



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 ^[1], Laís Aparecida Nascimento de Melo ^[2], Anderson Felipe Costa Leonês ^[3], Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella ^[4] e Diana Gonçalves Lunardi ^[5]

^[1] UFERSA; matheus.franca@alunos.ufersa.edu.br

^[2] UFERSA; lais.melo@alunos.ufersa.edu.br

^[3] UFERSA; anderson.leones@alunos.ufersa.edu.br

^[4] UFERSA; fkv@ufersa.edu.br

^[5] 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 disponibilizados¹, 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.

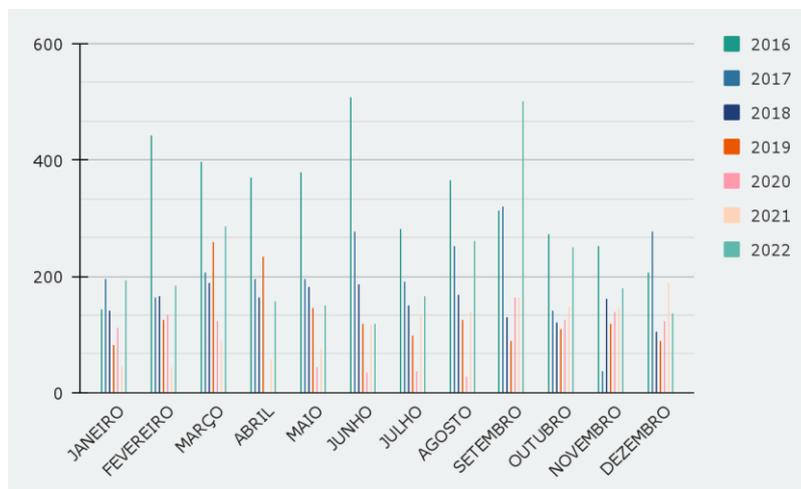


Figura 1. Quantidade de material reciclável, do tipo plástico, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

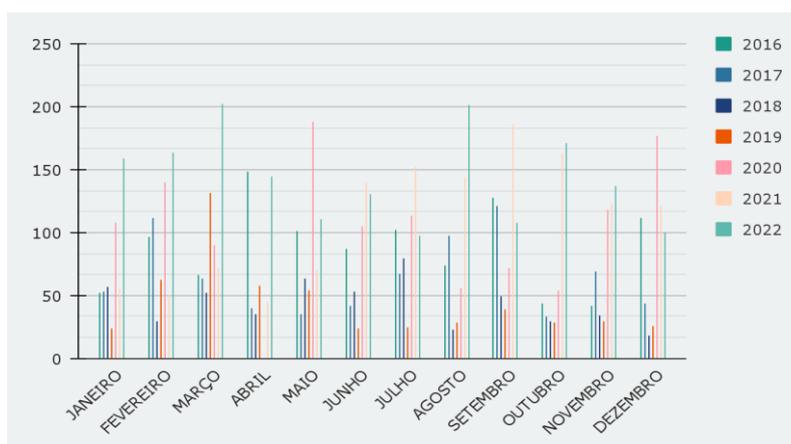


Figura 2. Quantidade de material reciclável, do tipo vidro, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

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

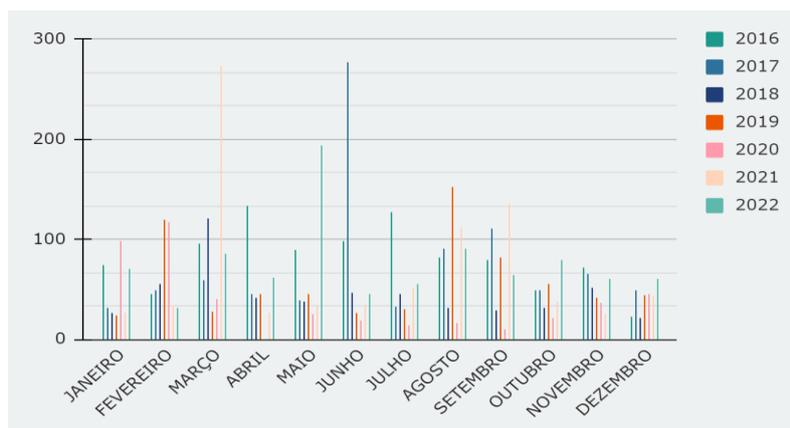


Figura 3. Quantidade de material reciclável, do tipo metais, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

