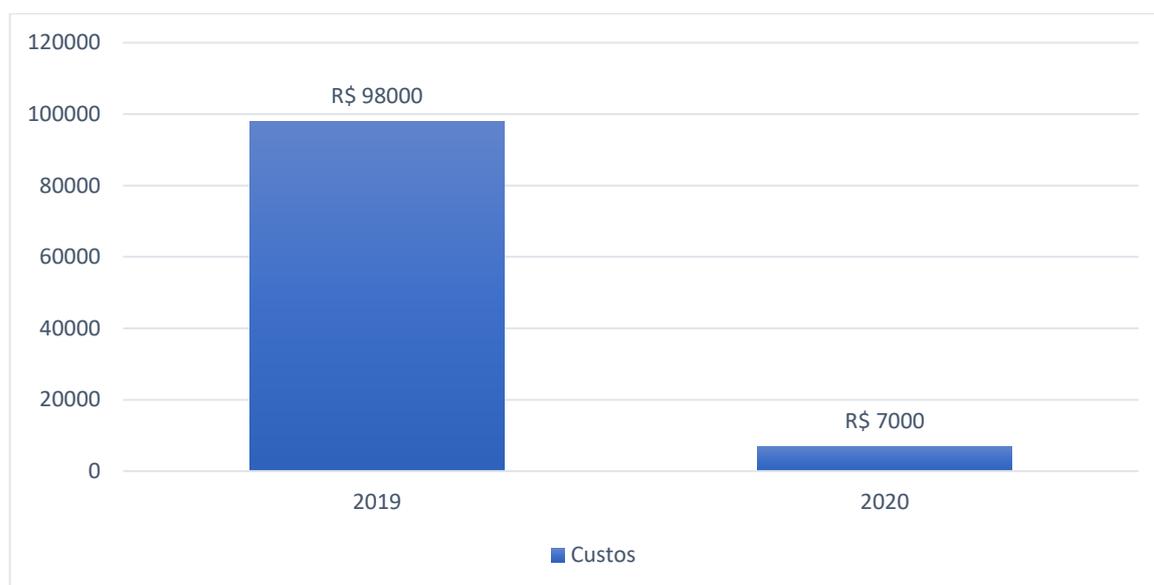


Figura 3: Prejuízo financeiro potencial pelas horas paradas no setor de rebenefício.

Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível observar a diferença dos valores após a execução das paradas programadas realizadas em 2020. Essa diferença de R\$ 91.000,00 é muito significativa no comparativo. Ainda, é válido ressaltar que os valores do preço da saca utilizados são mínimos, logo variam positivamente de acordo com a qualidade do produto.

Esses resultados podem trazer um possível investimento da indústria em outros pontos críticos. Seria possível, portanto, direcionar o custo reduzido para um investimento maior em ferramentas e serviços especializados para execução de preventivas e preditivas mais confiáveis. Isso geraria uma disponibilidade maior das máquinas, a fim de se obter uma quantidade de horas paradas a custo zero.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da ferramenta FMEA resultou em uma orientação positiva para encontrar os pontos de maior criticidade da empresa, fornecendo o direcionamento sobre os principais

equipamentos a serem avaliados pela análise vibracional. Essa verificação demonstrou qual caminho seguir, levantando tratativas para falhas que futuramente possam ocorrer em alguns componentes. Com a ajuda do monitoramento sistemático e prioritário dos equipamentos apontados com falhas e da execução das tratativas antes das manutenções preventivas, ficou evidente que os planos de ação foram eficazes para a redução de custos.

Isso reforça uma importância do investimento na manutenção preditiva, o que infelizmente não é adotado por muitas indústrias pelo custo que apresenta. Todavia, a técnica é uma excelente opção para redução de quebras e para manter o processo produtivo em pleno funcionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Érica, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994. 37 p. Acesso em: 13 dez. 2020.

BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0 - Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [S. l.], 2017.

COSTA, Efraim Menezes De Lima et al. **Implantação de PCM em máquinas industriais: um estudo de caso em uma indústria de autopeças no polo industrial de Manaus sob a perspectiva de gestão de projetos em manutenção**. 2018.

GALLI, Vinícius Barcos. **Manutenção preditiva por análise de vibração mecânica em máquinas rotativas: estudo de caso**. 2017. 96 f. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/157012>>. Acesso em: 05 set. 2020.

LABRE, Pedro Paulo Vieira Queiroz. **Análise de vibração e termografia na manutenção e confiabilidade de equipamentos em uma usina de beneficiamento de sementes**. 2019. Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2019.

MANSANO, Henrique de Mesquita. **Análise de métodos e práticas de parada programada de manutenção. Estudo de caso em planta industrial**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2015.

MARQUES, Ana Claudia; BRITO, Jorge Nei. **Importância da manutenção preditiva para diminuir o custo em manutenção e aumentar a vida útil dos equipamentos**, São João Del Rey, 2019. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-095>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/2315>. Acesso em: 14 set. 2020.

MEGIOLARO, Marcelo Rodrigo de Oliveira. **Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2015. Acesso em 05 set. 2020.

NASCIMENTO, B. A. do. **Eixo empenado em máquinas rotativas, mais uma maneira de detecção**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife, 45p., 2016. Acesso em 14 set. 2020.

PIRES, Caique Aparecido; OKADA, Roberto Hirochi. **MANUTENÇÃO PREDITIVA: estratégia de produção e redução de custos**. 2020. Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga - Fatec, Taquaritinga, 2020. Acesso em: 05 set. 2020.

REIS, Igor Augusto Alves. **Revisão de um plano de manutenção preventiva para minimização de intervenções corretivas emergenciais no setor de utilidades de uma siderúrgica de grande porte**. 2021. Universidade Federal de Ouro Preto, 2021. Acesso em: 19 maio 2021.

RIGHETTO, Sophia Boing. **Manutenção Preditiva 4.0: Conceito, Arquitetura e Estratégias de Implementação**. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2020.

SANTOS, Marcos dos; ARAÚJO, Marcio Medeiros de; LIMA, Angélica Rodrigues. **Manutenção Preditiva: contribuindo para a melhoria dos processos e para a redução dos custos de operação**. 2018. Artigo (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Sergipe, [S. l.], 2018.

SANTOS, Natália Souza dos. **Planejamento e controle da manutenção na Indústria 4.0**. 2019. Trabalho de conclusão de curso - Instituto de Desenvolvimento Econômico Rural e Tecnológico Dados da Amazônia - IDAAM, [S. l.], 2019.

SOARES, Bruno Nascimento. **Análise dos aspectos positivos da manutenção preventiva em relação à manutenção corretiva: menores custos e maior disponibilidade**. 2019. Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, 2019. Acesso em: 19 maio 2021.

TONDATO, Rogério. **Manutenção produtiva total: estudo de caso na indústria gráfica**. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2004.

VANZO, Fernanda do Carmo Silvério. **Metodologia para predição de tempo de falha de máquinas e equipamentos baseada no monitoramento de vibração**. Uberlândia, 2017. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1109>

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Fatores de Sucesso na Gestão da Manutenção de Ativos**. Rio de Janeiro: Bookstart, 2016.

VILELA, Eunice Henriques Pereira. **Variáveis que influenciam a formação de preços do Café Arábica: uma análise regional e nacional**. 2020. 77 f. Dissertação - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.4> Acesso em: 05 set. 2020.

ZUASHKIANI, Ali et al. **Mapping the dynamics of overall equipment effectiveness to enhance asset management practice**, [s. l.], 2011.