

# Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica



Edição

v.6 n.1. 2024

## CARTA DO EDITOR



Iniciamos o ano de 2024 lançando a nona edição da Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica - R4EM, com uma visão otimista e compromisso renovado em fortalecer nosso periódico, buscando a excelência e a relevância dentro da comunidade científica.

E é com grande satisfação que anunciamos que, a partir da próxima edição, estaremos introduzindo uma nova seção em nosso periódico que será dedicada ao tema **Hidrogênio Verde**. Esta nova seção aceitará trabalhos que tragam contribuições relevantes, incluindo revisões de literatura, das mais diferentes áreas da engenharia. Uma abordagem que se diferencia das nossas outras duas seções tradicionais, de Engenharia Elétrica e de Engenharia Mecânica, que continuarão exigindo que os trabalhos submetidos contêm contribuições experimentais ou de simulação computacional, ou abordem temas relacionados à inovação na educação em engenharia ou ainda sobre estudos de caso envolvendo soluções de problemas de engenharia mecânica ou engenharia elétrica na indústria.

O ano de 2023 foi marcado por significativos avanços, incluindo a ampliação de nossa base de autores e a diversidade das instituições participantes. No entanto, ainda temos desafios a superar, como a obtenção da classificação Qualis. Para isso, continuamos focados em atrair submissões de trabalhos científicos de diversas instituições, não apenas da Ufersa, mas de todo o Brasil e até do exterior. A diversidade institucional é um critério essencial exigido pela CAPES, e contamos com a colaboração de nosso Conselho Editorial e de todos os nossos leitores e autores para alcançar esse objetivo.

Nesta edição, gostaríamos de destacar a seção do **Artigo Convidado**, que conta com o texto da Mestra em Administração Pública Léia Mara de Menezes intitulado "MOBILIDADE ACADÊMICA NA UFERSA". A Administradora Léia enfatiza a importância desta atividade e descreve como o aluno de graduação pode pleiteá-la na Ufersa. É, sem dúvida, um artigo de grande contribuição, uma vez que a mobilidade acadêmica pode trazer um grande diferencial na formação profissional. Essas experiências enriquecem não apenas o conhecimento técnico, mas também a compreensão cultural e humana, preparando nossos alunos para enfrentar os desafios do mercado de trabalho globalizado.

Nesta edição, tivemos um total de 10 artigos submetidos, dos quais 4 foram aprovados para publicação, sendo 2 da área de Engenharia Elétrica e 2 da área de Engenharia Mecânica. Agradecemos imensamente aos autores que contribuíram para esta edição e aos professores que atuaram como avaliadores. Um agradecimento especial vai para os alunos do PET Mecânica & Energia, que compõem nossa equipe editorial e desempenham um papel crucial na realização deste trabalho. Sem o empenho e a dedicação deles, não seria possível manter a periodicidade e a qualidade de nossas publicações.



Estamos certos de que, com o apoio contínuo de todos, conseguiremos alcançar nossos objetivos e elevar a R4EM a um novo patamar de reconhecimento e impacto na área de engenharia.

Mossoró, 30 de Junho de 2024

Prof. Dr. Francisco Edson Nogueira Fraga

Diretor e Editor Chefe da R4EM

ARTIGO CONVIDADO

MOBILIDADE ACADÊMICA NA UFERSA

Ma. LEIA MARA DE MENEZES

MESTRE EM ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA PELA UFERSA

PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO PÚBLICA PELO IFRN

PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO ESTRATÉGICA DE PESSOAS PELA FVJ

BACHAREL EM ADMINISTRAÇÃO PELA UFERSA

<http://lattes.cnpq.br/8375682314072132>



A mobilidade estudantil é o processo que possibilita ao discente matriculado em uma instituição de ensino superior adquirir vínculo temporário com uma instituição de ensino receptora para cursar componentes curriculares. Ao final do período de mobilidade acadêmica o discente retorna à instituição ou campus de origem, podendo aproveitar os componentes curriculares cursados durante o período de afastamento. Ao contrário do que acontece na transferência entre instituições de ensino, na mobilidade acadêmica, o estudante não interrompe o vínculo com a instituição de ensino ou campus de ingresso.

Dada a sua importância para formação do discente, a mobilidade acadêmica apresenta-se como uma das dimensões do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), que tem como principal objetivo ampliar o acesso e a permanência na educação superior. Além de sua previsão no Reuni, esse processo se encontra entre as metas do Plano Nacional de Educação, que visa fortalecer e expandir iniciativas que promovam a mobilidade de estudantes e professores em cursos de graduação e pós-graduação, tanto em território nacional quanto internacional, tendo em vista o enriquecimento da experiência educacional de nível superior (Brasil, 2014).

No âmbito da UFERSA, a Mobilidade Acadêmica é regulada pela RESOLUÇÃO CONSEPE/UFERSA N° 002/2018, de 17 de julho de 2018, a qual prevê três modalidades: Mobilidade Acadêmica Interna, Mobilidade Acadêmica Externa Nacional e Mobilidade Acadêmica Externa Internacional.

Por meio da Mobilidade Acadêmica Interna o discente regularmente matriculado em curso de graduação ofertado em um campus da UFERSA tem permissão para cumprir, em outro campus da UFERSA, componentes curriculares definidos previamente no plano de estudos aprovado pela coordenação ou colegiado do curso. É responsabilidade da Pró-Reitoria de Graduação (PROGRAD) coordenar o programa de Mobilidade Acadêmica na UFERSA.

Por sua vez, o Programa de Mobilidade Acadêmica Interna existe na instituição desde 2013, regulado anteriormente pela Resolução CONSEPE/UFERSA N° 003/2013, de 27 de março de 2013. A seleção dos alunos aptos a participarem do Programa de Mobilidade Interna ocorre semestralmente, por meio de edital divulgado pela PROGRAD no período de recesso acadêmico. O programa tem tido boa



aceitação entre os discentes e contribuído, principalmente, para que alunos do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia efetuem matrícula em componentes curriculares da Engenharia no campus no qual deseja ingressar no segundo ciclo, e que não são ofertados no campus de origem. Alunos que mudam temporariamente de cidade, em geral, por motivos familiares ou de oportunidade de trabalho, também encontram no programa uma alternativa para a permanência na universidade.

Os alunos da UFERSA podem participar também do programa de Mobilidade Acadêmica Externa Nacional, previsto na RESOLUÇÃO CONSEPE/UFERSA N° 002/2018, de 17 de julho de 2018. Essa modalidade de mobilidade é resultado do convênio de mobilidade acadêmica firmado, em 2011, pelas universidades federais e demais instituições de Ensino Superior, no âmbito da Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior – ANDIFES, com o objetivo de fomentar a cooperação técnico científica entre as instituições de ensino. Através desse convênio, discentes dos cursos de Graduação da UFERSA podem cursar até três semestres letivos em outra instituição de ensino superior do país. O aluno participante do programa terá acesso à estrutura física, laboratórios, e outros ativos sociais e culturais da universidade de destino, enriquecendo sua experiência educacional.

Por sua vez, a Mobilidade Acadêmica Internacional, conforme a RESOLUÇÃO CONSEPE/UFERSA N° 002/2018, de 17 de julho de 2018, “é aquela desenvolvida em IES sediada em outro país, mediante programa de cooperação bilateral mantido pelo Governo Federal ou de programa do Ministério da Educação ou acordo da UFERSA com a IES estrangeira pretendida” (UFERSA, 2018). O tempo de permanência em mobilidade externa internacional é de no máximo dois anos, cabendo à Assessoria de Relações Internacionais da UFERSA oferecer suporte e acompanhar os processos que envolvem essa modalidade de mobilidade.

De maneira geral, pode-se afirmar que o programa de mobilidade acadêmica tem se mostrado um mecanismo eficaz na formação do discente da UFERSA, pois, além de contribuir para sua formação acadêmica, permite que ele vivencie experiências humanas e culturais que proporcionam uma formação inclusiva e integral e que contribuem para sua permanência e êxito na universidade.



EDITORES-CHEFE

*Dr. Francisco Edson Nogueira Fraga*  
*Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior*

EDITORES-ADJUNTOS

*Jair Gildenberg Bezerra de Paiva Júnior*  
*Jeremy Michael Venâncio da Silva*  
*João Pedro Barreto de Miranda*  
*Tiago da Rocha Silva*

EDITORIAÇÃO

*Everton Leandro de Lima Júnior*  
*Matheus Henrique Medeiros de França*

CONSELHO EDITORIAL

*Dr. Adelson Menezes Lima (UFERSA/Campus Pau dos Ferros)*  
*Dra. Adiana Nascimento Silva (UFERSA/Campus Caraúbas)*  
*MSc. Danilo de Souza (IFRN/Campus Mossoró)*  
*Dra. Fabiana Karla de Oliveira M. Varella (UFERSA/Campus Mossoró)*  
*Dr. Francisco Edson Nogueira Fraga (UFERSA/Campus Mossoró)*  
*Dr. Francisco Ilson da Silva Junior (UFC)*  
*Dr. Glauco Fontgalland (UFCG)*  
*MSc. Herick Talles Queiroz Lemos (IFPE/Campus Pesqueira)*  
*Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior (UFERSA/Campus Mossoró)*  
*Dr. José Hilton Ferreira da Silva (UFCG)*  
*Dr. Kleiber Lima de Bessa (UFRN)*  
*Dr. Taciano Amaral Sorrentino (UFERSA/C&T Mossoró)*  
*Dr. Zoroastro Torres Vilar (UFERSA/Campus Mossoró)*

DESIGN EDITORIAL

*Tiago da Rocha Silva*



APOIO

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Av. Francisco Mota, 572. Bairro Costa e Silva, Mossoró-RN.*

*Sistema de Bibliotecas da UFERSA  
<https://bibliotecas.ufersa.edu.br/>*

*Editora EDUFERSA  
<https://edufersa.ufersa.edu.br/>*

AUTOR CORPORATIVO

*PET MECÂNICA E ENERGIA*

*Programa de Educação Tutorial dos Cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica  
Av. Francisco Mota, 572. Bairro Costa e Silva. Mossoró-RN, UFERSA Campus Leste / Centro  
de Engenharias / Departamento de Engenharia e Tecnologia.  
E-mail: [r4em@ufersa.edu.br](mailto:r4em@ufersa.edu.br)*



## SUMÁRIO

Aperfeiçoamento e análise de desempenho de secador solar no semiárido potiguar.....	1
<i>Mécia Murielle dos Santos Lucena, Matheus Lima Duarte, Igor Silva, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella.</i>	
Gestão de resíduos sólidos em instituição de ensino Superior: Potencial de conservação de energia elétrica a partir da reciclagem.....	9
<i>Matheus Henrique Medeiros de França, Lais Aparecida Nascimento de Melo, Anderson Felipe Costa Leonês, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella e Diana Gonçalves Lunardi.</i>	
Estudo da variação da geometria da asa através de simulação computacional .....	20
<i>Jeremy Michael Venâncio da Silva, Maximilyano Gois Sena e Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras.</i>	
Manutenção avançada em forno rotativo w-01: Um olhar aplicado.....	29
<i>Francisco de Assis Monteiro de Souza, Jackson de Brito Simões.</i>	





Artigo

# Aperfeiçoamento e análise de desempenho de secador solar no semiárido potiguar

Mécia Murielle dos Santos Lucena <sup>[1]</sup>, Matheus Lima Duarte <sup>[2]</sup>, Igor Silva <sup>[3]</sup>, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella <sup>[4]</sup>

<sup>[1]</sup> UFERSA; meciamurielle@gmail.com

<sup>[2]</sup> UFERSA; matheus.duarte@alunos.ufersa.edu.br

<sup>[3]</sup> UFERSA; contato.igorxsilva@gmail.com

<sup>[4]</sup> UFERSA; fkv@ufersa.edu.br

Recebido: 09/04/2024;

Aceito: 27/04/2024;

Publicado: 30/04/2024;

**Resumo:** O secador solar é uma tecnologia alternativa utilizada para realizar a secagem de alimentos fazendo o uso da energia solar térmica, uma fonte de origem limpa e renovável, visto que este tipo de energia não gera resíduos poluentes ao meio ambiente. A aplicação dessa tecnologia em regiões do semiárido potiguar é satisfatória, visto que essa região possui uma alta incidência solar. A desidratação de alimentos a partir da energia solar térmica traz vantagens a alimentos com significativo grau de perecibilidade, pois aumenta a durabilidade e auxilia em questões de armazenamento e transporte. No presente estudo foi operado um secador solar de exposição direta e de baixo custo a fim de otimizar o processo de secagem de alimentos a partir de alterações realizadas no protótipo original. Ao final da análise dos resultados e comparações foi possível averiguar que as modificações viabilizaram agilizar o processo de desidratação.

**Palavras-chave:** secador solar; secagem de alimentos; energia solar térmica.

**Abstract:** The Solar solar dryers are dryer is an alternative technology used to dry food using solar thermal energy, a clean and renewable source source of clean and renewable origin, as this type of energy does not pollute generate polluting waste to the environment. The application of this technology in regions of the semi-arid region of Rio Grande do Norte is extremely satisfactory, as this region has a high incidence of sunlight. Dehydrating food using solar thermal energy is beneficial brings benefits to foods with a significant degree of perishability, as it increases durability and helps with storage and transportation issues. In the present study, a low-cost direct-exposure direct exposure solar dryer was operated in order to optimize the food drying process based on changes made to the original prototype. At the end of the analysis of results and comparisons, it was possible to verify that the modifications made it possible accelerated to speed up the dehydration process.

**Key-words:** solar dryer; food drying; solar thermal energy.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao se tratar de fontes renováveis, o Brasil possui uma abundante potencialidade, e se tratando de energia solar, o país possui uma excepcional distinção quanto aos altos índices de radiação solar. A média de irradiação solar brasileira varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup> por ano e o semiárido nordestino destaca-se por dispor de uma radiação comparável às melhores regiões do mundo. [1]

A energia proveniente do sol é considerada uma fonte natural, renovável e limpa, na qual pode ser aproveitada de várias maneiras, sendo elas ativa ou passiva. Dentre as possibilidades de aproveitamento desta forma de energia, encontra-se a utilização do secador solar para a secagem de alimentos, onde a desidratação é realizada usando a energia térmica proveniente do sol para retirar a água presente nos alimentos.

O setor de cocção de alimentos está em busca de alternativas viáveis. De acordo com [4], o uso de lenha como fonte de energia já se encontra em segundo lugar (perdendo apenas para eletricidade que está em primeiro) entre as principais fontes de energia nas residências dos brasileiros, superando o gás liquefeito de petróleo (GLP). Um dos motivos para essa mudança é o aumento no preço do GLP nos últimos anos.

Uma opção considerada uma alternativa para o preparo de alimentos nas cozinhas brasileiras (rural ou urbano) é a utilização de equipamentos movidos a energia solar, como é o caso do secador solar. Esses

equipamentos são de baixo custo; fácil fabricação e uso, aproveitando a abundante disponibilidade de combustível solar no Brasil. Conforme [4], a aplicação de secadores solares para desidratar alimentos representa uma alternativa eficaz para estender a durabilidade de frutas, grãos e outros produtos, prevenindo a proliferação de microrganismos e, conseqüentemente, o seu deterioramento. De acordo com [5], o Brasil figura entre os países com maior desperdício de alimentos, totalizando cerca de 35% de sua produção anual. Além disso, o uso desses equipamentos também pode fornecer matéria-prima para a elaboração de outros alimentos mais sofisticados.

Por todo o exposto, o presente trabalho tem como objetivo contribuir com pesquisas na área de secagem de alimentos e, desta forma, realizar melhorias em um protótipo de secador solar desenvolvido por [1], visando maximizar o seu desempenho. Vale informar, que a maior alteração do protótipo ocorreu no aumento da área de ventilação do protótipo desenvolvido por [1].

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme mencionado, para o desenvolvimento do presente trabalho, foram realizadas alterações no protótipo de um secador solar de exposição direta, construído por [1] e posteriormente ajustado para melhorar o seu desempenho. Os experimentos foram realizados nas dependências da Universidade Federal Rural do Semi Árido -UFERSA, campus Mossoró, na parte externa do prédio Laboratório de Engenharias 1. A Figura 1 mostra as etapas desenvolvidas no trabalho, visando atingir o objetivo proposto.

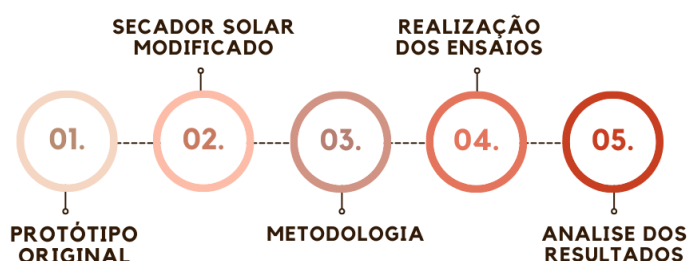


FIGURA 1. Etapas desenvolvidas no trabalho. (Autoria própria).

