



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

ALINE MARTINS DO CARMO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES CLIMÁTICOS E TEMPORAIS
NA MASSA GERADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO,
UTILIZANDO A FERRAMENTA NIOTS (*NATURE INSPIRED OPTIMIZATION
TOOLS FOR SVM*)**

PALMAS

2022

ALINE MARTINS DO CARMO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES CLIMÁTICOS E TEMPORAIS
NA MASSA GERADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO,
UTILIZANDO A FERRAMENTA NIOTS (*NATURE INSPIRED OPTIMIZATION
TOOLS FOR SVM*)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil
do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientadora: Dra. Cláudia da Silva Aguiar
Rezende.

**PALMAS
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- C287a Carmo, Aline Martins do
Análise da influência dos fatores climáticos e temporais na massa gerada de resíduos sólidos no município de Palmas - TO, utilizando a ferramenta NIOTS (Nature Inspired Optimization Tools for Svm) / Aline Martins do Carmo. – Palmas, TO, 2022.
52 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022.
- Orientadora: Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Massa de resíduos. 3. NIOTS. I. Rezende, Cláudia da Silva Aguiar. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

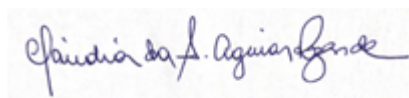
ALINE MARTINS DO CARMO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES CLIMÁTICOS E TEMPORAIS
NA MASSA GERADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO,
UTILIZANDO A FERRAMENTA NIOTS (*NATURE INSPIRED OPTIMIZATION
TOOLS FOR SVM*)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 14/12/2022

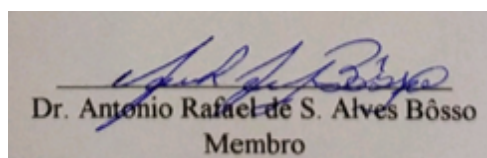
BANCA AVALIADORA



Profa. Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
Orientadora - IFTO



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Avaliador - IFTO



Dr. Antonio Rafael de S. Alves Bôso
Membro

Prof. Dr. Antônio Rafael de Souza Alves Bôso
Avaliador - IFTO

RESUMO

O crescimento populacional e o incentivo pelo consumo têm gerado uma alta taxa per capita de geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, tornando sua destinação um grande desafio para a gestão pública. A classificação dos resíduos pode variar de acordo com sua origem e periculosidade, sua caracterização pode ser física, química e biológica. Diversos fatores influenciam as características dos resíduos sólidos, como os aspectos econômicos, climáticos e demográficos. Diante dessas influências, o presente trabalho buscou analisar os fatores que influenciam nas características físicas dos resíduos, precipitação, feriados e domingos, para confirmar a hipótese de que esses interferem na massa de resíduos sólidos produzida ao longo dos meses, no município de Palmas - TO. Os dados foram obtidos pela Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas - TO, e através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para confirmar a hipótese do trabalho foi utilizado a ferramenta NIOTS (*Nature Inspired Optimization tools for Svm*) a qual encontrou um modelo matemático, baseado em dados, com coeficiente de correlação de 0,73 entre precipitação, feriados, domingos e massa produzida de resíduos sólidos urbanos por mês. Portanto confirma -se a hipótese que esses fatores influenciam na massa de resíduos sólidos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos, massa de resíduos, NIOTS, correlação, características físicas.

ABSTRACT

The population growth and the incentives for the consumption have been generating a high per capita rate of urban solid residues generation in Brazil, making their destination a major challenge for the public administration. The residues classification can vary according to their origin and dangerousness, their characterization can be physical, chemical and biological. Several factors influence the solid residues characteristics, such as the economic, climatic and demographic aspects. Given these influences, this study sought to analyze the factors that influence the physical characteristics of the residues: precipitation, holidays and Sundays, to confirm the hypothesis that they interfere in the mass of solid residues produced over the months in the municipality of Palmas - TO. The data were obtained by the Infrastructure and Public Services Secretary (*Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos*), and through the National Metrology Institute (*Instituto Nacional de Meteorologia - INMET*). To confirm the hypothesis of the study, the NIOTS tool (Nature Inspired Optimization tools for Svm) was used, which found a mathematical model, based on data, with a correlation coefficient of 0.73 between precipitation, holidays, Sundays and the produced mass of urban solid residues per month. Therefore, the hypothesis that these factors influence the mass of solid residues was confirmed.

Keywords: urban solid residues, residues mass, NIOTS, correlation, physical characteristics.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Elementos de caracterização dos RSU	22
Quadro 2 - Fatores que influenciam as características dos resíduos	22
Quadro 3 - Componentes mais comuns da composição gravimétrica.....	24
Quadro 4 - Geração per capita de resíduos sólidos urbanos.....	26
Quadro 5 - Número identificador dos meses	35
Quadro 6 - Meses dos anos de 2015 a 2021 com maior massa de RSU.....	39
Quadro 7 - Meses dos anos de 2015 a 2021 com menor massa de RSU.....	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %).	14
Figura 2 - Ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos.	19
Figura 3 - Estimativa da Composição Gravimétrica média dos RSU coletados no Brasil.....	25
Figura 4 - Etapas do procedimento adotado.	33
Figura 5 - Ambiente gráfico NIOTS	36
Figura 6 - Massa coletada de RSU e precipitação no período de 2015 a 2021.	37
Figura 7 - Massa de RSU coletadas, feriados e domingos nos meses do ano de 2021.	38
Figura 8 - Massa coletada e precipitação nos meses do ano de 2021.....	38
Figura 9 - Coeficiente de Correlação do modelo 1.....	40
Figura 10 - Gráfico de Predição	41
Figura 11 - Gráfico de predição e de resíduos do modelo 1.....	41
Figura 12 - Desvio Padrão do modelo 1.....	42
Figura 13 - Comparativo da massa real coletada de RSU com a massa prevista pelo modelo 1 no ano de 2021.....	42
Figura 14 - Coeficiente de Correlação do modelo 2.....	43
Figura 15 - Gráfico de Predição	43
Figura 16 - Gráfico dos resíduos.	44
Figura 17 - Desvio Padrão do modelo 2.....	44