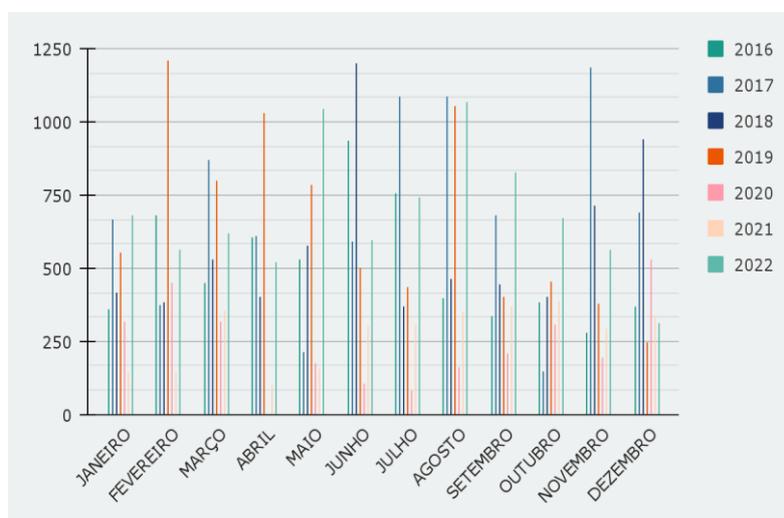


Figura 4. Quantidade de material reciclável, do tipo papel, em Kg, gerado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (Autoria Própria).

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.

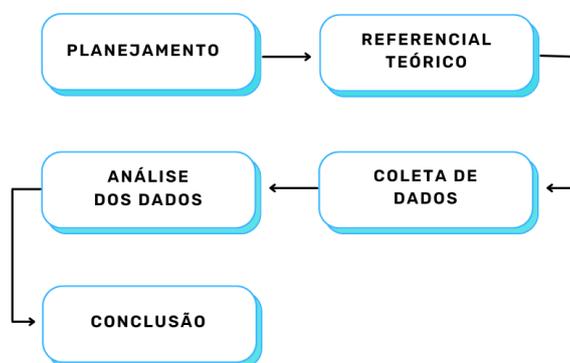


Figura 5. Etapas da metodologia do trabalho (Autoria Própria).

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*² 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*³.

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 μ) e do desvio padrão (representado por σ) 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].

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

³ 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).

| Tipos de materiais | Potencial de conservação de energia elétrica (MWh) |
|---------------------------|---|
| Plástico | 5,0 |
| Vidro | 0,5 |
| Metal ¹ | 6,0 |
| Papelão | 3,5 |

¹ 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.

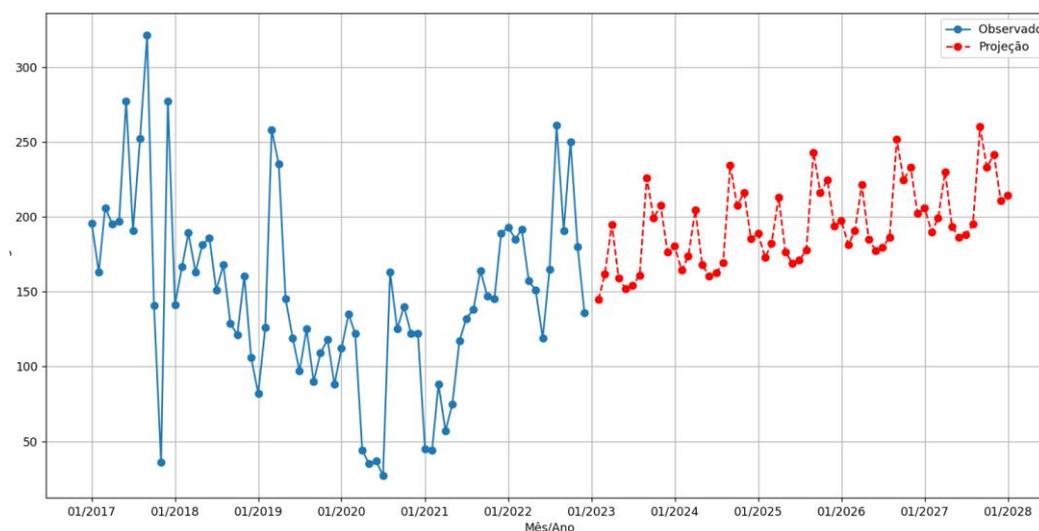


Figura 6. Projeção pelo modelo SARIMAX de plástico, em Kg (Autoria Própria).