### 2.1. Protótipo original do secador solar

O protótipo do secador solar desenvolvido por [1] tem uma estrutura composta por aço 1020, material esse que possui alta condutividade térmica; dimensões internas de 65x31x15 cm (comprimento x largura x altura) e pintado de cor preta fosca, a fim de intensificar a absorção da radiação solar e calor. A base de acomodação das frutas foi confeccionada utilizando pequenos pedaços de isopor, totalizando 7 fileiras com dimensões 1,5x30 cm e elas foram fixadas em uma base de isopor pintada, também em tinta preta fosca, mas a base de água para não danificar o material e não infectar as frutas do experimento; e uma tela de nylon para o acondicionamento dos alimentos. O equipamento apresenta aberturas laterais de 24x9 cm, equipadas com telas de aço galvanizado para evitar a entrada de insetos, ao mesmo tempo em que possibilitam a circulação de ar dentro do secador solar. Sua cobertura é de vidro (com 4 mm de espessura), para possibilitar a passagem de raios solares. É importante destacar que a estrutura possui uma inclinação de aproximadamente 4° com o intuito de provocar uma incidência solar de modo perpendicular ao protótipo [5].

### 2.2. Protótipo do secador solar modificado

As alterações do protótipo de [1] foram implementadas na estrutura interna do secador solar descrito na seção 2.1. O isopor foi retirado para ser substituído por uma tela expandida de aço galvanizado 65 x 31 cm. Foram inseridos suportes de madeira para ajudar na sustentação da tela; os suportes receberam uma camada de tinta preta fosca à base de água, a fim de preservar o material e evitar qualquer contaminação das frutas utilizadas nos experimentos. Outra mudança no protótipo original se refere à tela de aço galvanizado, que foi levantada em 4 cm do que a altura do protótipo anterior proposto por [1], visando aumentar a ventilação e desempenho da secagem dos alimentos ao elevá-los até a altura de entrada e saída de ar do protótipo. Essa medida foi adotada para aumentar a absorção de calor proveniente da radiação solar, proporcionando um

ambiente interno mais aquecido e com maior circulação de ar, acelerando o processo da secagem solar. Tais mudanças aqui descritas podem ser visualizadas na Figura 2, que mostra o protótipo final já modificado<sup>1</sup>.

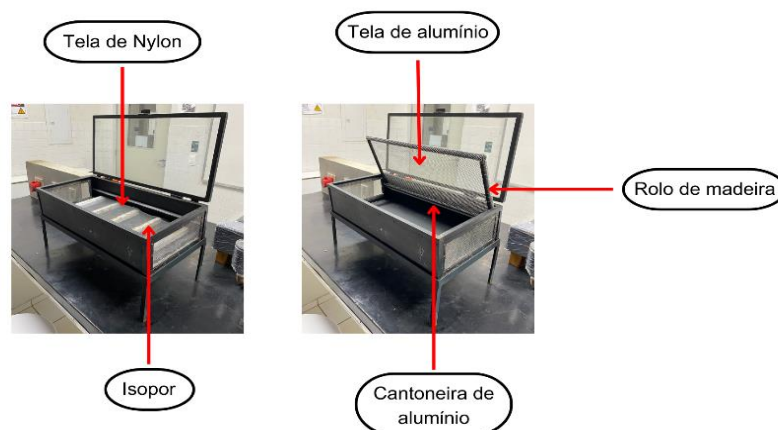


FIGURA 2: Protótipo após modificações em [1]. (Autoria própria).

### 2.3 Metodologia e realização dos ensaios

Visando validar o protótipo descrito na subseção 2.2, assim como ensaiado por [1], esta etapa do trabalho consiste na realização dos experimentos com as frutas: maçã, banana e abacaxi. É importante informar que se manteve a espessura do corte das frutas do experimento do protótipo original. Foram realizados três experimentos, cada um com um período de duração de 5 horas. O experimento 1 realizado no dia 14 de julho de 2023 das 10:00 às 15:00 horas onde a irradiação solar variou de 1154 - 1352 W/m<sup>2</sup>; o experimento 2 realizado no dia 27 de julho de 2023, das 09:50 às 14:50 horas onde a irradiação solar variou de 1058 - 1332 W/m<sup>2</sup>; e o experimento 3 realizado no dia 11 de agosto de 2023, das 10:14 às 15:14 horas onde a irradiação solar variou de 1085 - 1425 W/m<sup>2</sup>. Na etapa de obtenção de dados, foram utilizados uma balança digital para realizar a pesagem das frutas, antes e após a secagem, um termômetro digital para acompanhar a temperatura e um piranômetro para medir a radiação solar global para cada dia de ensaio.

#### 2.3.1 Experimento 1

O experimento 1 foi realizado no dia 14 de julho de 2023, das 10h:00 min às 15h:00 min. Para realizar o corte das frutas foi utilizado um mandolin<sup>2</sup>, a fim de se obter uma espessura mais afilada dos alimentos e por consequência melhor desempenho do sistema e secagem. Após realizado o fatiamento, as frutas foram levadas a uma balança digital para ser efetuada a pesagem e as anotações de suas respectivas massas. Durante a experimentação, o céu permaneceu limpo e com poucas nuvens, favorecendo assim o processo de secagem. Observou-se também, que o valor da irradiação solar ao fim do período de exposição foi maior do que o valor inicial. Na Figura 3 pode-se observar as frutas dispostas no secador e na Tabela 1 os dados obtidos no experimento 1.

<sup>1</sup> Não foi mostrada uma figura do protótipo desenvolvido por [1], pois as mudanças realizadas não eram visíveis nas imagens que se teve acesso.

<sup>2</sup> Utensílio doméstico de cozinha utilizado para obter uma fina espessura dos alimentos.

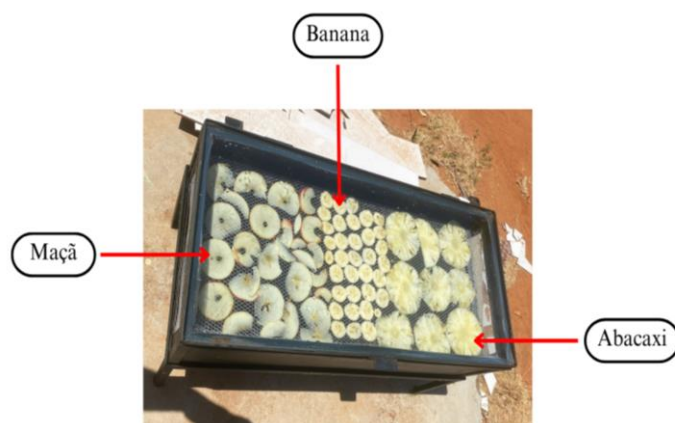


FIGURA 3: Realização do experimento 1: disposição das frutas no secador. (Autoria própria).

TABELA 1. Dados do experimento 1.

Dia	Hora	Massa (g)			Temperatura °C				Irradiação solar (W/m <sup>2</sup> )
		<i>Maçã</i>	<i>Banana</i>	<i>Abacaxi</i>	<i>Entrada (Te)</i>	<i>Saída (Ts)</i>	<i>Interna Inicial</i>	<i>Interna Final</i>	
14/07/2023	10:00	100	90	100	31.3	31.7	28.8	31	1154
14/07/2023	15:00	15	30	30					1352

Fonte: Autoria Própria.

Considerando a relevância da proporção de frutas secas, os resultados alcançados, como mostra a Tabela 1, foram favoráveis para a maçã. Após a conclusão do experimento com duração de 5 horas, observou-se uma redução de massa de cerca de 70% para o abacaxi e 66,6% para a banana, correspondendo a percentuais de 30% e 33,3% de massa úmida, respectivamente. Já a maçã obteve redução mássica de 75% e 15% de massa úmida, sendo assim considerada uma fruta seca.

### 2.3.2 Experimento 2

Alguns dias após a realização do experimento 1, seguiu-se com o experimento 2, que foi realizado no dia 27 de julho de 2023, das 09h:50min às 14h:50 min. O tratamento das frutas quanto ao corte, manuseio e disposição no secador solar foi realizado conforme indicado no tópico 2.3.1. O clima durante o período da experimentação estava favorável para a secagem dos alimentos. O valor da irradiação solar no fim do período de exposição foi maior do que o valor inicial. A disposição das frutas no secador solar assim como os dados obtidos no experimento 2, podem ser observados na Figura 4 e na Tabela 3, respectivamente.

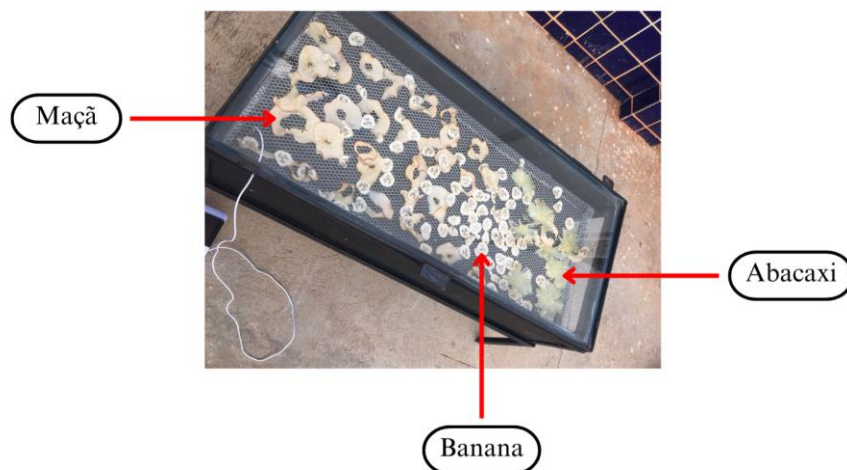


FIGURA 4: Realização do experimento 2: disposição das frutas no secador. (Autoria própria).

TABELA 2. Dados do experimento 2.

Dia	Hora	Massa (g)			Temperatura °C				Irradiação Solar (W/m <sup>2</sup> )
		Maçã*	Banana	Abacaxi	Entrada (Te)	Saída (Ts)	Interna Inicial	Interna Final	
21/07/2023	09:50	100	83	100	32.5	40.1	38.6	46.2	1058
21/07/2023	14:50	17	26	26					1332

Fonte: Autoria Própria.

\*Foi ensaiada novamente (mesmo já tendo atendido o padrão de secagem da literatura já mostrado no experimento 1) apenas para aproveitar o experimento que já estava em curso, com as demais frutas, que no experimento anterior não tinham atingido a secagem de acordo com a literatura.

Como anteriormente mencionado, frutas secas são definidas como aquelas que representam 25% da massa da fruta fresca [8]. Novamente, o resultado revelou-se positivo para a variedade da maçã que obteve redução mássica de 71%. Comparados com os valores obtidos pelo experimento 1, a banana e o abacaxi obtiveram resultados melhores, apresentando uma perda mássica de 68,7% e 74%, respectivamente.

### 2.3.3 Experimento 3

De forma a complementar os experimentos anteriores<sup>3</sup>, foi realizado o experimento 3 no dia 11 de agosto de 2023, das 10h:14min às 15h:14min. O tratamento das frutas quanto ao corte, manuseio e disposição no secador solar foi realizado conforme os demais experimentos, ou seja, conforme indicado no tópico 2.3.1. Durante a experimentação, o céu permaneceu limpo e com poucas nuvens, favorecendo assim o processo de secagem. Assim como nos experimentos 1 e 2 mencionados nos tópicos 2.3.1 e 2.3.2, respectivamente, no experimento 3 observou-se um aumento na radiação solar incidente ao fim da experimentação. O experimento 3 é ilustrado na Figura 5 e na Tabela 4 são mostrados os dados do experimento 3.

<sup>3</sup> Foi excluída a maçã, pois já havia atingido os valores de secagem esperados.



FIGURA 5: Realização do experimento 3: disposição das frutas no secador. (Autoria própria).

TABELA 3. Dados do experimento 3.

Dia	Hora	Massa (g)			Temperatura °C				Irradiação Solar (W/m <sup>2</sup> )
		<i>Maçã</i>	<i>Banana</i>	<i>Abacaxi</i>	<i>Entrada (Te)</i>	<i>Saída (Ts)</i>	<i>Interna Inicial</i>	<i>Interna Final</i>	
11/08/2023	10:14	*	80	100	35.1	34.3	32.7	47.4	1085
11/08/2023	15:14	*	20	26					1425

\*A maçã não foi exposta neste experimento, pois já havia atingido seu percentual de secagem.

Fonte: Autoria Própria.

Na realização do último experimento obteve-se resultados favoráveis para banana e abacaxi, em que apresentaram a mesma massa úmida de 25% e 75% de perda mássica, sendo dessa forma considerada uma fruta seca.

### 3. RESULTADOS

Após conduzir os experimentos, que foram realizados nos meses de julho e agosto do ano de 2023, época do ano em que as condições climáticas foram favoráveis, concluiu-se que o processo de secagem foi efetivo. Ao analisar os valores de temperaturas interna inicial e interna final nas Tabelas 1, 2 e 3, observou-se que no primeiro experimento as temperaturas foram menores, consequentemente a redução mássica e a perda de massa inicial foram menores, porém os resultados não comprometem o desempenho do secador solar. No segundo e terceiro experimentos todas as temperaturas medidas foram maiores, quando comparadas ao experimento 1, e a irradiação solar chegou a variar respectivamente de 1052 W/m<sup>2</sup> para 1332 W/m<sup>2</sup> e 1085 W/m<sup>2</sup> para 1425 W/m<sup>2</sup> ao final de cada experimento com duração de cinco horas de exposição solar.

Considerando o trabalho realizado por [1], no qual o abacaxi e a banana prata apresentaram ao final do segundo experimento, após 8 horas de exposição, uma redução mássica inicial de 25% e 32%, respectivamente, no presente trabalho, considerando as mudanças realizadas no protótipo original já mencionadas no tópico 2.2, esse percentual chegou a 25% de massa inicial para ambas as frutas, abacaxi e banana, em apenas 5 horas de exposição. Na Tabela 3 é possível observar as porcentagens de perda mássica, após 5 horas de exposição solar, no trabalho realizado por [1] e no presente estudo após as alterações feitas no protótipo de [1]. Estes dados foram obtidos através de uma proporção da massa e quantidade de horas presente nas tabelas dos experimentos realizados por [1].



TABELA 4. Comparativo da perda mássica, após 5 horas de exposição solar.

Frutas	Lima (2018)		Presente Trabalho		
	Perda mássica (%)		Perda mássica (%)		
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Maçã	84%	81%	75%	71%	*
Banana	69%	65%	66,6%	68,7%	75%
Abacaxi	77%	55%	70%	74%	75%

\*A maçã não foi exposta neste experimento, pois já havia atingido seu percentual de secagem.

Fonte: Autoria Própria.

Por fim, comparando os resultados obtidos após a secagem no presente trabalho, é possível observar que, nos experimentos realizados, as frutas apresentaram uma massa final menor que suas massas iniciais, e isso deve-se a espessura do corte, evidenciando a geometria do corte, e as condições climáticas que foram favoráveis durante a experimentação. A porcentagem de massa úmida da maçã, banana e abacaxi em cada experimento após 5 horas de secagem é representada na Figura 6.

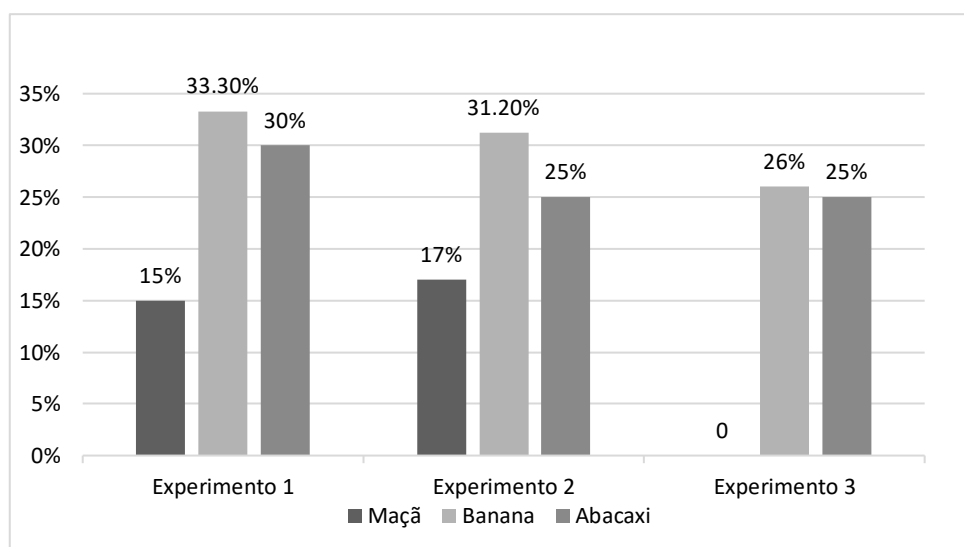


FIGURA 6. Massa úmida das frutas após 5 horas de exposição solar. (Autoria própria)

Como verificado, a maçã foi a fruta que obteve o melhor desempenho ao final dos três experimentos realizados, seguida do abacaxi e da banana. A maçã, banana, e abacaxi obtiveram redução na porcentagem de massa úmida de 0,88%, 1,06% e 1,15%, respectivamente, no experimento 1 em relação ao experimento 2. Nota-se que a diferença não é de grande magnitude, mas vale ressaltar que, apesar de os ensaios terem ocorrido em dias favoráveis a secagem solar, a mínima variação na temperatura externa e na umidade do ar, puderam interferir nos resultados.