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
RSU	Resíduos Sólidos urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
RDO	Resíduos Sólidos Domiciliares
RPU	Resíduos Sólidos Públicos
RS	Resíduos Sólidos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SVM	<i>Support Vectors Machine</i>
SVR	<i>Support Vectors Regressor</i>
NIOTS	<i>Nature Inspired Optimization Tool for SVMs</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

w_i	Peso da função regressora
K	Matriz ou função kernel
x_i	Vetores de suporte
b	bias

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	12
2.1.1 Definição	12
2.1.2 Manejo	13
2.1.3 Política nacional de resíduos sólidos.....	16
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	19
2.2.1. Classificação quanto à natureza ou origem.	19
2.2.2 Classificação quanto á periculosidade.....	20
2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	21
2.3.1 Características físicas dos resíduos sólidos	23
2.3.1.1 <i>Composição gravimétrica</i>	23
2.3.1.2 <i>Geração per capita</i>	25
2.3.1.3 <i>Peso específico aparente</i>	26
2.3.1.4 <i>Teor de umidade</i>	27
2.3.1.5 <i>Compressividade</i>	27
2.3.2 Características químicas dos resíduos sólidos	27
2.3.3 Características biológicas dos resíduos sólidos	29
2.4 LIMPEZA URBANA.....	29
2.5 MODELAGEM POR REGRESSÃO	31
2.5.1 Máquinas de vetores de suporte – SVM.....	31
2.5.2 Máquinas de vetores de suporte regressão – SVR.....	31
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	33
3.2 COLETA DE DADOS	34
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS.....	34
3.4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 MODELO 1	40
4.2 MODELO 2	43
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
6. REFERÊNCIAS	47
ANEXOS	50

1. INTRODUÇÃO

Todas as atividades desenvolvidas pelo ser humano ao longo da história geraram resíduos, assim a história dos resíduos se confunde com a história do próprio homem. Com a Revolução Industrial o surgimento de novas técnicas de produção em massa e crescimento populacional, que visava suprir a demanda de novos padrões de consumo, que a crise ambiental causada pela exploração acelerada dos recursos naturais se agravou, resultando num aumento significativo no volume dos resíduos gerados (DIAS; FILHO, 2008).

A geração excessiva de resíduos sólidos e sua destinação final é um dos maiores desafios com que se defronta a sociedade contemporânea. Esta preocupação se dá, principalmente, devido ao crescimento populacional aliado à intensa urbanização e ao aumento do poder de compra associado ao surgimento de novas tecnologias diante dessa situação, é possível afirmar que um dos grandes desafios da sociedade contemporânea é tratar e dispor de forma adequada essa enorme quantidade de resíduos gerados e sua vasta diversidade (JACOBI; BESEN, 2011).

O padrão mundial de consumo incentiva a sociedade a comprar cada vez mais materiais que ainda poderiam ser reutilizados ou, no mínimo, reciclados, são descartados e tratados como rejeitos, seja em razão de hábitos culturais ou por falta de conhecimento sobre os impactos ambientais decorrentes. Esse quadro de desperdício contribui com a escassez dos recursos naturais, além de determinar o acúmulo de grande quantidade de resíduos sólidos em aterros sanitários, que geram diversos tipos de impactos ambientais negativos (FILHO, 2014).

Devido a essa grande produção de resíduos foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, a qual foi um marco legal no Brasil de responsabilidade compartilhada. A partir dela, a gestão de resíduos deve ser vista de forma compartilhada entre o indivíduo, a sociedade e o Estado, em que todas as partes devem se envolver em um processo de responsabilidade conjunta, a fim de que se atinja a efetiva redução, reciclagem, tratamento e disposição ambientalmente adequados (SILVA, 2020). A Lei discorre sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

A partir do estabelecimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, compreende-se que a gestão dos resíduos gerados após o consumo se integra à busca pelo desenvolvimento

sustentável, alterando o cenário dos resíduos sólidos no Brasil. A PNRS expôs a responsabilidade compartilhada entre fabricantes, comerciantes, consumidores, prefeituras, governos, e todos que estão envolvidos na cadeia dos resíduos, sendo estes corresponsáveis pela destinação ambientalmente adequada desses materiais, desde a sua geração até o seu destino final (SILVA, 2020).

A concentração das maiores produções do lixo ocorre em países ricos, industrializados e em desenvolvimento. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos (ABRELPE, 2020) a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil foi de 82.477.300 toneladas por ano. O município de Palmas, localizado no Estado de Tocantins, possui uma população estimada de 306.296 habitantes, sendo 297.444 residentes na zona urbana e 8.852 residentes na zona rural (IBGE, 2021), e no que diz respeito aos resíduos sólidos urbanos 100% da população urbana é atendida com coleta de resíduos domiciliares, à população rural é atendida 99,86%, o município coleta, por dia, 1,62 kg de resíduos por habitante, possui uma taxa de recuperação de materiais recicláveis de 0,06% (SNIS, 2020).

A massa de resíduos sólidos pode ser influenciada por fatores climáticos, socioeconômicos e demográficos, podendo alterar as características físicas, químicas e biológicas. Um dos fatores climáticos que afeta as características dos resíduos são as chuvas, pois a precipitação altera o teor de umidade, peso aparente e a geração per capita dos resíduos. Os feriados e domingos são fatores socioeconômicos que alteram as características dos resíduos como a composição gravimétrica, a geração per capita, peso específico, isso ocorre devido a sociedade consumir mais nessas épocas.