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.

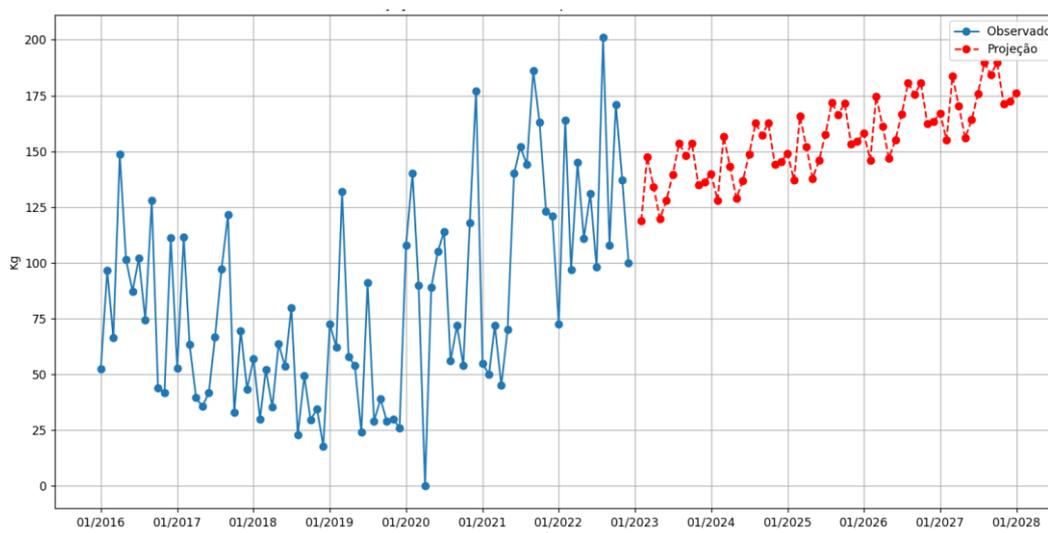


Figura 7. Projeção pelo modelo SARIMAX de vidro, em Kg (Autoria Própria).

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.

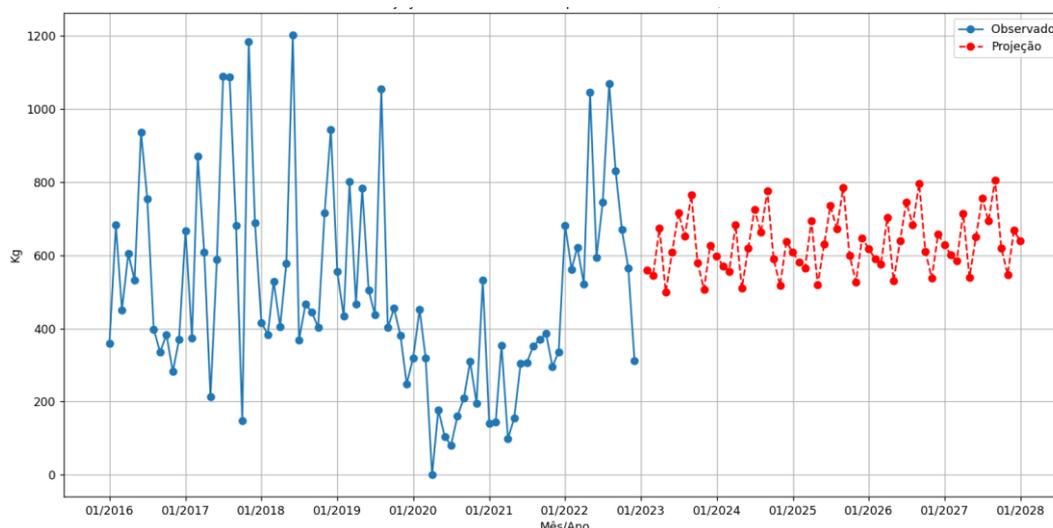


Figura 8. Projeção pelo modelo SARIMAX de papel, em Kg (Autoria Própria).

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 UFERSA, 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 UFERSA, 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 UFERSA, 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 UFERSA, 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 UFERSA, 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)