#### 4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o objetivo foi atingido, pois foi possível verificar que as melhorias no desempenho do secador solar desenvolvido por [1], mostraram maior desempenho no processo de secagem. A principal mudança ocorreu na substituição da tela de *nylon* por uma tela de aço galvanizado e a elevação da mesma em 4cm. Tal mudança aumentou a absorção de calor proveniente da radiação solar, proporcionando um ambiente interno mais aquecido e com maior circulação de ar, no qual acelerou o processo da secagem solar. Outro ponto importante a enfatizar se refere à espessura do corte (mantendo o mesmo corte do protótipo original), o que também se mostrou favorável com desempenho adequado na secagem dos alimentos. Além do mais, notou-se através da degustação, que o sabor das frutas desidratadas permaneceu de boa qualidade.

Logo, conforme mostrado, a eficiência do processo de secagem por exposição solar direta foi confirmada com a perda de massa líquida em conformidade com o que é indicado na literatura especializada. Os produtos obtidos no processo de secagem podem ser utilizados como matéria-prima em receitas diversas, permitindo uma

maior variabilidade na produção de alimentos. Sendo simples e de baixo custo, esse equipamento pode ser produzido e operado por pessoas com conhecimento limitado na área.

Adicionalmente, considerando os objetivos inicialmente estabelecidos para este trabalho e após a análise dos resultados e dos procedimentos adotados, podemos afirmar que a execução do experimento foi bem-sucedida. Além disso, foi possível aplicar de forma prática diversos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso de Ciência e Tecnologia, que antes permaneciam apenas no domínio abstrato.

Por fim, esta pesquisa estimulou o interesse em aprofundar os conhecimentos na área de energias limpas e renováveis, incentivando a busca por informações em artigos científicos e na literatura relacionada à graduação. Assim, ela contribuiu significativamente para a formação acadêmica. REFERÊNCIAS

- [1] LIMA, Kelianny da Silva et al. Secador solar de baixo custo no semiárido potiguar: análise do desempenho. 2018.
- [2] ABSOLAR, 2022: O melhor ano da energia solar no Brasil. São Paulo, 2022. Disponível em: <[ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica](#)>. Acesso em: 17 de março de 2024.
- [3] TOLEDO, Thiago; CARNEIRO, Priscila. Matriz Energética Brasileira. 2020. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/>>. Acesso em: 2 outubro de 2023.
- [4] EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Consumo De Lenha E Carvão Vegetal. Nota Técnica Epe Dea 016/2021. Disponível em: [Termo de referencia para contratação de pesquisa](#). Acesso em:
- [5] ALMEIDA, I. B.; LIMA, M. M. A.; SOUZA, L. G. M. Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável. Natal, RN: 2016. 9 f. Artigo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar.
- [6] JESUS, Agnes Diniz Gomes de. Desperdício de 41,6 kg de alimentos por brasileiro/ano, causado por falta de planejamento e legislação estagnada, em contraste com a fome durante a pandemia. Fundação Verakis, Eaubonne, FrançaParis, 25 de maio de 2021. Disponível em: [O desperdício de alimentos no Brasil \(verakis.com\)](#). Acesso em: 2 outubro de 2023
- [7] PEREIRA, Patrícia Alves. Construção e análise de um secador solar de baixo custo na cidade de Mossoró – RN. 2015. 67p. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2015.
- [8] ANVISA, Resolução - CNNPA nº 12. 1978. Disponível em: <[Ministerio da Saude \(saude.gov.br\)](#)> . Acesso em: 17 de março de 2024.





Artigo

# Gestão de resíduos sólidos em instituição de ensino Superior: Potencial de conservação de energia elétrica a partir da reciclagem

Matheus Henrique Medeiros de França <sup>[1]</sup>, Lais Aparecida Nascimento de Melo <sup>[2]</sup>, Anderson Felipe Costa Leonês <sup>[3]</sup>, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella <sup>[4]</sup> e Diana Gonçalves Lunardi <sup>[5]</sup>

<sup>[1]</sup> UFERSA; matheus.franca@alunos.ufersa.edu.br

<sup>[2]</sup> UFERSA; lais.melo@alunos.ufersa.edu.br

<sup>[3]</sup> UFERSA; anderson.leones@alunos.ufersa.edu.br

<sup>[4]</sup> UFERSA; fkv@ufersa.edu.br

<sup>[5]</sup> UFERSA; lunardi.diana@ufersa.edu.br

Recebido: 17/04/2024

Aceito: 21/06/2024

Publicado: 30/06/2024

**Resumo:** A gestão eficiente de resíduos em instituições de ensino superior desempenha um papel relevante na conservação de energia elétrica. Sendo assim, este estudo analisa o potencial de conservação de energia por meio da reciclagem na Universidade Federal do Rural do Semi-Árido (UFERSA), desde as práticas de gestão de resíduos da Instituição, assim como o processo de reciclagem, destacando os protocolos e leis ambientais, e o potencial de conservação de energia de diferentes materiais, incluindo papelão, vidro e outros resíduos comuns na Universidade. No desenvolvimento da metodologia foi utilizado o modelo SARIMAX sendo possível projetar a geração futura de resíduos na Instituição e avaliar a tendência do potencial de conservação. A partir de análises desenvolvidas do cenário atual, os resultados revelaram que a conservação de energia por meio da reciclagem na UFERSA tem o potencial promissor. Os resultados também ressaltam a importância da implementação de práticas sustentáveis de gestão de resíduos em instituições de ensino superior, não apenas para reduzir o impacto ambiental negativo, mas também para contribuir significativamente para a conservação de energia elétrica em nível local e global.

**Palavras-chave:** Reciclagem; Conservação de energia elétrica; Resíduos sólidos urbanos; Instituição de ensino superior; SARIMAX.

**Abstract:** Efficient waste management in higher education institutions plays an important role in conserving electrical energy. Therefore, this study analyzes the potential for energy conservation through recycling at the Universidade Federal do Rural do Semi-Árido (UFERSA), from the Institution's waste management practices, as well as the recycling process, highlighting the protocols and environmental laws, and the energy conservation potential of different materials, including cardboard, glass and other common waste at the University. In developing the methodology, the SARIMAX model was used, making it possible to project the future generation of waste in the Institution and evaluate the trend of conservation potential. Based on analyzes developed of the current scenario, the results revealed that energy conservation through recycling at UFERSA has promising potential. The results also highlight the importance of implementing sustainable waste management practices in higher education institutions, not only to reduce negative environmental impact, but also to significantly contribute to the conservation of electrical energy at a local and global level.

**Key-words:** Recycling; Energy Conservation; Urban solid waste; higher education institution; SARIMAX.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com a exploração sustentável de recursos naturais e as mudanças nas legislações ambientais têm colocado em destaque a necessidade de práticas mais sustentáveis [1]. Neste contexto, as universidades, como importantes agentes econômicos, têm vivenciado um grande desafio para atender à estas exigências [2]. A alta variabilidade de seus resíduos e seus subprodutos demandam maiores custos, investimentos e energia. Dessa forma, atentar-se apenas ao seu descarte, limita o seu reúso, que por muitas vezes possui um custo consideravelmente inferior.

Com a expansão das universidades brasileiras os custos e investimentos tendem a se intensificar nos próximos anos. De acordo com a Associação Brasileira de Estágios [3], entre os anos de 2002 e 2021, houve um notável aumento no número de alunos matriculados em instituições de ensino superior, passando de 3,5 milhões para 8,9 milhões. Acrescido a isto, estudos de casos como o de Tavares [1], denotam que determinados tipos de resíduos como os eletrônicos e químicos, requerem maiores custos a depender da gestão, que podem se estender a outros tipos de resíduos.

De acordo com Juliatto [4], as universidades representam uma nova perspectiva na busca por soluções, destacando-se no ensino, na pesquisa e na extensão, ou seja, como cerne dessas estratégias as instituições de ensino superior possuem o papel primordial na conscientização e no desenvolvimento de estratégias ambientais e energéticas. Portanto, é necessário que as universidades não apenas implementem estratégias de gestão de resíduos eficientes, mas também promovam os benefícios de suas implementações. A integração de práticas como a reciclagem, está cada vez mais comum na gestão de resíduos, elas trazem diversos benefícios não somente nos custos finais, como também promove a conservação de recursos naturais, reduzindo os impactos ambientais negativos e fomentando a criação de uma cultura de sustentabilidade dentro e fora do campus universitário [4].

Dessa maneira, o reúso a partir da reciclagem possui um caráter interdisciplinar que denota benefícios sociais e econômicos. Um desses benefícios é a conservação da energia elétrica, na qual os processos de transformação de matéria-prima bruta detêm por muitas vezes uma atividade energointensiva maior do que o seu reaproveitamento quando descartada [5].

Diante dos desafios socioambientais das universidades e dos seus potenciais custos, em frente ao seu crescimento, cada vez mais resíduos sólidos serão destinados à reciclagem. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os impactos do potencial de conservação de energia elétrica, pela reciclagem no âmbito da UFERSA. A proposta desta pesquisa constituiu-se na aplicação de métodos preditivos de geração de resíduos e nos seus impactos energéticos com a reciclagem.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 discute a gestão de resíduos sólidos em instituições públicas, sendo dividida em uma subseção, correspondente ao potencial de conservação de energia elétrica em instituições públicas, enquanto a seção 3 discute os materiais e métodos utilizados para conduzir esse artigo, sendo dividida em subseções correspondentes a uma ou mais etapas da pesquisa e ao seu escopo. Já a seção 4 trata e descreve os resultados obtidos, enquanto a seção 5 dispõe das conclusões sobre os impactos da gestão de resíduos através da reciclagem, na conservação de energia por em uma Instituição de Ensino Superior (IES).

## 2. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS

De acordo com [6] duas abordagens sobre o envolvimento das Instituições de Ensino Superior se destacam no desenvolvimento sustentável. A primeira perspectiva enfatiza a importância da educação como prática central, permitindo às IES fornecer aos seus alunos, que se tornarão futuros líderes, os conhecimentos e competências necessários para abordar as preocupações ambientais em suas condutas profissionais. A segunda destaca a postura de algumas IES na implementação de Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em seus campus universitários, como modelo e exemplo prático de gestão sustentável para a sociedade.

Na ótica administrativa de uma IES, pode-se perceber que, por analogia, a mesma equipara-se a pequenos núcleos urbanos, na operação de distintos setores da administração pública, como o planejamento e manutenção de sua infraestrutura, na gestão de recursos humanos, além de demandar os mesmos serviços básicos. Dessa maneira, é possível afirmar que assim como nessas pequenas cidades, existem nas IES desafios e dificuldades associadas ao armazenamento e destino correto dos seus resíduos gerados, logo, fica evidente que, ao desenvolver a sustentabilidade nessa escala, é possível entender como propagar os princípios da sustentabilidade para toda a comunidade. Para isso, é imprescindível a implementação de políticas públicas que estabeleçam metas e planos visando o bem-estar e o interesse público da comunidade. Em relação aos resíduos sólidos, para garantir uma gestão eficiente, é essencial empregar estratégias que incentivem a redução, reutilização, reciclagem e a destinação final apropriada desses resíduos [6].

Ao tratar sobre gestão de resíduos sólidos em instituições de ensino superior, é necessário compreender a legislação e as diretrizes que regem esta prática. Segundo [7], a Política Nacional de Resíduos Sólidos é um marco importante neste sentido, pois esta legislação estabelece os princípios, objetivos e meios para a gestão integral e adequada dos resíduos sólidos em todo o país.

Neste contexto, a coleta seletiva torna-se uma importante estratégia para promover a triagem e o descarte correto dos resíduos. A coleta seletiva é um cumprimento do [8], sendo uma prática que visa reciclar e valorizar resíduos, reduzindo o impacto ambiental e ajudando a conservar os recursos naturais. Envolve a segregação de resíduos em diferentes categorias, como plástico, papel, vidro e metal, para facilitar o processo de reciclagem e reutilização. Além disso, a coleta seletiva cidadã representa um conceito mais amplo de participação e engajamento da comunidade na gestão de resíduos. Trata-se de um modelo que incentiva a conscientização e a responsabilidade compartilhada entre instituições, colaboradores, estudantes e a sociedade em geral. A coleta

seletiva cidadã busca promover a educação ambiental, estimulando práticas sustentáveis e o consumo responsável, e fortalecendo a cultura de preservação do meio ambiente.

Para colocar esses princípios em prática, as IES devem desenvolver e implementar um Plano de Gestão de Resíduos Sólidos (PGRS). Este plano é estabelecido pela seção V do [7] e engloba um conjunto de medidas e procedimentos destinados a garantir a gestão ambientalmente adequada dos resíduos gerados durante as atividades institucionais. Da etapa de segregação e acondicionamento dos resíduos até a etapa de disposição final, o PGRS leva em consideração as necessidades e exigências únicas de cada Instituição.

Por todo exposto, fica evidente que a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a coleta seletiva cidadã e o Programa de Gestão de Resíduos Sólidos são os pilares fundamentais para que as IES promovam a gestão responsável dos resíduos sólidos e a construção de um futuro mais sustentável para as gerações atuais e futuras.

### *2.1. Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Instituições Públicas*

Na busca contínua por práticas mais sustentáveis, a gestão eficiente de recursos nas instituições públicas desempenha um papel de extrema relevância, ou seja, o potencial de conservação de energia elétrica nas IES, ou seja, a quantidade de energia que pode ser economizada através da implementação de medidas e práticas de eficiência energética em um determinado sistema, edifício, indústria ou setor. Em outras palavras, o potencial de conservação de energia elétrica se refere à quantidade de energia que pode ser preservada ou não utilizada sem comprometer a qualidade dos serviços prestados ou os processos realizados [5]. Esta pode ser obtida tanto através dos avanços na tecnologia que impulsionam a introdução de novos produtos no mercado, como lâmpadas e motores mais eficientes, novos aparelhos e sistemas de automação que otimizam a produção, transporte e distribuição de energia, e muitos outros avanços tecnológicos que significam melhor aproveitamento da energia elétrica. Além de ser obtido por novas formas de gestão do processo produtivo.

Na prática, a implementação dessas medidas nas instituições públicas é realizada por meio do alinhamento das ferramentas já mencionadas na subseção anterior com o Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS), que foi instituído em 2012 por [9], como um dispositivo de planejamento e gestão ambiental, cuja implementação deve ser acompanhada por todos os órgãos públicos brasileiros e empresas estatais dependentes. Vale ressaltar que o Art. 16 deste Decreto, alterado por [10], estabelece que a administração pública federal deve desenvolver e implementar o plano de gestão logística sustentável de acordo com lei editada pela Secretaria de Gestão do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. O PLS compreende métodos destinados a promover a criação de hábitos sustentáveis e aperfeiçoar o controle de custos e processos na administração pública, conforme estabelecido na Instrução Normativa 10/2012. Para que seja implementado cada plano deverá contemplar questões mínimas, abrangendo: i) atualização do inventário de bens e materiais do órgão ou entidade e identificação de similares de menor impacto ambiental para substituição; ii) práticas de sustentabilidade e de racionalização do uso de materiais e serviços; iii) responsabilidades, metodologia de implementação e avaliação do plano; iv) ações de divulgação, conscientização e capacitação.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção aborda a metodologia utilizada neste trabalho. A primeira etapa, subseção 3.1, descreve a área de estudo, a segunda (subseção 3.2) mostra os dados dos materiais coletados compilados e por último, a subseção 3.3, que esboça em detalhes os procedimentos metodológicos utilizados na elaboração do trabalho.

### *3.1. Área de estudo*

A área de estudo compreende uma análise de caso dos resíduos sólidos gerados pela UFERSA, na cidade de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte. O campus é dividido em dois lados, Leste e Oeste, sendo a parte Leste a locação do abrigo de resíduos. A universidade conta com uma gestão bem consolidada na adequação de resíduos, adotando de forma consistente o seu plano de logística sustentável. Fundada em 2005, a UFERSA demonstra desde seus primórdios preocupação com questões ambientais e energéticas, sendo uma das universidades pioneiras em usinas fotovoltaicas no Brasil, além de realizar inúmeras outras pesquisas, como a Estação Experimental, que possui uma área de 416 ha, sendo 80% dessa área preservada.

### *3.2. Material coletado*

De posse dos dados disponibilizados<sup>1</sup>, foram selecionados quatro tipos de materiais, a saber, plásticos, vidros, metais e papéis. Essa seleção abrangeu um período de sete anos, no caso, a partir do ano de 2016. Também foi possível ter acesso aos dados dos primeiros seis meses do ano de 2023 (estes dados foram utilizados exclusivamente para validar o modelo de projeção escolhido). A Figura 1, Figura 2, Figura 3 e Figura 4 apresentam a variação desses materiais mensalmente, em Kg, de 2016 ao ano de 2022, representando, respectivamente, os plásticos, vidros, metais e papéis.