Para explicar a relação da massa de resíduos produzida com os fatores de influência podem ser utilizados diversos modelos matemáticos com modelagem por dados, como o SVM (*Support Vectors Machine*) e o SVR (*Support Vectors Regressor*). No seguinte trabalho foi utilizado a ferramenta NIOTS, que utiliza as duas modelagens por dados, SVM e SVR, onde as variáveis independentes do modelo são a precipitação, feriados e domingos, e a variável dependente é a massa de resíduos sólidos coletada.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou analisar a geração por mês de resíduos sólidos urbanos da população do município de Palmas - TO, encontrar qual a correlação entre as variáveis independente, precipitação, feriados e domingos, com a variável dependente, massa de resíduo coletada, além de realizar uma predição utilizando a ferramenta NIOTS (*Nature Inspired Optimization Tool for SVMs*) (SANTOS, 2019).

1.1 Problema de pesquisa

A geração excessiva de resíduos sólidos e sua destinação final é um dos maiores desafios com que se defronta a sociedade contemporânea. Esta preocupação se dá, principalmente, devido ao crescimento populacional aliado à intensa urbanização e ao aumento do poder de compra associado ao surgimento de novas tecnologias (JACOBI; BESEN, 2011). O trabalho consiste em analisar como a precipitação, feriados e domingos afetam a geração excessiva de resíduos sólidos urbanos no município de Palmas -TO.

1.2 Justificativa

Atualmente, a problemática ambiental da geração de resíduos sólidos urbanos, em face de sua complexidade e diversidade, constitui um sério desafio a ser enfrentado, considerando que o crescimento populacional e o aumento do grau de urbanização não têm sido acompanhados com as medidas necessárias para dar um destino adequado ao RSU produzido (COELHO, 2000).

Numa sociedade baseada no consumo e com uma população mundial que ultrapassa os 7 bilhões de habitantes, a produção do lixo é exorbitante (BLOOM, 2011) e isto ocorre em uma correlação direta com a demografia e concentração de renda pela produção dos bens de consumo. Segundo Teobaldo Neto e Colessanti (2005), o modelo econômico desenvolvido na atualidade baseia-se no aumento da produção, consumo e consequentemente dos lucros, levando a uma drástica modificação no meio ambiente, comprometendo a qualidade de vida e harmonia dos processos ambientais, pois nem sempre a natureza consegue reincorporar os resíduos, devido a sua grande quantidade e suas características poluidoras.

Lima (1995) lista alguns fatores que influenciam a origem e formação dos resíduos, são elas: número de habitantes do local, área relativa, variações sazonais, condições climáticas, hábitos e costumes populacionais, poder aquisitivo e segregação na origem.

Na Região Norte do Brasil, a produção de lixo no ano de 2020 foi de 1,01 quilogramas por habitante dia. No Estado do Tocantins, que conta com uma população de 1.590.248, a produção em 2020 foi de 1,19 quilograma por dia e, na cidade de Palmas – TO, a coleta do lixo chega a 1,67 quilogramas por dia (SNIS, 2020). Nota – se que a produção de resíduos sólidos urbanos por habitante no município de Palmas é maior que a média Nacional, diante disso é

importante entender o porquê dessa diferença levando em consideração que Palmas é uma capital nova com uma população relativamente pequena. Determinar os fatores que influenciam a massa de resíduos sólidos é suma importância para o dimensionamento da coleta, a qual envolve desde a coleta dos resíduos até sua disposição final. Com o presente trabalho é possível compreender quais os fatores podem estar influenciando nessa massa coletada e qual a taxa de crescimento dos resíduos ao longo dos anos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a influência dos fatores climáticos e temporais na produção de resíduos sólidos urbanos no município de Palmas – TO, utilizando a ferramenta NIOTS (Nature Inspired Optimization Tool for SVMs) (SANTOS, 2019).

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a geração per capita de resíduos sólidos no município de Palmas – TO no período de 2014 a 2021.
- Aplicar a ferramenta NIOTS na predição de massa de resíduos sólidos urbanos.
- Analisar a influência das variáveis precipitação, feriados e domingos na produção de resíduos urbanos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos sólidos urbanos

2.1.1 Definição

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, define em seu artigo 3º, inciso XVI, resíduos sólidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos

d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A NBR 1004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), a qual estabelece os critérios de classificação para a identificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10.004, 2004, p. 1).

2.1.2 Manejo

No Brasil, a gestão dos resíduos sólidos urbanos têm se caracterizado por ser ineficiente e territorialmente desigual. Conforme O Panorama de Resíduos Sólidos realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2020 foram produzidas cerca de 82, 5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, em média cada habitante produziu 1,07 kg de RSU por dia, sendo a maior parte gerado pela região Sudeste. De modo que foi coletada 76,1 milhões de toneladas com uma cobertura de 92, 2% em relação ao total produzido. Na região Sudeste, Sul e Centro Oeste o índice de cobertura é superior à média nacional, no entanto nas regiões Norte e Nordeste apresentam pouco mais de 80% dos resíduos coletados, assim cerca de 20% RSU gerados não são coletados.

De acordo com o Panorama 74,4 % dos municípios do país possuem iniciativa de coleta seletiva, onde as Regiões Sul e Sudeste apresentam o maior percentual de municípios com iniciativa de coleta seletiva. A implantação da coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos é de responsabilidade dos municípios, titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (PNRS, art. 36, inciso II), que deverão estabelecer nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos as metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final.