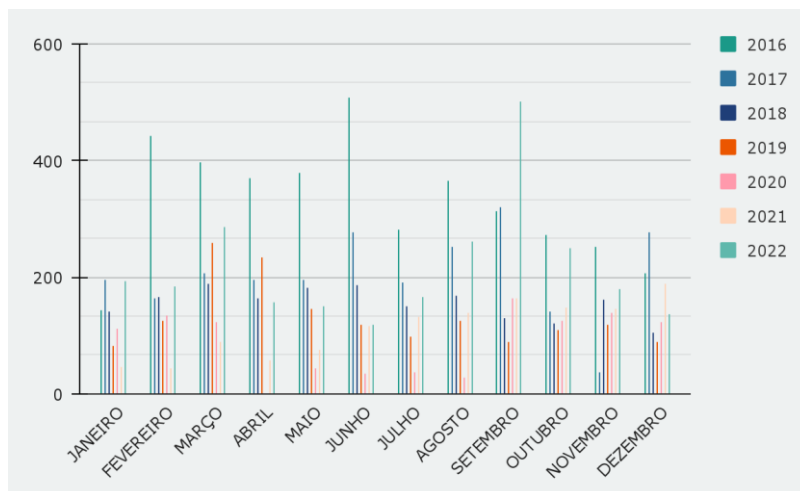


Figura 1. Quantidade de material reciclável, do tipo plástico, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

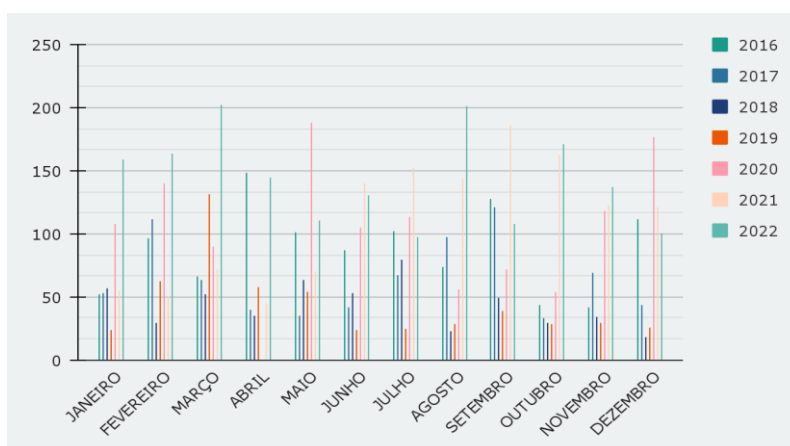


Figura 2. Quantidade de material reciclável, do tipo vidro, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

<sup>1</sup> Estes dados foram obtidos através de um projeto de extensão coordenado pela Prof. Dr<sup>a</sup>. Diana Lunardi (UFERSA), e tais dados tem como objetivo auxiliar na elaboração do Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS) da Universidade.

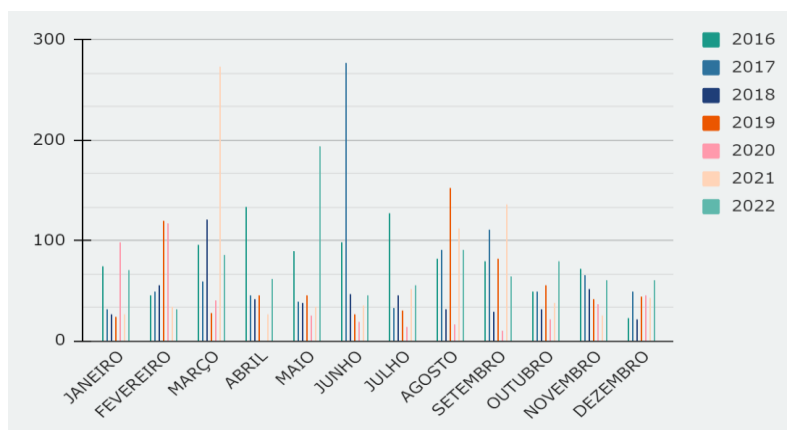


Figura 3. Quantidade de material reciclável, do tipo metais, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

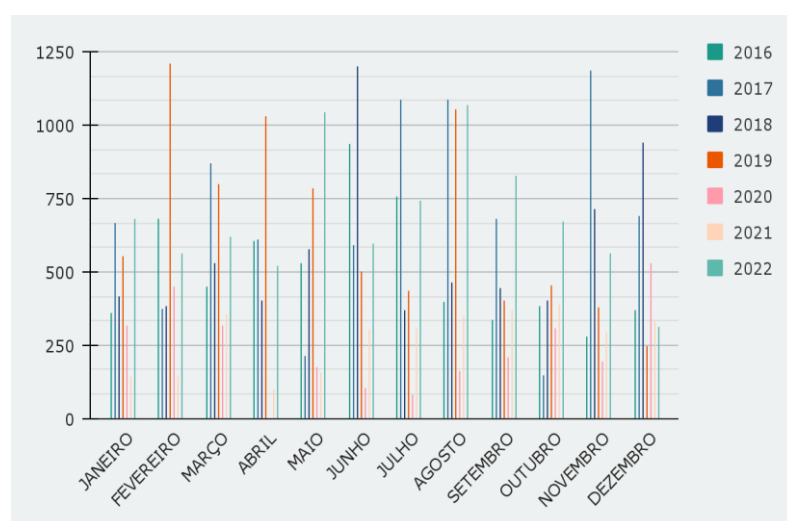


Figura 4. Quantidade de material reciclável, do tipo papel, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

### 3.3. Procedimentos Metodológicos

Nesta seção, é descrita a metodologia utilizada para elaborar este trabalho, abrangendo desde a análise inicial até a previsão e pesquisa. A Figura 5 ilustra de forma resumida o esquema adotado neste trabalho.

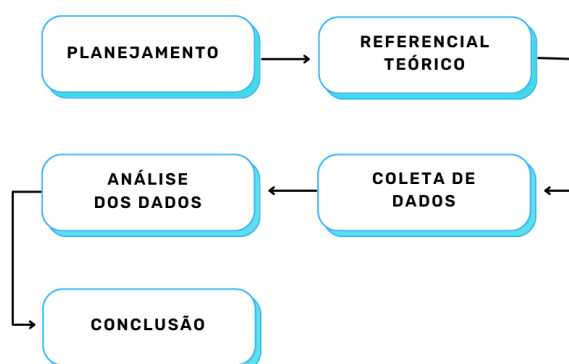


Figura 5. Etapas da metodologia do trabalho (Autoria Própria).

A Figura 5 descreve a abordagem metodológica e os procedimentos realizados na elaboração do presente trabalho, que compreende as seguintes etapas: (i) Planejamento: delimitação do escopo da pesquisa, focalizando os temas propostos durante as reuniões; (ii) Referencial teórico: pesquisa em diversos periódicos por meio de diferentes estratégias de busca, visando ampliar a base de literatura e métodos de análises estatísticas; (iii) Coleta de dados: realizada junto a comissão do Plano de Logística Sustentável da Ufersa para subsidiar a aplicação da pesquisa; (iv) Análise dos dados: definição e implementação do método que permitisse a análise pertinente dos dados; (v) Conclusão: síntese e apresentação das conclusões derivadas do estudo realizado.

Além das etapas descritas na Figura 5, foram necessárias etapas complementares descritas na subseção 3.3.1 (Previsão) e 3.3.2 (Potencial de Conservação de Energia).

### 3.3.1. Previsão

Para analisar os dados e prever desperdícios futuros desses materiais, foi feita uma análise qualitativa dos dados apresentados nas Figuras 1, 2, 3 e 4, que determinou a não estacionariedade pelo teste de *Dickey-Fuller*<sup>2</sup> aumentado, com a amostra tratada, considerando um nível de significância de 0,05 no valor p. Por conseguinte, isso implica que as propriedades estatísticas, dos conjuntos de dados mudam com o tempo, devido às tendências, ciclos, caminhadas aleatórias ou combinações desses fatores, que já eram esperadas com as tendências e variações sazonais que podem influenciar a geração de resíduos ao longo do tempo. O tratamento das amostras foi um processo importante para esta análise estatística, sendo parte crucial da amostragem e exclusão de *outliers*<sup>3</sup>.

Neste trabalho, foram aplicadas duas técnicas de tratamento de dados, para garantir que os dados fornecidos serão representativos, sendo eles a análise direta sobre gráfico de dispersão e análise do desvio padrão, considerando a natureza não estacionária dos dados. Desta forma, os dados foram analisados separadamente, considerando a média mensal de cada ano individualmente, em vez de agrupar as médias anuais como conjuntos completos.

Para identificar e remover os *outliers* dos dados, aplicou-se um método baseado no desvio padrão, que pode ser observado na Equação 1. Este método envolve o cálculo das médias mensais (representadas por  $\mu$ ) e do desvio padrão (representado por  $\sigma$ ) para cada mês de dados. Em seguida, esses valores foram usados para identificar quais pontos de dados em cada mês estão a uma certa distância da média desse mês, que foi definida como duas vezes o desvio padrão.

$$Outlier = \mu \pm 2 \cdot \sigma \quad (1)$$

Dada a ampla variedade de padrões de séries temporais não estacionárias, incluindo tendências e sazonalidades, este artigo optou por usar o modelo *Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with exogenous regressors* (SARIMAX). O programa é utilizado para análise e previsão de séries temporais que modelam tendências e sazonalidades, a fim de prever valores futuros de suas séries, considerando possíveis variáveis exógenas. O código implementado em *Python*, desenvolvido pela equipe, inicialmente importa bibliotecas como *Pandas*, *NumPy* e *Matplotlib* para manipulação de dados, cálculos numéricos e visualização.

A alimentação do Programa ocorreu através dos dados tratados individualmente para cada tipo de resíduo. Em seguida, o código aplica diferentes combinações de parâmetros no modelo, incluindo as ordens "p, d e q" nos critérios de ajuste do ARIMA e no período de sazonalidade, utilizando o critério de informação de *Akaike* (AIC) para selecionar o melhor modelo que se ajusta aos dados, em seu *plot* gráfico.

### 3.3.2. Potencial de Conservação de Energia

Em função de ser a unidade sede, o campus Mossoró detém uma grande comunidade acadêmica, e em decorrência disto, além de haver uma produção significativa na geração de seus resíduos, existe uma grande variabilidade na classificação dos mesmos, sendo eles: resíduos domiciliares, pilhas e baterias, lâmpadas, resíduo hospitalar e resíduos biológicos, químicos, podas e materiais recicláveis [14].

Na dinâmica da coleta de resíduos sólidos na UFERSA, focou-se em resíduos sólidos como papelão, metal, vidro e plástico, em decorrência dos mesmos serem os mais energointensivos. Esses itens são depositados em contentores de materiais recicláveis, de 360 litros, estrategicamente distribuídos pelo campus e, em seguida, encaminhados ao abrigo temporário de resíduos, onde ocorre uma triagem básica, priorizando a separação dos materiais mais comuns, estes são semanalmente recolhidos por uma associação de catadores, que realizam uma triagem mais detalhada [14].

<sup>2</sup> Este método verifica a estacionariedade dos dados e determina se é necessário aplicar diferenças para tornar a série estacionária.

<sup>3</sup> Valores discrepantes.



A reciclagem desses materiais não apenas reduz a geração de resíduos da IES, a ser descartado, mas também a necessidade de energia elétrica, uma vez que, o potencial de energia conservada por meio da reciclagem dos resíduos equivale à energia que se evita consumir, reduzindo tanto a geração de resíduos quanto a demanda por energia elétrica [5]. Cada material tem um potencial de energia conservada distinto, e optou-se por priorizar aqueles mais comuns, como papelão, metal, vidro e plástico, por representarem uma parcela significativa dos resíduos urbanos domiciliares. Este processo contribui para minimizar o impacto ambiental negativo e promover uma gestão mais sustentável dos resíduos da Instituição. Para estes materiais, a Tabela 1 representa uma simplificação de [15], na qual apresenta os valores dos potenciais correspondentes.

Tabela 1. Potencial de conservação de energia para cada material (autoria própria).

<b>Tipos de materiais</b>	<b>Potencial de conservação de energia elétrica (MWh)</b>
Plástico	5,0
Vidro	0,5
Metal <sup>1</sup>	6,0
Papelão	3,5

<sup>1</sup> O Valor refere-se exclusivamente aos metais ferrosos.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seção 4 trata sobre as análises dos resultados e para isso, desenvolveu-se as subseções 4.1, que mostra as estimativas futuras de geração de resíduos sólidos da IES e, por fim, a subseção 4.2, que mostra a estimativa do potencial de conservação de energia elétrica a partir da reciclagem, foco do trabalho.

##### 4.1. Estimativas Futuras de Geração de Resíduos Sólidos

O modelo SARIMAX foi escolhido visando levar em consideração as nuances do comportamento da pandemia. Durante estes anos, foi observado que os valores dos resíduos apresentados nas Figuras 1, 2, 3 e 4 foram significativamente inferiores à média mensal dos anos anteriores e posteriores. Essa diferença pode ser resultado de restrições impostas, alterações nos padrões de consumo e os impactos econômicos decorrentes da pandemia. Estes padrões detém características importantes no comportamento dos resíduos, pois não somente fazem parte da série temporal, como também podem fazer parte de fontes externas na projeção.

Disso feito, foram realizadas as referidas projeções e os valores destas projeções, podem ser observados na Figura 6, Figura 7 e Figura 8. Vale enfatizar que os dados observados nessas figuras representam os dados tratados de cada mês/ano (podendo variar, de acordo com cada material, do ano de 2016 ao ano de 2022), contudo na projeção do metal, consideráveis meses com outliers impossibilitou sua análise no modelo SARIMAX.

A Figura 6 destaca uma disparidade notável na quantidade de resíduos plásticos ao longo dos anos, no valor observado. Essa variação pode ser atribuída a fatores específicos que influenciam a produção, consumo e descarte de plásticos durante esses períodos. Além disso, é relevante investigar se essas diferenças são consistentes ao longo do tempo ou se estão associadas a eventos específicos.

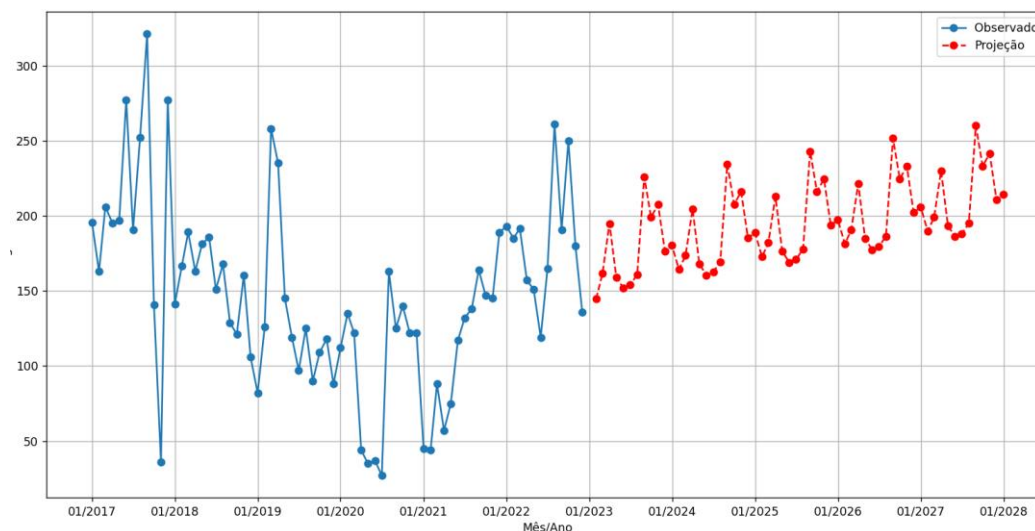


Figura 6. Projeção pelo modelo SARIMAX de plástico, em Kg (Autoria Própria).

É possível que existam tendências sazonais ou flutuações anuais que afetem a quantidade de resíduos tanto da Figura 6, como também das Figuras 7 e 8, que devem possuir ligações diretas com o calendário acadêmico vigente de cada ano. A projeção representada na Figura 6, ao contrário das Figuras 7 e 8, não incluiu os dados do ano de 2016. Ao aplicar a equação 1, nas somas de cada ano que gerou resíduos plásticos e compará-las com os dados dos outros anos, identificou-se a presença de um valor discrepante no ano de 2016, ultrapassando o limite superior da equação 1 de 3647 Kg, indicando a presença de um outlier e o excluindo da projeção.

Os resultados da projeção mostrados na Figura 6, resíduo plástico, indicam uma considerável consistência em relação aos seis meses de 2023, que foram pesados. A variação média de 31 kg para mais ou para menos sugere uma estabilidade relativa no desempenho, o que é um indicador positivo, para este modelo. A figura também mostra os meses com maior e menor potencial de geração, sendo eles agosto e janeiro, respectivamente. A geração tende a aumentar de forma moderada de acordo com os anos, o que implica que seu potencial de reciclagem também vai aumentar de forma moderada. Já os resultados da projeção da Figura 7, resíduo vidro, indicam resultados ainda mais consistentes em relação aos dados da Tabela 6 e 8 e aos dados dos seis meses de 2023, que foram pesados. A variação média de 25 kg para mais ou para menos sugere uma estabilidade relativa ainda maior no desempenho, o que é um indicador positivo para este modelo.