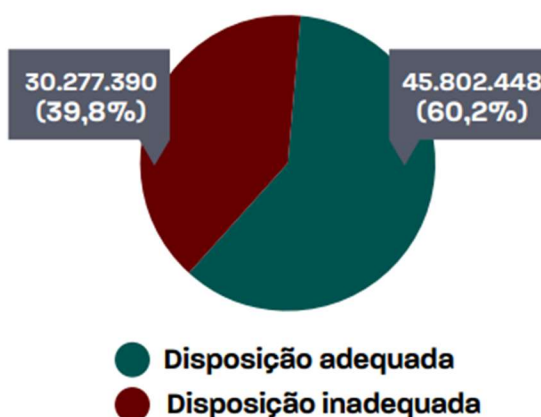
A Política Nacional de Resíduos Sólidos, define em seu artigo 3ª, inciso VII, a destinação final ambientalmente adequada sendo a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou

outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama e SNVS, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

No capítulo II a PNRS artigo 3º, inciso VIII, define disposição final ambientalmente adequada como sendo a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Conforme o Panorama de Resíduos Sólidos, a maior parte dos RSU coletados no Brasil seguem para a disposição em aterros sanitários, com 46 milhões de toneladas sendo enviadas para aterros sanitários em 2020, assim 40 % são dispostas em lixões e aterros controlados conforme Figura 1. As Regiões Norte, Nordeste e Centro – Oeste possuem a maior parte dos seus resíduos urbanos dispostos de maneira inadequada.

Figura 1 - Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %).



Fonte: ABRELPE (2020).

Nota – se que diariamente milhares de toneladas de resíduos sólidos urbanos são geradas, onde grande parte pode ser tratada e recuperada se houver uma coleta seletiva e um manejo adequado. No artigo 7ª, inciso II da Política Nacional de Resíduos Sólidos diz respeito ao objetivo da política sendo a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. De forma que a reciclagem representa a etapa inicial da destinação do resíduo sólido, pois através dela os materiais que ainda podem ser reaproveitados serão separados, diminuindo, desta forma, o volume de resíduo que será destinado aos aterros sanitários. As formas de tratamentos dos

resíduos consistem em tratamento mecânico, bioquímico e térmico. Dentre eles a triagem, reciclagem, compostagem e incineração.

A triagem consiste na separação manual, semi-mecanizada ou mecanizada dos resíduos recicláveis (LOBATO; LIMA, 2010). A triagem manual consiste em uma tarefa similar à catação, na qual não há auxílio de equipamentos para separação dos resíduos, apresentando elevado risco à saúde para os catadores, além de reduzida capacidade de processamento. A triagem semi-mecanizada é caracterizada por possuir equipamentos que auxiliam a realização das atividades como silos, esteira e prensas, mas a triagem é realizada manualmente. Já a triagem mecanizada, mais comum em países desenvolvidos como Alemanha, Japão e Suíça, é realizada em centrais que possuem maior capacidade de processamento e equipamentos como peneiras rotativas, separador eletromagnético, separador balístico, separador ótico de vidro e laser (SANTOS, 2014).

Depois da separação é realizada a reciclagem, que de acordo com a PNRS, capítulo II, artigo 3º, inciso XIV, consiste em um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas. Um dos caminhos para a segregação dos materiais recicláveis é a coleta seletiva, que consiste na separação de papéis, plásticos, metais e vidros na fonte geradora, sendo esses materiais posteriormente classificados por categoria e encaminhados às indústrias recicladoras (AMAZONAS, 1992). Também definida pela PNRS, artigo 3º, inciso V, como a coleta dos resíduos sólidos previamente separados, de acordo com a sua constituição ou composição. A implantação da coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos é de responsabilidade dos municípios, titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (PNRS, art. 36, inciso II), que deverão estabelecer nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos as metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final. Em consonância com o Decreto nº 10.936/2022, o sistema de coleta seletiva deve estabelecer, no mínimo, a separação de resíduos secos e orgânicos, de forma segregada dos rejeitos

Para os resíduos orgânicos é utilizada a compostagem, Valente et al (2009) define a compostagem como um tratamento dos resíduos orgânicos através da decomposição controlada. Trata-se de um processo biológico de decomposição aeróbia e anaeróbia, sendo realizada em sua quase totalidade por processos aeróbios. KIEHL (1979), define compostagem como sendo um processo de transformação de resíduos orgânicos em adubo humificado. Para diminuir o

volume e peso dos resíduos é usado a incineração, de acordo com Schalch (2002) o processo consiste na combustão dos resíduos a alta temperatura em que os materiais a base de carbono são decompostos, gerando calor. O autor enfatiza ainda que o calor gerado é passível de reaproveitamento, em forma de energia elétrica e vapor, mas, ainda que aparentemente vantajosa, unidades de incineração devem ser definidas à luz de um plano de gestão integrada de resíduos sólidos, em que se priorizam ações de redução de resíduos, reciclagem e inclusão social.

A disposição final é feita nos aterros sanitários, Segundo a Norma Técnica 8.419 (ABNT, 1992), aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário. De acordo com a Norma Técnica 8.419 (ABNT, 1992), nos aterros devem ser depositados somente os rejeitos dos resíduos sólidos, sendo respeitada a ordem prioritária de gestão: não geração, redução, reutilização, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) resume a gestão dos resíduos sólidos urbanos, sendo inicialmente feito com um recolhimento diferenciado de resíduos sólidos secos (papel, plástico, metal, vidro e orgânicos). O material reciclável, separado na fonte geradora, é recolhido por meio de uma coleta diferenciada (seletiva). De modo que a coleta pode ser feita porta a porta, em pontos de entrega, e quem coleta são empresas contratadas pela prefeitura, a própria prefeitura, associações/ cooperativas de catadores com parceria com a prefeitura. Depois de coletada os resíduos vão para tratamento e disposição, triagem, compostagem e aterros sanitários.

2.1.3 Política nacional de resíduos sólidos

A dificuldade de integração entre entes federativos na formulação e na implementação de políticas se faz presente nas diferentes esferas política e administrativa no Brasil, sobretudo no que diz respeito às relações entre instâncias de governo formuladoras de diretrizes no nível nacional e as executoras no nível local (MAIELLO, BRITTO, VALLE, 2018).