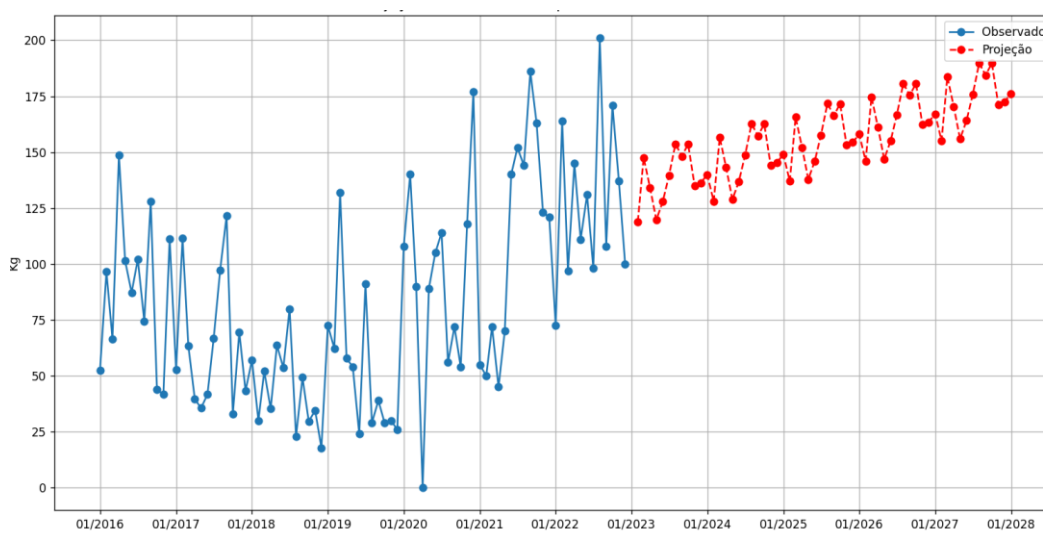


Figura 7. Projeção pelo modelo SARIMAX de vidro, em Kg (Autoria Própria).

A Figura 7 também mostra os meses com maior e menor potencial de geração, sendo eles os meses de julho e janeiro, respectivamente. A geração tende a aumentar de forma mais acentuada de acordo com os anos, o que implica que seu potencial de reciclagem também vai aumentar de forma acentuada.



Por fim, os resultados da projeção da Figura 8, resíduo papel, indicam resultados consistentes em relação aos seis meses de 2023, que foram pesados. Embora possua uma maior variação que as Figuras 6 e 7, o papel possui valores brutos muito maiores do que o vidro e plástico. A variação média de 127 kg para mais ou para menos sugere uma estabilidade relativa no desempenho, o que é um indicador positivo para este modelo.

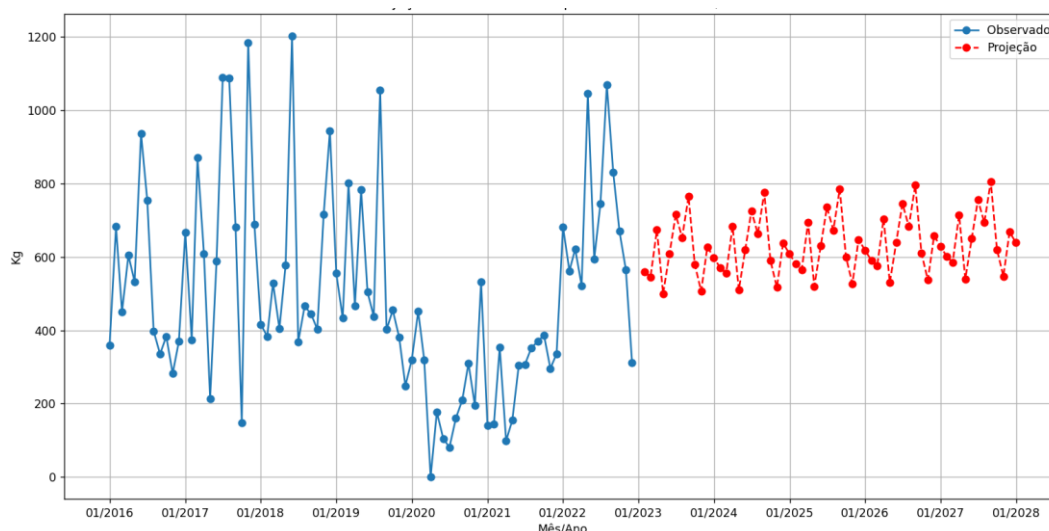


Figura 8. Projeção pelo modelo SARIMAX de papel, em Kg (Autoria Própria).

A Figura 8 também mostra os meses com maior e menor potencial de geração, são eles agosto e abril, respectivamente. A geração tende a se estabilizar de acordo com os anos, o que implica que seu potencial de reciclagem também vai possuir valores mais estáveis. Por todo o exposto e analisado, os resultados aqui mostrados podem servir como uma base sólida para análises mais aprofundadas e para a formulação de estratégias de intervenção com o objetivo de otimizar o desempenho ou aprimorar os processos relacionados aos dados da coleta.

Além disso, a consistência observada nas análises sugere que as práticas atuais estão gerando resultados confiáveis, o que pode proporcionar uma maior confiança na tomada de decisões com base nesses dados. Porém como o erro pode ser cumulativo e sofre influências externas, para a geração contínua de dados pelo modelo SARIMAX, é importante manter uma análise cuidadosa e contínua desses novos dados em relação aos resultados anteriores, para uma maior precisão em eventuais sazonalidades. Como este artigo possui o comportamento de sete anos, a projeção para os anos de 2025 até 2027 podem sofrer consideráveis alterações para o modelo atual.

#### 4.2. Estimativa do Potencial de Conservação de Energia Elétrica a Partir da Reciclagem

Para calcular o potencial de conservação de energia elétrica por meio da reciclagem dos resíduos sólidos coletados na IES entre os anos de 2016 a 2022, utilizou-se as médias mensais dos materiais coletados, conforme detalhado na Tabela 2 relacionando-os com os potenciais individuais de cada material, já apresentados anteriormente, na Tabela 1. Assim, foi possível incorporar as estimativas de energia conservável por mês, em MWh, para cada tipo de material, aos dados expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa mensal do potencial de conservação de energia em MWh (autoria própria).

Material	Ano	Plástico	Vidro	Metal	Papelão	Total
Média (ton/mês)	2016	0,3280	0,0878	0,0810	0,5075	1,0043
PEEC (MWh)		1,6400	0,0439	0,4860	1,7763	3,9462
Média (ton/mês)	2017	0,2043	0,0647	0,0752	0,6839	1,0281
PEEC (MWh)		1,0215	0,0324	0,4512	2,3937	3,8987
Média (ton/mês)	2018	0,1552	0,0438	0,0449	0,5713	0,8152

PEEC (MWh)		0,7760	0,0219	0,2694	1,9996	3,0669
Média (ton/mês)	2019	0,1327	0,0443	0,0580	0,6553	0,8903
PEEC (MWh)		0,6635	0,0222	0,3480	2,2936	3,3272
Média (ton/mês)	2020	0,0965	0,1111	0,0405	0,2602	0,5083
PEEC (MWh)		0,4825	0,0556	0,2430	0,9107	1,6918
Média (ton/mês)	2021	0,1118	0,1101	0,0697	0,2705	0,5621
PEEC (MWh)		0,5590	0,0551	0,4182	0,9468	1,9790
Média (ton/mês)	2022	0,2154	0,1439	0,0751	0,6840	1,1184
PEEC (MWh)		1,0771	0,0720	0,4506	2,3940	3,9936

A Tabela 2 apresenta a média mensal de geração para cada tipo de resíduo em tonelada a cada ano, além do potencial estimado de energia conservável (PEEC) por mês em MWh, no campus sede da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para os anos entre 2016 e 2022, calculado com base nos dados obtidos ao longo da realização da pesquisa. É possível notar algumas variações nas médias apresentadas, em especial durante os anos de 2020 e 2021, que podem ser explicadas em decorrência da pandemia da Covid-19, que representou um período atípico que influenciou de forma pontual a geração de resíduos da UFRS, divergindo do padrão usual de geração.

Ao analisar os dados, excluindo o período da pandemia, observa-se que o potencial mensal de energia elétrica conservável pode chegar a aproximadamente 3,6 MWh. Esse valor pode ser comparado com a produção das 16 usinas de geração solar fotovoltaica no campus sede da UFRS, estimada em 176,5 MWh por mês [16]. Além disso, pode-se relacioná-lo com o consumo residencial, por casa médio de energia elétrica no Nordeste brasileiro, que é de 124 kWh por mês em 2022 [17], em outras palavras, com o potencial de energia proveniente da reciclagem dos resíduos da UFRS, seria viável abastecer aproximadamente 29 residências durante o mesmo período.

## 5. CONCLUSÃO

Diante das diretrizes das políticas nacionais e internacionais de gestão de resíduos, a adoção de programas de gestão de resíduos está cada vez mais em evidência. No entanto, a ideia de responsabilidade coletiva ainda é um desafio, o que pode comprometer a eficiência de certas ações. Nas universidades, a composição multifacetada de pensamentos e pessoas, determina de forma micro a complexibilidade da tomada de ações. Essa complexibilidade também pode ser acompanhada em ampla escala no Brasil, que possui dificuldades no manejo correto e na geração de resíduos.

As políticas adotadas nas universidades, apesar de complexas, têm um caráter educativo e de responsabilidade ambiental. Dessa forma, o manejo desses resíduos apresenta uma diferença significativa em relação a outras práticas no país, promovendo, desta forma, a redução de emissões de gases de efeito estufa, a eficiência energética, a redução de resíduos e a reutilização de materiais. Além disso, incentiva a gestão sustentável da cadeia de suprimentos, por meio da adoção e incentivo de práticas como a reciclagem.

A prática da reciclagem, portanto, surge como uma alternativa no gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Ela também pode proporcionar uma série considerável de benefícios econômicos, sociais e ambientais, pois está ligada à reintrodução de alguns materiais ao ciclo de produção, para finalidades similares a sua produção inicial. Com isso, a reciclagem possui um potencial de reduzir consideravelmente o consumo de energia elétrica, a depender do material e da quantidade reciclada, conforme neste trabalho, mostrado na Tabela 1. Portanto, estima-se que para a geração de resíduos da UFRS, ou seja, a energia elétrica conservada, seja capaz de diminuir o consumo de energia elétrica de 29 residências mensalmente, considerando um consumo médio nacional de 152,2 kWh/mês por casa. Embora essa quantidade seja considerável, esse valor possui um potencial menor no âmbito nacional do que na região Nordeste, que possui um consumo médio menor. Entretanto, quando comparados aos valores do consumo da UFRS, o potencial de conservação de energia elétrica, pela reciclagem, se mostrou ainda pouco expressivo, representando apenas 1,1% do consumo da universidade.

Porém, é importante retomar e reforçar que com a utilização de modelos de séries temporais SARIMAX, em concordância aos seus resultados, mostram um modelo eficiente de projeção, podendo ser uma ferramenta viável para as políticas de gestão de resíduos, constituindo uma metodologia promissora para os cálculos de custos anuais e de seu potencial de conservação de energia. Além disso, pode fornecer subsídios para o desenvolvimento de planos de monitoramento, conservação e tomada de decisões por parte das Instituições de Ensino Superior.

De maneira geral, os gráficos gerados pelo SARIMAX, e mostrados neste trabalho, indicam um aumento no potencial de geração de resíduos, especialmente do material vidro. Esses valores representam uma tendência de que o potencial de conservação de energia elétrica seja mais significativo nos próximos anos, em comparação aos valores de 1,1%. No entanto, com base neste estudo, o impacto real das políticas de gestão de resíduos no Brasil, nas sedes de cada IES, caso o comportamento em relação aos resíduos seja semelhante, podem possuir o potencial de suprir a necessidade de energia elétrica de aproximadamente 4500 pessoas, com tendência de aumento. Portanto, a adoção de políticas como a reciclagem, detém impactos positivos na demanda de energia. Por conseguinte, caso as políticas de gestão de resíduos nas regiões do Brasil, optem por manejos mais sustentáveis como a reciclagem, os impactos no setor energético serão ainda maiores.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Tavares, E. E. A. S. Gestão De Resíduos Sólidos Em Instituições De Ensino Superior: Um Estudo De Caso Na Universidade Federal De Pernambuco (Ufpe/Campus Recife). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2020.
- [2] Buerger, A. L. Ferramentas E Medidas Para A Adequação Do Gerenciamento De Resíduos Da Construção Na Ufsc–Campus Trindade. 2016.
- [3] Associação Brasileira de Estágios. Disponível online: <https://abres.org.br/estatisticas/#:~:text=Os%20ingressantes%20tamb%C3%A9m%20evoluiu%20em,um%20aumento%20de%20179.422%20alunos> (acesso em 27/12/2023)
- [4] Juliatto, D. L.; Calvo, M. J.; Cardoso, T. E. Gestão Integrada De Resíduos Sólidos Para Instituições Públicas De Ensino Superior. Revista Gestão Universitária Na América Latina-Gual, V. 4, N. 3, P. 170-193, 2011.
- [5] Vieira, R. G. Estimativa do Potencial de Conservação de Energia Através da Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares Coletados na Cidade de Mossoró-RN. Monografia, UFERSA, Mossoró-RN, 2012.
- [6] Tauchen, J.; Brandli, L. L. A Gestão Ambiental em Instituições de Ensino Superior: Modelo Para Implantação em Campus Universitário. Gest. Prod. [Online]. 2006, Vol.13, N.3, Pp. 503-515. Issn 0104-530x.
- [7] BRASIL. Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.
- [8] BRASIL. Decreto N° 10.936 de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2022.
- [9] BRASIL. Decreto N° 7.746 de 05 de junho de 2012. Regulamenta o art. 3° da lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, para estabelecer critérios e práticas para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal direta, autárquica e fundacional e pelas empresas estatais dependentes, e institui a comissão interministerial de sustentabilidade na administração pública – CISAP. Brasília, DF, 2012.
- [10] BRASIL. Decreto 9.178 de 23 de outubro de 2017. Altera o Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012, que regulamenta o art. 3° da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, para estabelecer critérios, práticas e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal direta, autárquica e fundacional e pelas empresas estatais dependentes, e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública - CISAP. Brasília, DF, 2017.
- [11] Leonês, A. F. C. Gestão de Resíduos Sólidos em Instituições de Ensino Superior: Um Estudo de Caso da UFERSA. TCC, UFERSA, Mossoró-RN, 2023.
- [12] STREB, C. S. Resíduo Sólido Domiciliar: Potencial de Minimização e Conservação de Energia com Reciclagem em Municípios da Região Metropolitana de Campinas. Tese de Doutorado. Campinas, 2004.
- [13] Portal UFERSA. Disponível online: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/geracao-de-energia-eletrica/> (acesso em 17/01/2024)
- [14] Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Disponível online: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario/> (acesso em 17/01/2024)



Artigo

# Estudo da variação da geometria da asa através de simulação computacional

Jeremy Michael Venâncio da Silva <sup>[1]</sup>, Maximilyano Gois Sena <sup>[2]</sup> e Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras <sup>[3]</sup>

<sup>[1]</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido; venanciojeremy@gmail.com

<sup>[2]</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido; maximilyano.sena@alunos.ufersa.edu.br

<sup>[3]</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido; dautcouras@ufersa.edu.br

Recebido: 29/04/2024;

Aceito: 27/06/2024;

Publicado: 30/06/2024;

**Resumo:** A competição SAE (*Society of Automotive Engineers*) aerodesign tem como objetivo projetar uma aeronave radio controlada que deve levar a maior quantidade de massa possível com o mínimo de peso da aeronave. Este trabalho tem como objetivo analisar diferentes geometrias de asas com o intuito de identificar qual delas faz com que a aeronave carregue a maior quantidade de carga possível, maximizando o MTOW (*Maximum Take-Off Weight*). Com isso, foi realizado um estudo para identificar, com o auxílio de simulações computacionais por CFD (*Computational Fluid Dynamics*), qual o melhor perfil e quais os parâmetros utilizados. Durante o estudo, foi possível encontrar os parâmetros, para que fosse analisado o comportamento das asas nas simulações de corrida e decolagem, seguindo as regras estabelecidas pelo regulamento da competição, a fim de identificar qual geometria apresenta o melhor desempenho. Ao final do trabalho foi concluído que uma asa 100% retangular consegue suportar a maior quantidade de carga, porém, isso não faz dela a melhor asa, já que é necessário analisar outros aspectos, como propagação de estol na asa, formação de vórtices nas pontas da asa, e manobrabilidade da aeronave.

**Palavras-chave:** Aerodesgin, CFD, Aerodinâmica, Desempenho.

**Abstract:** The SAE (*Society of Automotive Engineers*) aerodesign competition aims to design a radio-controlled aircraft that must carry the greatest amount of mass possible with the minimum weight of the aircraft. This work aims to analyze different wing geometries in order to identify which one allows the aircraft to carry the greatest amount of load possible, maximizing the MTOW (*Maximum Take-Off Weight*). As a result, a study was carried out to identify, with the aid of computational simulations using CFD (*Computational Fluid Dynamics*), the best profile and which parameters were used. During the study, it was possible to find the parameters, so that the behavior of the wings in racing and takeoff simulations could be analyzed, following the rules established by the competition regulations, in order to identify which geometry presents the best performance. At the end of the work it was concluded that a 100% rectangular wing can support the greatest amount of load, however, this does not make it the best wing, as it is necessary to analyze other aspects, such as stall propagation on the wing, formation of vortices at the tips of the wing, and maneuverability of the aircraft.

**Key-words:** Aerodesgin, CFD, Aerodynamics, Performance.

## 1. INTRODUÇÃO

Em todo projeto aeronáutico, sempre se busca realizar otimizações com o objetivo de obter asas com a melhor eficiência aerodinâmica possível. Para isso, envolvem-se conceitos de propagação de estol na asa, estabilidade da aeronave, momento gerado, entre outros. Neste trabalho, será feita uma variação na geometria da asa, com o intuito de identificar qual variação resulte com que a aeronave carregue a maior quantidade de peso, levando em consideração a limitação da pista de decolagem.

Com relação as geometrias de asa, existe uma grande variedade que depende do uso da aeronave. Em geral, as asas podem ter formato elíptico, retangular, trapezoidal, mista, pode ser enflechada ou não e cada uma terá propriedades e características diferentes, bem como vantagens e desvantagens. [1]

A asa com formato elíptico apresenta a melhor eficiência aerodinâmica e apresenta o menor arrasto em relação à sustentação, provocando uma melhor eficiência aerodinâmica, porém esse tipo de asa é de difícil construção, fazendo com que seja pouco utilizada. [1]

A asa com formato retangular, por apresentar maior área, apresenta a maior sustentação, mas alinhado com um aumento no arrasto, o que piora a manobrabilidade da aeronave. Uma das vantagens desse tipo de asa é a facilidade construtiva e a propagação do estol que se dá da raiz da asa para o centro, deixando livre as superfícies de controle. [1]

A asa com formato trapezoidal, apresenta um menor arrasto, porém, com uma sustentação menor, em comparação com a geometria retangular, esse tipo de asa é a melhor para manobrabilidade, porém o estol se inicia do meio da asa para a ponta, afetando as superfícies de controle. [1]

Pela asa elíptica ser complexa de construir, utiliza-se uma geometria de asa mais próxima possível, para aumentar ganhos aerodinâmicos e de desempenho. Como a aeronave para competições SAE (*Society of Automotive Engineers*) são de baixas velocidades, não é aconselhado que elas sejam enflechadas. Por isso, nesse trabalho, serão estudados 11 tipos de asa, que são: 100% trapezoidal, 100% retangular e asas mista com 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90% de seção retangular.

A partir disso, foram realizadas simulações CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para obter os coeficientes que são utilizados como *inputs* no código de corrida e decolagem para saber qual das asas suporta a maior quantidade de peso.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Escolha do perfil para a asa

Para a escolha do perfil da asa, é feita uma análise para identificar quais dos perfis apresentam as melhores características para o projeto, ou seja, perfis que tenham uma alta sustentação e o mínimo de arrasto possível. Além disso, é preferível que se escolha um perfil que apresente a melhor eficiência aerodinâmica. [2]

Para a escolha do perfil, foram analisados os perfis mais utilizados nas competições SAE: Wortmann FX 74-CL5-140, Selig 1223, Selig 1210, Eppler 423. Para realizar as análises, foi utilizado o software XFLR5. [3]

Os perfis estão mostrados na Figura 1.

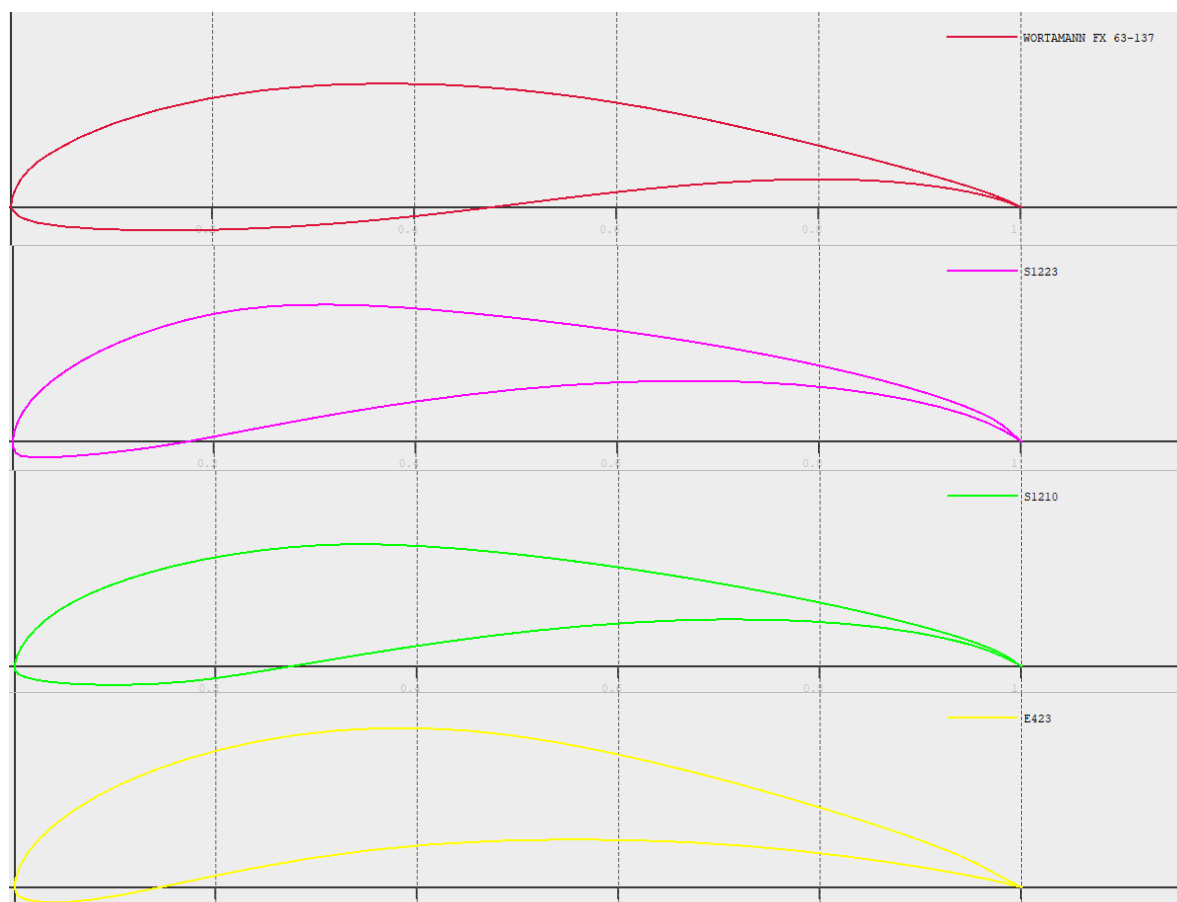


FIGURA 1. Design dos perfis no software XFLR5. (Autoria própria)

As análises dos perfis foram realizadas para uma velocidade de cruzeiro de 16 m/s e uma variação de angulação de 0 a 25°. As análises realizadas estão apresentadas na Figura 2.

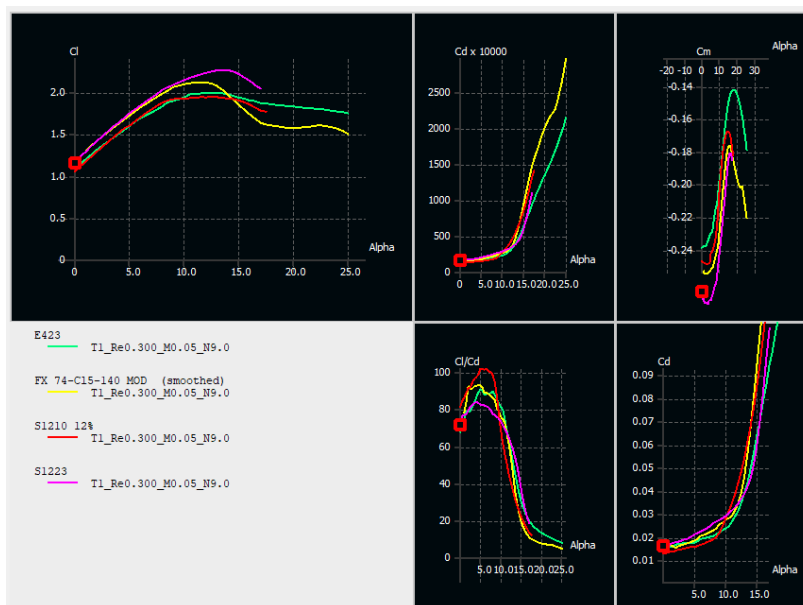


FIGURA 2. Análise dos perfis no software XFLR5. (Autoria própria)

Através da análise realizada, percebe-se que o perfil Selig 1223 é o mais adequado, por apresentar um alto valor de  $C_l$  (Coeficiente de sustentação), um  $C_d$  (Coeficiente de arrasto), relativamente parecido com os demais e apresentar um menor coeficiente de momento.

## 2.2. Parâmetros da asa

Para a asa, foi utilizada uma envergadura de 2 m, uma corda na raiz de 0,6 m; um afilamento de 0,5 que gera uma corda na ponta da asa de 0,3 m. Esse afilamento foi utilizado para aproximar ao máximo a asa para um formato elíptico. Outra questão é a seção da ponta da asa, na qual teve um *offset* de 0,075 m para que os centros aerodinâmicos dos perfis estivessem alinhados. As geometrias das asas estudadas estão mostradas na Figura 3 seguir.

A corda na raiz é o valor da corda na raiz da asa e ficou estabelecido que seria de 0,6 m e a corda na ponta é o valor da corda na ponta da asa e ficou definido que seria 0,3 m. O afilamento é a razão entre a corda na ponta e a corda na raiz da asa como mostrado na Equação 1. [3]

$$\lambda = \frac{c_t}{c_r} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5 \quad (1)$$

Utilizou-se um afilamento de 0,5, para aproximar ao máximo a asa de uma elipse.

A corda média aerodinâmica é o comprimento de corda que, quando for multiplicada pela área de asa, pressão dinâmica e coeficiente de momento, vai resultar no valor do momento aerodinâmico. A corda média aerodinâmica pode ser calculada pela Equação 2. [3]

$$\bar{c} = \frac{2}{3} c_r \left( \frac{1 + \lambda + \lambda^2}{1 + \lambda} \right) \quad (2)$$

Alongamento ou Razão de Aspecto (AR) é a razão entre a envergadura e a área de asa, de forma que quanto maior o AR maior o desempenho da asa e tem uma redução no arrasto induzido, porém vem acrescido de problemas estruturais e construtivos. O AR é calculado de acordo com a Equação 3. [3]

$$AR = \frac{b^2}{S} \quad (3)$$

A eficiência aerodinâmica da asa é determinada pela Equação 4.

$$e = 1,78(1 - 0,045 \cdot AR^{0,68}) - 0,64 \quad (4)$$

O arrasto induzido ( $C_{di}$ ) é o arrasto que depende da geração de sustentação e é caracterizado como um arrasto de pressão e causa o efeito de *downwash* que está associado aos vórtices nas pontas da asa. O arrasto induzido pode ser calculado de acordo com a Equação 5. [3]

$$C_{di} = \frac{CL^2}{\pi \cdot e \cdot AR} \quad (5)$$

O arrasto parasita ( $C_{do}$ ) é o arrasto total da aeronave menos o arrasto induzido, é a parcela do arrasto que não está relacionada com a sustentação e é o arrasto de forma/perfil. O arrasto parasita pode ser calculado de acordo com a Equação 6. [3]

$$C_{do} = C_d - C_{di} \quad (6)$$

O coeficiente de proporcionalidade ( $K$ ) pode ser calculado de acordo com a Equação 7.

$$K = \frac{1}{\pi \cdot e \cdot AR} \quad (7)$$

Os parâmetros das asas estão mostrados na Tabela 1.

TABELA 1. Dados e parâmetros de cada asa. (Autoria própria)

Configuração da Asa	Corda na raiz (m)	Corda na ponta (m)	Corda média aerodinâmica (m)	Área da asa (m <sup>2</sup> )	Razão de aspecto (AR)
Retangular	0,6	0,6	0,6	1,2	3,33
Trapezoidal	0,6	0,3	0,467	0,9	4,44
Mista 10	0,6	0,3	0,484	0,93	4,301
Mista 20	0,6	0,3	0,5	0,96	4,167
Mista 30	0,6	0,3	0,515	0,99	4,04
Mista 40	0,6	0,3	0,529	1,02	3,922
Mista 50	0,6	0,3	0,543	1,05	3,81
Mista 60	0,6	0,3	0,556	1,08	3,704
Mista 70	0,6	0,3	0,568	1,11	3,604
Mista 80	0,6	0,3	0,579	1,14	3,509
Mista 90	0,6	0,3	0,59	1,17	3,419



A Figura 3, mostra todas as geometrias de asas estudadas.

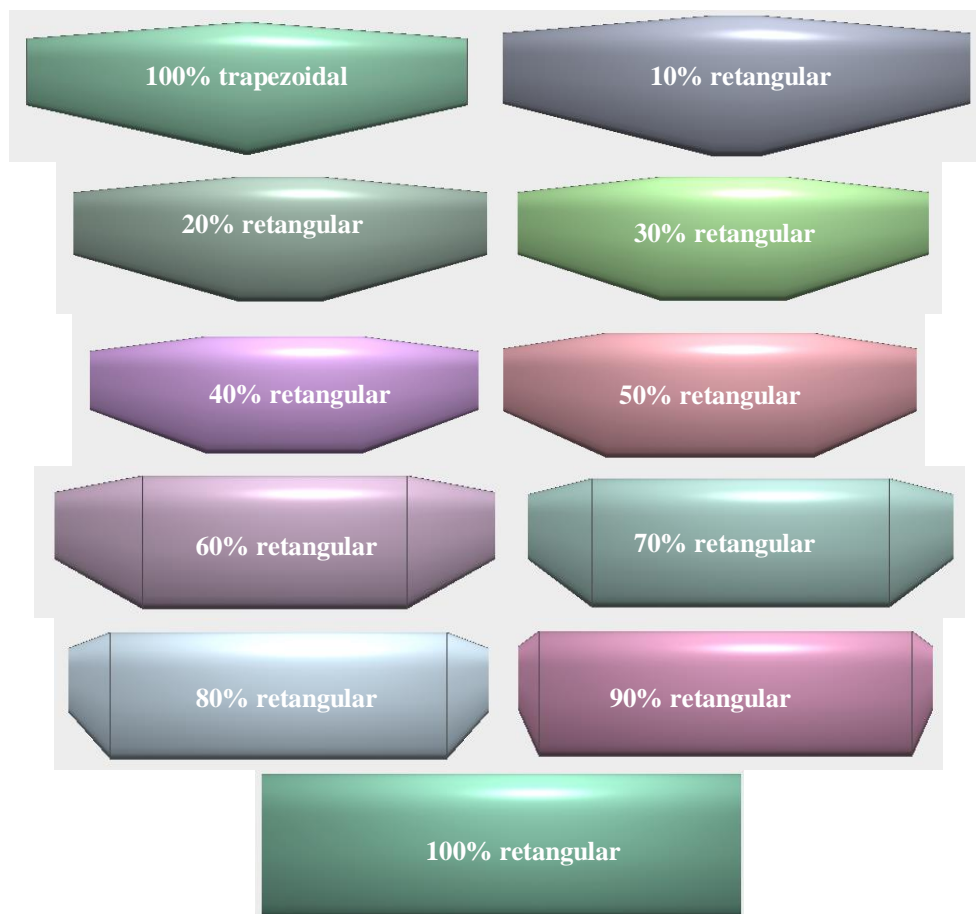


FIGURA 3. Geometria das asas modeladas no XFLR5. (Autoria própria)

### 2.3. Simulação CFD

Para a realização das simulações CFD das asas, foi utilizado o software *ANSYS*® com auxílio da ferramenta de análise *Fluent*. As asas foram feitas em um software de modelagem e exportadas no formato IGS para o *ANSYS*. Foi modelada apenas metade da asa, com o intuito de reduzir esforço computacional e de malha, já que a versão estudantil tem uma limitação de elementos.

No *ANSYS*, inicialmente foi realizado o desenho do volume de controle em torno da asa, com um tamanho de 10 vezes a meia envergadura, para que as paredes não gerem influência no escoamento da asa. O formato do volume de controle é um cilindro e uma “meia esfera”, que reduz os cantos vivos (caso fosse um formato de uma caixa).

Para a geração da malha, foi utilizado um *Body Sizing*, para que a região em torno da asa tivesse um refino de malha melhor. Além disso foi utilizado um *Edge Sizing* para realizar os contornos dos perfis da asa. Por fim, foi utilizado um *Face Sizing* para adequar a malha nas faces da asa.

A malha pode ser analisada na Figura 4.