Então, em 2010, foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010) com o objetivo de estabelecer metas para o gerenciamento dos resíduos sólidos

no Brasil, assim combater os problemas ambientais, sociais e econômicos causados por resíduos sólidos quando recebem manejo inapropriado. A gestão dos resíduos obedece a dinâmicas conforme os produtos, as localidades, as possibilidades de sua disposição, de seu reuso ou de sua reciclagem. Além disso, é o poder local que responde por essa gestão, com base em dinâmicas e compromissos específicos. O que era considerado “lixo” de forma generalizada em 2010, no Brasil obteve uma nova conotação com a edição da Lei nº 12.305, de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, sendo seus norteadores a não geração de resíduos, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (ROCHA, ROCHA, LUSTOSA, 2017).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) estabeleceu como exigência a elaboração dos planos estaduais de gestão, contendo medidas para incentivar e viabilizar a gestão associada entre os municípios. Cabe aos estados desenvolverem as propostas de regionalização, incentivando os municípios a aderirem a consórcios públicos intermunicipais para gerenciamento dos resíduos sólidos. Estes consórcios devem abranger não só o compartilhamento da destinação final, como planejar e executar ações de coleta seletiva, recuperação, reciclagem e tratamento (BRASIL, 2010). Assim a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, conforme artigo 1, PNRS, lei nº 12.305.

Em seu art. 6º são apresentados os Princípios que orientam a PNRS distribuídos em onze incisos, onde se faz necessário, no exercício da interpretação, uma permanente integração com todo o corpo da Lei (MACHADO, BRASIL, 2012, p. 39).

- I – a prevenção e a precaução;
- II – o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- III – a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- IV – o desenvolvimento sustentável;
- V – a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;
- VI – a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;
- VII – a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- VIII – o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor

de cidadania;
 IX – o respeito às diversidades locais e regionais;
 X – o direito da sociedade à informação e ao controle social;
 XI – a razoabilidade e a proporcionalidade (BRASIL, 2010, p. online).

Um dos princípios importantes para essa discussão é o Princípio da Prevenção. Machado (2012, p. 40) aponta que “o fim primacial da prevenção é evitar o dano, na forma mais ampla. Somente quando não for possível a evitação total do prejuízo ambiental, é que será aceito um comportamento redutor ou mitigador do dano”.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece, em seu artigo 7º, os seguintes objetivos:

I – proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
 II – não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
 III – estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
 IV – adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
 V – Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
 VI – incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
 VII – gestão integrada de resíduos sólidos;
 VIII – articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
 IX – capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
 X – regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;
 XI – prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
 a) produtos reciclados e recicláveis;
 b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
 XII – integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
 XIII – estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
 XIV – incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
 XV – estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável (BRASIL, 2010, p. online).

Ao analisar a ordem de prioridade na gestão e manejo dos resíduos sólidos mostrada na Figura 2, observar-se que a não geração, a redução e a reutilização devem ser priorizadas antes de se pensar em reciclagem.

Figura 2 - Ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos.



Fonte: MMA (BRASIL, 2010a) apud PMGIRS/JF (2020).

Esta Política deixa claro quais são as responsabilidades dos geradores de resíduos sólidos: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluindo o consumo (BRASIL. Lei 12.305/2010, art. 3º, IX). Assim, os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, Decreto 7.404/2010, art. 5º).

A PNRS muda a lógica de que a coleta seletiva e o aterro sanitário resolverão todos os desafios que envolvem a gestão de resíduos, ela vai além, exige uma profunda mudança cultural, das empresas, dos governos e cidadãos. As empresas terão que além de desenvolverem programas de coleta seletiva e disposição final adequada de resíduos ou organização de sistemas de logística reversa, desenvolver formas de produção mais eficiente que reduzam a quantidade de resíduos sólidos gerados (PHILIPPI, et al., 2012, p. 239).

2.2. Classificação dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos podem ser classificados principalmente de acordo com a origem (BRASIL, 2010) e com os riscos potenciais de contaminação do meio ambiente (ABNT, 2004).

2.2.1. Classificação quanto à natureza ou origem.

De acordo com PNRS (BRASIL, 2010) artigo 13, inciso I, os resíduos sólidos são classificados de acordo com a sua origem, que podem ser:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas a e b;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas b, e, g, h e j;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea c;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Essa forma de classificação é tida como crucial, pois a partir dela é possível identificar o gerador e avaliar as medidas de manejo e a responsabilidade pelo gerenciamento (MASSUKADO, 2004).

2.2.2 Classificação quanto à periculosidade.

A PNRS (BRASIL, 2010) também classifica os resíduos sólidos no artigo 3, inciso II, quanto à sua periculosidade, de modo que se dividem em dois grupos, os resíduos perigosos, aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica, e os resíduos não perigosos, aqueles não enquadrados como resíduos perigosos.

A norma técnica NBR 10.004/2004 – Resíduos sólidos – classificação, também classifica o resíduo de acordo com sua periculosidade, as quais apresentam o potencial de contaminação do meio ambiente e à saúde pública. Apresenta a seguinte classificação:

- Resíduo Classe I – Perigosos: apresentam risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e

patogenicidade. São exemplos de resíduos de classe I os resíduos industriais e hospitalares.

- Resíduo Classe II – Não Perigosos;
 - Resíduos classe II A – Não inertes: Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. São exemplos destes resíduos restos de comidas, resíduos de borrachas e resíduos de materiais têxteis.
 - Resíduos classe II B - Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. São exemplos destes resíduos os de demolição e construção.

É importante salientar que a propriedade inflamabilidade presente na classe I, refere-se à capacidade dos resíduos em se converter em chamas. Já na classe II – A, encontra-se a propriedade combustibilidade, referente à condição do resíduo de propagar fogo (MASSUKADO, 2004).

A caracterização e classificação de um resíduo pela NBR 10004/2004 "envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido" (ABNT, 2004a).