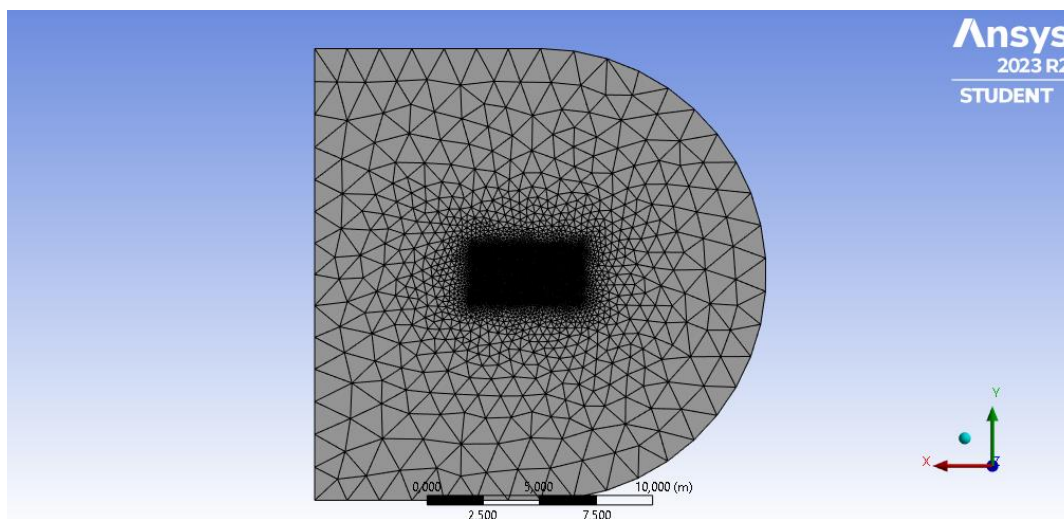


FIGURA 4. Malha utilizada na simulação. (Autoria própria)

A malha utilizada nas simulações tem em torno de 175701 nós e 1019853 elementos.

Para realizar a solução do problema, foi aplicado o modelo de turbulência K-w-SST, que prevê bem a separação da camada limite, mostrando-se o mais adequado para analisar o escoamento em asas. As simulações foram feitas levando em consideração o voo de cruzeiro ( $0^\circ$ ) e a aeronave a uma velocidade de 16 m/s. [4]

#### 2.4. Simulação de corrida e decolagem

Para realizar a corrida da decolagem, foi empregado o método de integração numérica por trapézios, utilizando dados aerodinâmicos fornecidos. Foram feitas as seguintes considerações:

1. Rotação da aeronave em 50 m de pista, já que na competição há um obstáculo em 55 m,
2. Utilizando  $C_l$  e  $C_d$  constantes;
3. A decolagem é realizada quando a distância da aeronave com relação ao solo for de 0,75 m, estabelecendo uma faixa de segurança para o obstáculo de 0,70 m;
4. Variáveis como aceleração, velocidade e posição, foram calculadas e a análise foi feita variando a massa para três densidades (A nível do mar, São José dos Campos e para 1000 m, fator crítico).

### 3. RESULTADOS

Com o auxílio das simulações CFD, foi possível obter os dados de  $C_l$  e  $C_d$  de cada geometria de asa. Os dados obtidos nas simulações estão descritos na Tabela 2.

TABELA 2. Resultados das simulações CFD. (Autoria própria)

Tipo de asa	$C_l$	$C_d$	Área (m <sup>2</sup> )	AR	e	$C_{d,i}$	$C_{d,o}$	K
Retangular	0,9070	0,0995	1,2	3,333	0,958	0,057	0,026	0,0996
Trapezoidal	0,7324	0,0684	0,9	4,444	0,919	0,052	0,024	0,0779
Mista 10	0,7341	0,0728	0,93	4,301	0,924	0,050	0,028	0,0801
Mista 20	0,7542	0,0726	0,96	4,167	0,929	0,051	0,025	0,0823
Mista 30	0,7678	0,0746	0,99	4,040	0,933	0,051	0,025	0,0844
Mista 40	0,7753	0,0773	1,02	3,922	0,937	0,050	0,026	0,0866
Mista 50	0,7918	0,0796	1,05	3,810	0,941	0,050	0,025	0,0888
Mista 60	0,8032	0,0813	1,08	3,704	0,945	0,050	0,025	0,0910
Mista 70	0,8117	0,0844	1,11	3,604	0,948	0,050	0,026	0,0931
Mista 80	0,8367	0,0870	1,14	3,509	0,952	0,051	0,025	0,0953
Mista 90	0,8564	0,0898	1,17	3,419	0,955	0,052	0,025	0,0975

Após obter esses dados, foi realizada uma simulação de corrida e decolagem, no qual foi possível estimar qual o peso vazio de cada aeronave com cada asa estipulada, qual a carga paga e qual o MTOW de cada aeronave. Os dados estão mostrados na Tabela 3.

TABELA 3. Resultados de MTOW de cada aeronave estudada. (Autoria própria)

<b>Tipo de asa</b>	<b>Peso Vazio (kg)</b>	<b>Carga Paga (kg)</b>	<b>MTOW (kg)</b>
Retangular	3,45	7,67	11,12
Trapezoidal	2,7	7,47	10,17
Mista 10	2,77	7,37	10,14
Mista 20	2,85	7,45	10,3
Mista 30	2,92	7,46	10,38
Mista 40	3,0	7,4	10,4
Mista 50	3,07	7,44	10,51
Mista 60	3,15	7,42	10,57
Mista 70	3,22	7,38	10,6
Mista 80	3,3	7,45	10,75
Mista 90	3,37	7,49	10,86

Através das simulações, foi possível analisar o escoamento do fluido e a formação de vórtices de ponta de asa, como mostra a Figura 5.

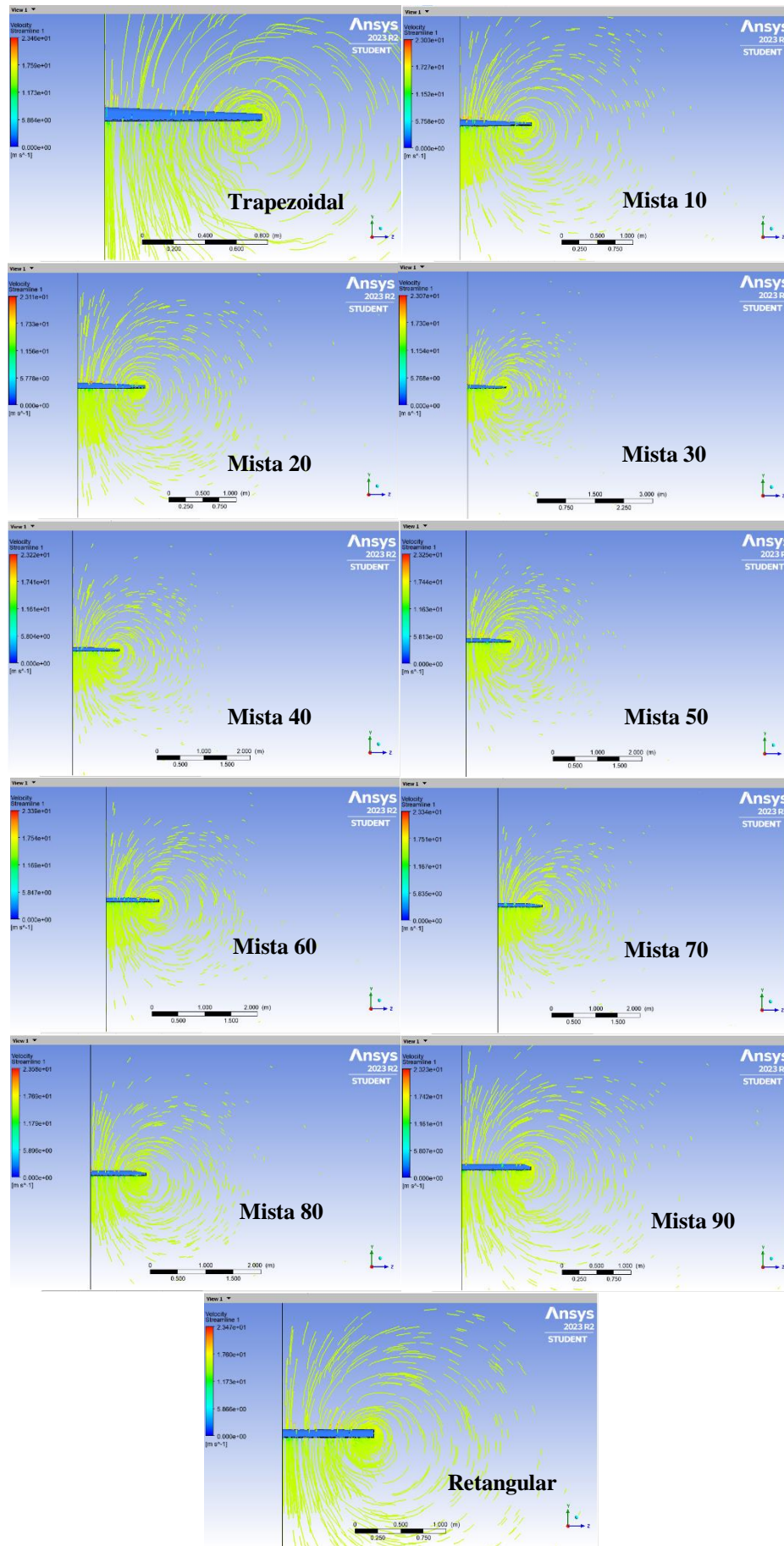


FIGURA 5. Formação dos vórtices nas pontas das asas. (Autoria própria)

Através da análise dos resultados, percebe-se que a aeronave com asa 100% retangular apresenta o maior MTOW, devido a sua maior sustentação e maior eficiência ( $\epsilon$ ). Devido a geometria, percebe-se que a asa trapezoidal apresenta o menor arrasto entre elas e que o arrasto vai aumentando à medida que a seção retangular vai aumentando. Devido a apresentar uma área maior, a asa com seção 100% retangular, é a que apresenta a maior sustentação e, por isso, apresenta o maior MTOW.

Além disso, foi analisada a formação dos vórtices na ponta de asa, que, na trapezoidal, é bem menor do que na asa retangular, retratando um menor arrasto na asa trapezoidal e maior na asa retangular, devido, especificamente, ao arrasto induzido, que é proporcional a sustentação.

#### 4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados e com sua verificação, percebe-se que a aeronave com asa 100% retangular que consegue levar a maior quantidade de carga. Porém, não significa que ela é a melhor para o projeto da aeronave como um todo, pois existe outras análises que devem ser levadas em consideração, por exemplo, a asa 100% retangular consegue levar a maior quantidade de carga, mas é a que tem o maior arrasto, dificultando a manobrabilidade e estabilidade da aeronave.

Outras conclusões:

- A asa 100% retangular suporta a maior quantidade de peso;
- A asa 100% trapezoidal apresenta o menor arrasto;
- Nas asas mistas, à medida que a seção retangular aumenta, o coeficiente de sustentação e o de arrasto aumentam;
- As simulações se mostraram eficientes e coerentes com o previsto na literatura.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PET Mecânica & Energia e a equipe PegAzuls Aerodesign pelo suporte para a realização deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] BARROS, C. P. **Introdução do Projeto de Aeronaves Leves**. Belo Horizonte: CEA. 2001.
- [2] ANDERSON, John D. **Aircraft performance and design**. McGraw-hill Companies, 1999
- [3] MIRANDA, Luiz E. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica –Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign**. 2011
- [4] KLEIN, Tânia Suaiden. **Estudo de um Novo Modelo de Turbulência**. 2007. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.



Artigo

# Manutenção avançada em forno rotativo w-01: Um olhar aplicado.

Francisco de Assis Monteiro de Souza <sup>[1]</sup> Jackson de Brito Simões [2]

<sup>[1]</sup> Universidade Federal Rural do Semiárido-UFERSA; discente; eng.mecanico.assis@hotmail.com

<sup>[2]</sup> Universidade Federal Rural do Semiárido-UFERSA; docente; jackson.simoes@ufersa.edu.br

*Recebido:* 25/04/2024;

*Aceito:* 13/06/2024;

*Publicado:* 30/06/2024;

**Resumo:** A indústria cimenteira no Brasil teve um grande crescimento, diante da implantação das políticas públicas nos últimos anos. Neste sentido, é necessário investir em otimizar seus processos produtivos, buscando novas tecnologias e priorizar as práticas de manutenção em seus equipamentos e principalmente em seus fornos, que corresponde a um dos principais equipamentos para a indústria do cimento. A presente pesquisa visou apresentar os processos de manutenção aplicados ao Forno da fábrica em uma empresa de cimento do município de Mossoró-RN. Tendo como objetivo principal, descrever os procedimentos de manutenção que são realizados no equipamento da empresa. Trata-se de um estudo de caso que tem como intenção proporcionar respostas aos problemas que são propostos. Optou-se por utilizar a abordagem qualitativa como procedimento metodológico. Os dados foram coletados por meio de pesquisa bibliográfica e documental disponibilizados pela equipe técnica da empresa, desde que não a identificasse. O Forno utilizado é um Forno Rotativo W-01, com capacidade de produzir 1200 t/dia de clínquer, que funciona 24h. O fato da empresa em questão, adotar pilares baseados na manutenção em seu planejamento estratégico operacional, oportuniza a identificação de possíveis problemas e falhas, que podem ser previamente detectadas por protocolos baseados na manutenção preditiva. Evidenciou-se, que os princípios das manutenções: preditiva, proativa, preventiva, planejada e a autônoma são realizados a fim de manter os níveis adequados e consequentemente competitivos o equipamento em questão.

**Palavras-chave:** Manutenção; preditiva; protocolos.

**Abstract:** The cement industry in Brazil has experienced great growth, due to the implementation of public policies in recent years. In this sense, it is necessary to invest in optimizing your production processes, seeking new technologies and prioritizing maintenance practices in your equipment and especially in your furnaces, which correspond to one of the main equipment for the cement industry. This research aims to present the maintenance processes applied to the factory's furnace in a cement company in the city of Mossoró-RN. The main objective is to describe the maintenance procedures that are carried out on the company's equipment. This is a case study that aims to provide answers to the problems that are proposed. It was decided to use a qualitative approach as a methodological procedure. The data was found through bibliographic and documentary research made available by the company's technical team, as long as they are not identified. The Kiln used is a W-01 Rotary Kiln, with a production capacity of 1200 t/day of clinker, which operates 24 hours a day. The fact that the company in question adopts pillars based on maintenance in its strategic operational planning provides the opportunity to identify possible problems and failures, which can be previously blocked by protocols based on predictive maintenance. It was evident that the principles of maintenance: predictive, proactive, preventive, planned and audit are carried out in order to maintain adequate levels and consequently competitiveness of the equipment in question.

**Key-words:** Maintenance; predictive; protocols.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria cimenteira no Brasil teve um grande crescimento, diante da implantação das políticas públicas nos últimos anos, tais como os Programas Minha Casa, Minha Vida, construção de barragens e rodovias, o que demandou uma maior procura por concreto e consequentemente por cimento. Diante deste cenário as



indústrias estão sempre buscando melhorias em seus processos produtivos, a fim de reduzir custos, bem como aumentar a sua margem de eficiência e lucratividade, visando se manter competitivos no mercado, apresentando um produto com qualidade e em um menor custo. Neste sentido, é necessário investir em otimizar seus processos produtivos, buscando novas tecnologias e priorizar as práticas de manutenção em seus equipamentos e principalmente em seus fornos, que corresponde a um dos principais equipamentos para a indústria do cimento. Para Pereira (2017), as organizações precisam ser competitivas para superarem as variações do mercado e o comportamento mais adequado à atividade de manutenção é o máximo comprometimento em obter resultados melhores por meio de um planejamento da atividade.

Segundo Oliveira (2022), por muito tempo, manutenção foi considerado um “mal necessário”, pois considerava-se que manter era desembolsar montantes de dinheiro para corrigir falhas o que acarretava paradas nos processos produtivos. Atualmente, esta visão limitada quanto a manutenção já é vista como sendo um processo necessário e estratégico e que deve ser pautado pela alta direção, principalmente no sentido de não correr o risco de falhas e acidentes que podem comprometer a imagem da empresa e seus investidores.

Neste sentido, a pesquisa visa apresentar o estudo de caso referente aos processos de manutenção aplicados ao Forno da fábrica em uma empresa de cimento localizada no município de Mossoró-RN. Como objetivos específicos, a presente pesquisa visa descrever os procedimentos de manutenção que são realizados no equipamento da empresa. Além de avaliar os procedimentos preventivos realizados no Forno. E por fim, levantar os principais problemas apresentados no equipamento da fábrica indicando as possíveis soluções ou encaminhamentos com base nas manutenções preventivas e corretivas do equipamento objeto de estudo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi baseada em Gil (2002) quando define pesquisa como um procedimento racional e sistemático que tem como intenção proporcionar respostas aos problemas que são propostos, sendo desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis, somado à utilização cuidadosa dos métodos, técnicas, assim como demais procedimentos científicos, se envolvendo por várias etapas, desde a formulação do problema até a apresentação dos resultados encontrados.

Optou-se por utilizar a abordagem qualitativa através do procedimento metodológico do estudo de caso. Tendo em vista que os assuntos, motivos e valores explorados durante a pesquisa, visa buscar investigar as atitudes e práticas de manutenção em um forno rotativo utilizadas em uma empresa de cimento na cidade de Mossoró-RN. Os dados foram coletados por meio de pesquisa bibliográfica e documental disponibilizados pela equipe técnica da empresa, desde que não a identificasse. Neste sentido, o estudo se desenvolveu por meio de estudo de caso, para a identificação e levantamento das práticas de manutenção realizadas no equipamento da empresa objeto de estudo, a fim de se levantar os objetivos propostos na pesquisa.

## 3. RESULTADOS

Diante das pesquisas bibliográficas e documental disponibilizados pela empresa de cimento, foi possível realizar um levantamento geral a respeito dos tipos de manutenções que são realizadas na empresa. Zaniboni (2023), em seus estudos apontou que a produção de cimento envolve a extração e o esgotamento de matérias-primas, principalmente calcário e argila. Esse material é misturado com outros materiais, tais como minério de ferro e em seguida essa farinha é introduzida em grandes fornos cilíndricos e aquecida a cerca de 1450°C. Produzindo o que se conhece por Clínquer. Para cada tipo de cimento um forno pode ser pré-estabelecido. No caso da empresa objeto de estudo o forno utilizado é um Forno Rotativo W-01, com capacidade de produzir 1200 t/dia de clínquer, que funciona 24h por dia, todos os dias da semana (Figura 1).



FIGURA 1. Forno Rotativo 2023 (autoria própria).

O forno é considerado o equipamento mais importante no processo de fabricação do cimento, nele acontece as reações termoquímicas necessárias para a formação do Clínquer.

A Figura 2, está apresentada em um dos manuais da fábrica, e ilustra os componentes do equipamento da empresa.

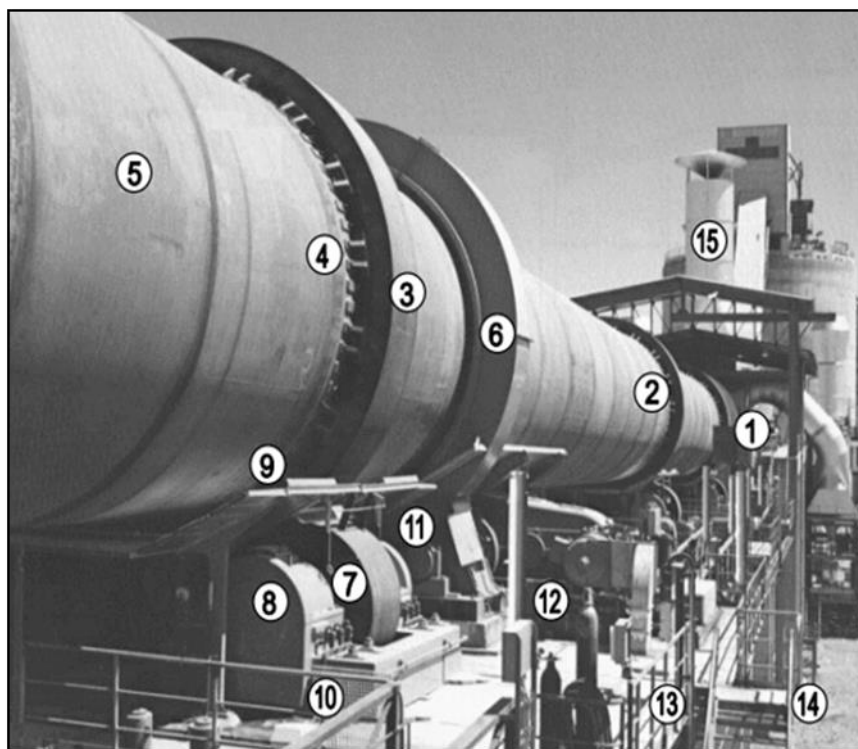


FIGURA 2. Componentes do Forno Rotativo W-01 (Manual de Operação Fábrica)

A Figura 2, aponta os principais elementos do forno rotativo, sendo eles: 1ª Base de Apoio, Anel Giratório 1 da 1ª Base de Apoio; o Anel Giratório 2 da 2ª Base de Apoio; o Anel Giratório 3 da 3ª Base de Apoio; as Sapatas de Apoio 4 do Anel Giratório 3; o Corpo do Forno 5; o Envelope de Proteção 6 da Coroa do Forno; o Rolo de Apoio 7 do Anel Giratório 3; o Mancal 8 do Rolo de Apoio 7; a Cobertura 9 de proteção dos Mancais dos Rolos de Apoio; a Base 10 de fixação dos Mancais dos Rolos de Apoio, o Mancal Superior 11 do Pinhão do Forno; o Acionamento 12 do Forno; a Passarela para Manutenção 13; a Escada 14 de acesso à Passarela 13, e Finalmente o Chaminé 15 do Resfriador de Clínquer.

De maneira geral, o processo para o funcionamento do Forno Rotativo, segundo os manuais da fábrica de cimento, começa pela entrada da Farinha na sua Ponta Alta, com temperatura em torno de 850° C à 900 °C, a qual, a partir deste momento, fica submetida a ação simultânea de três fatores: a gravidade, a rotação e a inclinação do Forno, os quais provocam sua lenta progressão na direção da Ponta Baixa, em sentido contrário ao deslocamento dos gases da combustão; de modo que, sua temperatura vai aumentando continuamente até atingir os 1400 °C, já na zona de Cliquerização, onde transforma-se em Clínquer e sai para o resfriamento posterior.

Por se tratar do principal equipamento desse tipo de indústria, o forno detém uma grande atenção no que se refere aos cuidados de manutenção. Considerando que as práticas de manutenção existem há bastante tempo, conforme Bastos (2023) apud Wyrebski (1997) aponta em seus estudos, quando dizem que teve origem no meio militar e significa “manter”, referindo-se à manutenção de mão de obra e provisões nas unidades de combate. E que por conta da mecanização de muitos processos no pós-guerra a manutenção tornou-se uma função essencial e uma forma de vantagem competitiva frente as indústrias.

O ato de realizar manutenção, tornou-se estratégico e fundamental. A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 5462 (1994), define manutenção como as ações que envolve todas as medidas técnicas e administrativas destinadas a manter ou substituir um objeto, garantindo seu desempenho adequado. A manutenção abrange os conceitos de prevenção e correção. Para um melhor entendimento, trazemos algumas definições a respeito.

Para Lott (2022) apud Nunes (2019) a manutenção corretiva é todo o trabalho de manutenção feito em seguida de uma falha de um equipamento, tendo em vista restabelecê-lo à sua função requerida, eliminando a falha. Para a NBR 5462 a manutenção corretiva é definida como “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”. Não é a mais indicada para ser adotada, uma vez que preconiza o conserto após a pane no equipamento, podendo acarretar paradas e conseqüentemente em prejuízos a empresa.

Slack et al. (2002, p. 625) “significa deixar as instalações seguirem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é feito só após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”. É considerada um dos tipos de manutenção mais caros, por conta, que o equipamento teve que sofrer uma pane para que a manutenção tivesse ocorrido, e conseqüentemente o processo produtivo é paralisado até que a manutenção seja realizada.

A manutenção preventiva é realizada em intervalos predeterminados e tem como objetivo reduzir a probabilidade de falhas ou degradação do funcionamento de um item (ABNT NBR5462, 1994).

No estabelecimento dos intervalos de tempo para a manutenção preventiva, é comum adotar uma abordagem conservadora, resultando em intervalos mais curtos do que o necessário, o que pode levar a interrupções e substituições de peças desnecessárias (Xavier, 2010).

É considerada uma manutenção cara, mas não tão cara quanto a corretiva. É aquela manutenção, realizada periodicamente, devendo ser uma das principais atividades de manutenção em qualquer empresa. Segundo Lott (2022) a manutenção preventiva deve abranger algumas tarefas sistemáticas, entre elas estão as inspeções, reformas, trocas de peças, principalmente.

A manutenção preditiva, também conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento, busca prever o estado futuro de um equipamento ou sistema por meio da análise de dados coletados ao longo do tempo (Teles, 2019).

Para Oliveira (2023) apud Kardec e Nascif (2002), é a manutenção realizada com base na modificação de parâmetro de condição ou desempenho do equipamento, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Para Pereira (2017), tão importante quanto a substituição de peças em situações de falha e a identificação da causa da pane. Caso isso não ocorra, é fadada a sempre estar substituindo equipamentos ou peças até se descobrir a falha.

Para o autor as inspeções frequentes dos equipamentos, realizadas por um funcionário com o objetivo de estipular a ocorrência de possíveis falhas nos equipamentos ou sistemas, por meio de acompanhamento dos diversos parâmetros, permite, que os equipamentos operem até o limite de tempo que precede a falha e, deste modo, acarrete a uma garantia de maior disponibilidade de operação.

Durante a pesquisa documental, identificou-se que a fábrica de cimento, realiza uma parada programada de manutenção por ano. Neste momento é programado realizar todos os testes, verificações, bem como manutenções programados durante o ano. O planejamento para a realização desse tipo de parada é programado devido ao alto custo em parar o processo produtivo e do custo hora/homem que não estão produzindo/trabalhando durante esse período que está acontecendo a parada.



Neste sentido, é muito importante que uma equipe de engenharia de manutenção e controle estejam monitorando os principais pontos do forno. O modelo de gestão de monitoramento realizado na fábrica de cimento objeto de estudo, classifica as atividades de manutenção por pilares. O primeiro pilar de manutenção avançada, é a manutenção preditiva, que toma como base dados e análises para prever falhas e programar manutenção:

- Scanner: utilizado para monitoramento das temperaturas no casco do forno. Este monitoramento é feito em tempo real. É mostrado para o operador do forno 24 horas por dia o gradiente de temperatura de cada parte do forno. Caso haja temperatura elevada, indicará queda de refratário no local. A equipe de operação poderá realizar algumas medidas de urgência, como direcionar ventiladores externos localizados nos pontos quentes, e outras medidas para criação de colagem. Caso não consiga reverter o ponto quente, será necessária uma parada para evitar ovalização e outros danos ao casco do forno.
- Medidores de pressão: utilizado para indicar pressão de injeção de combustível; pressão de exaustão dos gases, pressão do passeio hidráulico do forno, diferencial de pressão em filtro de mangas que indica mangas colmatadas, entre outros;
- Analisador de Gás: para monitoramento de Nox, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> entre outros. Para evitar picos de gases na linha, e possíveis riscos de explosões no eletrofiltro ou filtro híbrido.
- Sensores de temperatura: utilizado para monitoramento de temperatura nos mancais do forno, caso a temperatura se eleve, poderá indicar possível atrito entre os componentes, falta de lubrificante, necessidade de alinhamento do forno entre outros. Necessário a utilização destes sensores para monitoramento da temperatura de pré-aquecimento da farinha pela torre intercambiadora. Geralmente a farinha (calcário após processo de britagem e moagem), entra no forno entre 850°C e 900°C e no final do processo chegando a 1400°C.
- Balanças de precisão: para monitoramento constante de alimentação do forno;
- Monitoramento de rotação: para verificação de rotação do forno. Os fornos trabalham em baixa rotação, geralmente entre 1,5 e 2,5 rpm.
- Sensores de vibração: para monitoramento de vibração (em mm/s), em rotor de exaustão do forno, nos mancais e outros.
- Medição de corrente e velocidades: necessário para monitoramento de velocidades de correias.

O segundo pilar de classificação de monitoramento para manutenção, é o que conhecemos como a Manutenção Proativa, que são ações realizadas para evitar falhas e otimizar o desempenho antes que surjam problemas. Segundo Pereira (2017), esse tipo de manutenção permite um maior controle sobre o equipamento, comparado com os sistemas preventivos ou preditivos, uma vez que é possível conhecer com precisão a causa raiz. Neste caso, é realizado constantemente rotas de inspeções visuais e em alguns casos utilizados equipamentos como pirômetros e câmera termográfica, para análise de alguns pontos importante para o forno.

Além da temperatura, nas rotas de inspeção, são analisados níveis de óleos, pressões e toda estrutura do equipamento. Da manutenção proativa, também conhecida como manutenção de diagnóstico resulta da combinação da manutenção preventiva com a preditiva. O que possibilita levantar potenciais problemas antes de acontecerem e conseqüentemente evitando desgastes ou perdas na produção, por conta de paradas não programadas.

O terceiro pilar, é o que conhecemos como Manutenção Preventiva. Acontece durante a parada de forno programada, que está programada a acontecer uma vez ao ano. É confeccionado um cronograma com um checklist e uma ordem dos serviços das atividades a serem desenvolvidos durante a parada, são levantados os problemas e realizadas as correções necessárias, neste intervalo de interrupção das atividades do forno. Geralmente o tempo de parada de manutenção é alinhado ao tempo de troca de refratário. O tempo médio de parada é de aproximadamente 20 dias, para execução de todas as medidas preventivas na linha do forno.

O quarto pilar aplicado e desenvolvidos pela fábrica, é a manutenção planejada. Aqui é realizado o planejamento eficiente de recursos, tais como: peças e mão de obra. Este pilar é trabalhado paralelamente com a manutenção preventiva. Nas paradas programadas de manutenção, o planejamento já está pronto. Ou seja, todas os materiais e sobressalentes de troca, já estão disponíveis e dentro da unidade fabril para otimização do tempo. A equipe está dividida e com suas atribuições definidas para cada serviço que será executado. O cronograma é projetado no software MS Project. Assim como define Pereira (2017), quando aponta nas formas de gestão, que implantar uma sistemática de trabalho a partir de um software, possibilita a aplicação de técnicas de manutenção de acordo com a necessidades básicas do equipamento.

O quinto pilar, e o último, é o que conhecemos como manutenção autônoma, que associa o envolvimento dos operadores na manutenção básica e monitoramento dos principais pontos. Na fábrica de cimento, tem-se um controle de operadores 24 horas por dia. Uma de suas atividades é o monitoramento constante dos painéis e o aviso instantâneo para a equipe de manutenção caso encontre alguma anormalidade.

Dentre os principais problemas apresentados no equipamento da fábrica em questão, estão: queda de refratário, em casos como esse, por ser uma situação crítica que pode gerar a ovalização do casco do forno, é necessário paralisar o forno imediatamente para a correção, caso o forno não consiga criar colagem neste ponto de queda de refratário. Então, a equipe monitora a temperatura do forno em tempo real com o scanner.

Outro problema recorrente são os desgastes na ponta baixa do forno. Estes são provenientes das altas temperaturas apresentadas no local devido ser o ponto de fonte de calor, onde se localiza maçarico. Portanto, cabe a realização dos protocolos de monitoramento para acompanhar qualquer sinal de aumento de temperatura.

Quando existe algum atrito em algum dos componentes do forno, isso ocasiona um aumento nas temperaturas de mancais, outra causa pode ser o desalinhamento do forno, o que deve ser prontamente investigado e consequentemente mitigado.

Um outro problema que pode ser apresentado é a alta vibração do exaustor, este problema geralmente é ocasionado por conta de alguma colagem no rotor, o que pode desbalancear o equipamento, e neste caso, é necessário que durante a parada programada, seja aberto o envelope para que seja realizado a limpeza e balanceamento do rotor.

#### 4. CONCLUSÃO

Diante dos materiais coletados durante a pesquisa, identificou-se que para evitar a pane e/ou paralisação no funcionamento do forno rotativo da empresa objeto de estudo, são adotadas uma série de ações e princípios adotados pela manutenção avançada que corroboram com o que está previsto nas normas técnicas bem como na literatura especializada.

O fato da empresa em questão, adotar pilares em seu planejamento estratégico operacional, oportuniza a identificação de possíveis problemas e falhas, que podem ser previamente detectadas através dos protocolos baseados na manutenção preditiva.

Evidenciou-se, portanto, que os princípios das manutenções: preditiva, proativa, preventiva, planejada e a autônoma são realizados a fim de manter os níveis adequados e consequentemente competitivos o equipamento em questão. A aplicação das melhores estratégias de manutenção, traz melhorias na previsibilidade e para o planejamento das paradas de manutenção do equipamento, bem como atua como um meio de mitigar/diminuir problemas futuros no equipamento, viabilizando a escolha do melhor período para a realização das paradas programadas, trocas de peças ou itens, entre outros, o que poderia ocasionar em grandes prejuízos financeiros a empresa caso não fossem previstos no planejamento.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos: Deve-se também agradecer qualquer suporte dado que não se encaixe no tipo “financiamento”, o que pode incluir suporte técnico e administrativo, doação de materiais etc.

Agradecer a empresa que disponibilizou os materiais bibliográficos, documentais e técnicos para a realização deste estudo de caso.

Agradecer a Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, mais especificamente ao corpo docente da Pós-Graduação em Engenharia de Manutenção, por contribuírem com os conhecimentos técnicos e consequentemente em minha formação.

#### REFERÊNCIAS

- [1] GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1994). *Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia*, NBR 5462. Rio de Janeiro.
- [3] Xavier, J. (2010). Indicadores de Manutenção. Disponível online: [http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/MAN/indicadores\\_manutencao.pdf](http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/MAN/indicadores_manutencao.pdf) (acesso em 15/05/2024).
- [4] Teles, J. (2019). *Bíblia do RCM – O guia completo e definitivo da Manutenção Centrada na Confiabilidade da era de indústria 4.0*. Brasília: Engeteles
- [5] SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 2002. 703 p.
- [6] LOTT, Thiago Holanda. *Propostas de contribuições da engenharia de confiabilidade para a manutenção de um forno secador de uma empresa do setor de mineração*. 2022.
- [7] PEREIRA, Mário Jorge da Silva. *Técnicas avançadas de manutenção*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2010.