2.3 Caracterização dos resíduos sólidos

A caracterização dos resíduos sólidos de uma região compreende um conjunto de informações a respeito das características dos mesmos, obtidas através de diversos ensaios (IBAM, 2001). As características dos resíduos sólidos urbanos podem ser reunidas em três grupos, características biológicas, químicas e físicas. Destes três grupos, aquele que mais

interfere no dimensionamento do sistema de coleta e disposição, considerando eventualmente a existência de um programa de coleta seletiva e reciclagem, é o das características físicas, por influenciar em vários aspectos da gestão dos resíduos sólidos urbanos (SOARES, 2011). Conforme a Quadro 1 cada característica possui seus componentes e propriedades.

Quadro 1- Elementos de caracterização dos RSU

Características físicas	Características químicas	Características biológicas
Composição Gravimétrica	Poder calorífico	População microbiana, e agentes patogênicos
Geração per capita	Composição química	
Peso específico aparente	Relação Carbono/ Nitrogênio	
Teor de umidade	Potencial Hidrogeniônico (pH)	
Compressividade		

Fonte: IBAM (2001).

As características dos resíduos sólidos podem ser influenciadas por diversos fatores como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Fatores que influenciam as características dos resíduos

Fatores		Influência
Climáticos	Chuvas	Aumento do teor de umidade
	Outono	Aumento do teor de folhas
	Verão	Aumento do teor de embalagens de bebidas
Épocas especiais	Carnaval	Aumento do teor de embalagens de bebidas
	Natal/ Ano novo/ Pascoa	Aumento de embalagens
	Dia dos Pais/ Mães	Aumento de embalagens
	Férias escolares	Aumento populacional em locais turísticos
Demográficos	População urbana	Quanto maior a população urbana, maior a geração per capita
Socioeconômicos	Nível cultural	Quanto maior o nível cultural, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica
	Nível educacional	Quanto maior o nível educacional, menor a incidência de matéria orgânica
	Poder aquisitivo	Quanto maior o poder aquisitivo, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica
	Desenvolvimento tecnológico	Introdução de materiais cada vez mais leves, reduzindo o valor do peso específico aparente dos resíduos
	Promoções de lojas	Aumento de embalagens

Fonte: IBAM (2001).

2.3.1 Características físicas dos resíduos sólidos

As características dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados variam de uma população para outra, dependendo de suas culturas, situações socioeconômicas, aspectos climáticos, migrações, turismo e hábitos de vida (FUNASA, 2007). Portanto é importante que em cada região a caracterização seja realizada. As características físicas referem – se a tipologia dos resíduos em função do peso e densidade, compreensividade.

2.3.1.1 Composição gravimétrica.

A composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada (IBAM, 2001). É importante que a separação de cada componente seja realizada para cada região para conhecer o que é gerado, e assim ter uma avaliação preliminar da degradabilidade, do poder de contaminação ambiental, das possibilidades de reutilização, reciclagem, valorização energética e orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Segundo a COMLURB (2009), a caracterização de resíduos sólidos urbanos se apresenta como uma ferramenta essencial para se definir o que fazer com os mesmos, desde a coleta até o seu destino final, de forma sanitária, ambientalmente correta e economicamente viável, bem como dimensionar a quantidade de RSU produzido em cada área e gerar dados que definirão metas e modelos de gestão.

Diversos fatores influenciam na quantidade e composição gravimétrica, principalmente condições sociais, valores culturais, fatores climáticos e épocas especiais. De modo que de acordo com o socioeconômico os componentes podem mudar, em épocas especiais há uma maior produção de resíduos, em estação do ano como outono e verão, há mais quantidade de galhos e folhas, e aumento da quantidade de bebidas. Os componentes mais utilizados na determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 – Componentes mais comuns da composição gravimétrica.

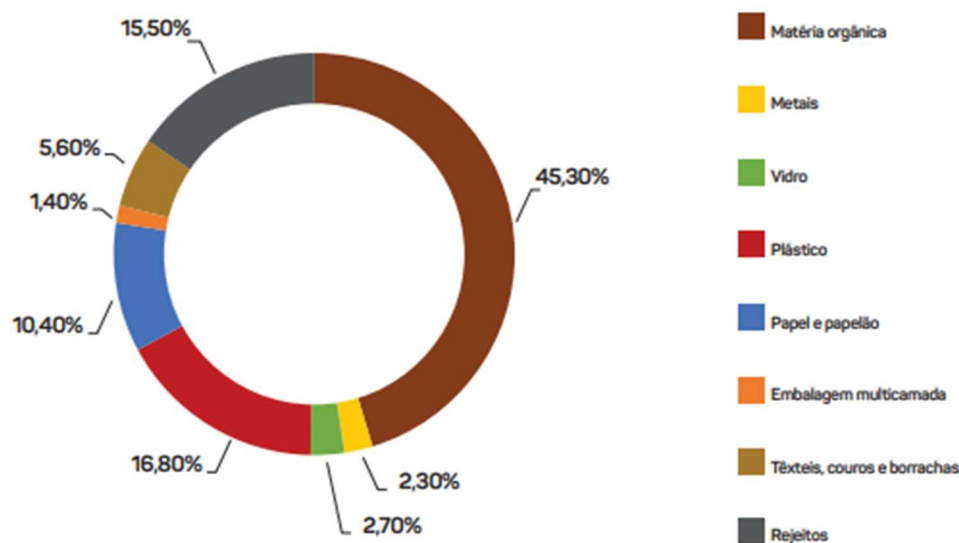
Matéria orgânica	Metal ferroso	Borracha
Papel	Metal não-ferroso	Couro
Papelão	Alumínio	Pano/trapos
Plástico rígido	Vidro claro	Ossos
Plástico maleável	Vidro escuro	Cerâmica
PET	Madeira	Agregado Fino

Fonte: IBAM (2001).

Na literatura são apresentados diferentes métodos para determinar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos, a maior parte com base no quarteamento da amostra, conforme a NBR 10007/2004, (PROSAB, 2003). O processo consiste em uma divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogenizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado (ABNT, 2004b). Diante disso para realizar a composição gravimétrica primeiro ocorre a pesagem do caminhão, despeja o material e espalha em uma lona, ocorre uma homogeneização dos resíduos, depois é realizado o quarteamento, em seguida classifica como outros qualquer material encontrado que não se enquadre na listagem de componentes pré-selecionada, após a separação pesar cada componente separadamente, dividir o peso de cada componente pelo peso total da amostra e calcular a composição gravimétrica em termos percentuais.

No Brasil a composição gravimétrica foi estimada pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), por meio da compilação e revisão de cerca de 200 estudos. A gravimetria Nacional foi estimada com base na média ponderada a partir da geração total de RSU por faixa de renda dos municípios e respectivas composições, levando-se em consideração a população e geração per capita (ABRELPE, 2020). Diante disso foi possível notar que a maior parte dos resíduos é composto por matéria orgânica (45,30%), plástico (16,80%) e rejeitos (15,50%) como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Estimativa da Composição Gravimétrica média dos RSU coletados no Brasil.



Fonte: ABRELPE (2020).

2.3.1.2 Geração per capita

A geração dos resíduos sólidos urbanos é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente em quantidade e composições que dependem do tamanho da população e do desenvolvimento econômico de cada localidade (OLIVEIRA, 1998). De acordo com a FUNASA a geração per capita corresponde a massa de resíduos sólidos produzida por uma pessoa em um dia (kg/hab. dia), para encontrar esse valor é feita uma relação da quantidade de resíduo gerado diariamente com o número de habitante do local/ região.

A geração per capita é influenciada principalmente pelo crescimento populacional, quanto maior o número de pessoas maior a geração da quantidade de resíduo gerado. Outro fator que afeta a geração per capita são as mudanças de hábitos da população, decorrente do modelo e consumo adotados, a qual reflete em maior geração per capita de resíduos.

De acordo com a SNIS a geração per capita é fundamental para se poder projetar as quantidades de resíduos a coletar e a dispor. Importante no dimensionamento de veículos. É um elemento básico para a determinação da taxa de coleta, bem como para o correto dimensionamento de todas as unidades que compõem o Sistema de Limpeza Urbana.

No Brasil a geração de resíduos sólidos chega aproximadamente 359 kg/ hab./ ano, de modo que as regiões sudeste e centro – oeste possuem a maior geração per capita (ABRELPE,

2021). O SNIS-RS 2020 identificou a coleta média de 1,01 kg/ habitante/dia de Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) e públicos (RPU) gerados pela população urbana. A Região Norte apresentou uma coleta de 1,05 kg/hab./ dia, e no Estado do Tocantins 1,19 (kg/hab./ dia) como mostrado no Quadro 4. Nas macrorregiões, a massa média per capita recolhida varia de 0,87 kg/hab./dia (Sul) a 1,23 kg/hab./dia (Nordeste).

Quadro 4 - Geração per capita de resíduos sólidos urbanos

Brasil (2020)	Região Norte (2020)	Tocantins (2020)
(kg/hab./dia)	(kg/hab./dia)	(kg/hab./dia)
1,01	1,05	1,19

Fonte: Adaptado SNIS (2020).

2.3.1.3 *Peso específico aparente*

Peso específico aparente é o peso do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m³. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Na ausência de dados mais precisos, podem-se utilizar os valores de 230 kg/m³ para o peso específico do lixo domiciliar, de 280kg/m³ para o peso específico dos resíduos de serviços de saúde e de 1.300kg/m³ para o peso específico de entulho de obras. Para determinar o peso específico aparente é necessário pesar as caçambas cheias e determinar o peso do lixo descontando o peso da caçamba, somar os pesos obtidos, o peso específico será o valor da soma obtida, expresso em kg/m³ (IBAM, 2001).

O valor do peso específico está diretamente relacionado à sua composição gravimétrica, visto que quanto maior for a quantidade de componentes leves (papel, papelão, plásticos) ou quanto menor for a quantidade de matéria orgânica, menor será seu valor. Em áreas de maior poder aquisitivo, com maior consumo de materiais supérfluos, o peso específico dos RSU é menor, quando comparado às áreas de menor poder aquisitivo, com maior descarte de matéria orgânica.

Os principais fatores que influenciam no peso específico é a umidade, porosidade, grau de saturação, porcentagem de cada componente, tipo de compactação ou adensamento utilizado. Outro fator que influencia no peso específico é a questão socioeconômica no quesito de desenvolvimento tecnológico, pois a introdução de materiais cada vez mais leves, reduzindo o valor do peso específico aparente dos resíduos. De acordo com IBAM o peso específico é

fundamental para um correto dimensionamento da frota de coleta, assim como de *containers* e caçambas estacionárias.

2.3.1.4 Teor de umidade

O teor de umidade representa a quantidade de água presente no lixo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40 a 60% (IBAM, 2001). O teor de umidade do resíduo sólido urbano depende da composição inicial do material, das condições climáticas locais, do processo de operação dos aterros, da taxa de decomposição biológica e das estações do ano.

O teor de umidade tem influência direta sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem. Influencia diretamente o poder calorífico e o peso específico aparente do lixo, concorrendo de forma indireta para o correto dimensionamento de incineradores e usinas de compostagem. Influencia diretamente o cálculo da produção de chorume e o correto dimensionamento do sistema de coleta de percolados (IBAM, 2001).

Para determinar o teor de umidade é realizada a pesagem da amostra, onde seu conteúdo é colocado em um forno (estufa) a 105 °C por um dia ou 75°C por dois dias consecutivos, após a secagem pesar o material até os resíduos apresentarem peso constante, subtrair o peso da amostra úmida do peso do material seco e determinar o teor de umidade em termos percentuais.

2.3.1.5 Compressividade

A compressividade é a redução do volume dos resíduos sólidos quando submetidos a uma pressão, compactação (FUNASA, 2015). Submetido a uma pressão de 4 kg/cm², o volume do lixo pode ser reduzido de um terço (1/3) a um quarto (1/4) do seu volume original. Muito importante para o dimensionamento de veículos coletores, estações de transferência com compactação e caçambas compactadoras estacionárias (IBAM, 2001). A compressividade varia de acordo com a composição dos resíduos sólidos e com a localidade ou fonte geradora.

2.3.2 Características químicas dos resíduos sólidos

Os RSU são muito heterogêneos, pois consistem de frações de diversos tamanhos com diferentes composições, sendo estas muito específicas. Isso faz com que a caracterização química dos resíduos sólidos urbanos seja muito difícil e cara (RIBER et al., 2007). O conhecimento das características químicas possibilita a seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final. O manual de saneamento da FUNASA e o manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos (IBAM) descreve as características químicas que devem ser analisadas, as quais são: poder calorífico, potencial hidrogeniônico (pH), composição química e relação carbono/ nitrogênio.

- Poder calorífico: indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima. O poder calorífico médio do lixo domiciliar se situa na faixa de 5.000kcal/kg. O método de medição do poder calorífico baseia-se no balanço de energia, na combustão completa da amostra, em geral com oxigênio puro, a volume constante, e na transferência de calor para a água do calorímetro. Influencia o dimensionamento das instalações de todos os processos de tratamento térmico (incineração, pirólise e outros).
- Potencial Hidrogeniônico (pH): O potencial hidrogeniônico indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. O pH está relacionado com a velocidade de degradação e estabilização da matéria orgânica nos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade (TAVARES, 2008). A determinação do pH é importante pois indica o grau de corrosividade dos resíduos coletados, servindo para estabelecer o tipo de proteção contra a corrosão a ser usado em veículos, equipamentos, contêineres e caçambas metálicas.
- Composição química: A composição química consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras. Ajuda a indicar a forma mais adequada de tratamento para os resíduos coletados.
- Relação Carbono/Nitrogênio (C:N): A relação carbono/nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1. Fundamental para se estabelecer a qualidade do composto produzido.

2.3.3 Características biológicas dos resíduos sólidos

As características biológicas dos resíduos são aquelas determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no lixo que, ao lado das suas características químicas, permitem que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final mais adequados (IBAM, 2001). As transformações biológicas promovem a degradação de muitos componentes sólidos, em biogás e em líquidos, acarretando uma redução no volume dos RSU depositados e variações em suas propriedades geotécnicas ao longo do tempo (SOARES, 2011). Segundo o manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos que é importante ter conhecimento das características biológicas dos resíduos para desenvolver inibidores de cheiro e retardadores ou aceleradores da decomposição da matéria orgânica, para evitar ou minimizar problemas com a população ao longo do percurso dos veículos.

2.4 Limpeza urbana

A limpeza urbana é definida como o manejo de resíduos sólidos originários da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas e do conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final dos resíduos sólidos domésticos (FUNASA, 2015).

A Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, define saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Diante disso, a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos é um dos quatro componentes do saneamento básico. Esse serviço é essencial para eliminar ambientes de propagação de vetores de doenças (ratos, baratas), fontes poluidoras de águas superficiais e subterrâneas e obstrução de infraestruturas de drenagem das águas das chuvas. Com isso, promovem a melhoria da saúde pública, da qualidade de vida e da sustentabilidade ambiental, bem como a geração de emprego e renda (SNIS – RS, 2020).

De acordo com a política nacional de resíduos sólido, a limpeza urbana é de responsabilidade do ente público municipal, podendo ser executada por meio de agentes público ou privado os resíduos de limpeza urbana equivale aos originários da varrição, limpeza de

logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (art. 13, inciso I. alíneas b, PNRs). Assim as principais atividades do serviço público de limpeza urbana é a varrição e capina.

A varrição corresponde a principal atividade de limpeza de logradouros públicos. Esta pode ser realizada manualmente nas vias, calçadas, sarjetas, escadarias, túneis e outros logradouros públicos, pavimentados ou não, e mecanicamente, é indicada para ruas com asfalto, concreto e para locais de grandes tráfegos. A execução dos serviços de varrição é fundamental, pois sua execução evita a obstrução das galerias pluviais, bocas-de-lobo e assoreamento dos rios. Ela deve ser feita diariamente e nas diversas áreas da comunidade (FUNASA, 2015).

A capina possui o objetivo de manter logradouros públicos livres de mato e ervas daninhas, de modo que apresentem bom aspecto estético. Pode ser realizado manual ou mecanicamente. O ciclo normal de capina é de cerca de dois meses no período chuvoso do ano, e de três a quatro meses no período da estiagem. Neste serviço é programada a coleta, o transporte e a destinação dos resíduos da capina (FUNASA, 2015).

Também é papel da limpeza urbana coletar o lixo, o qual significa recolher o lixo acondicionado por quem o produz para encaminhá-lo, mediante transporte adequado, a uma possível estação de transferência, a um eventual tratamento e à disposição final. Coleta-se o lixo para evitar problemas de saúde que ele possa propiciar. A coleta e o transporte do lixo domiciliar produzido em imóveis residenciais, em estabelecimentos públicos e no pequeno comércio são, em geral, efetuados pelo órgão municipal encarregado da limpeza urbana. Para esses serviços, podem ser usados recursos próprios da prefeitura, de empresas sob contrato de terceirização ou sistemas mistos, como o aluguel de viaturas e a utilização de mão-de-obra da prefeitura (IBAM, 2001).

Assim a coleta domiciliar define-se como o recolhimento dos resíduos produzidos nas edificações residenciais, públicas e comerciais, desde que não sejam, estas últimas, grandes geradoras. A coleta do lixo é efetuada de porta a porta sempre nos mesmos dias e horários, regularmente, normalmente segundas, quartas e sextas, ou terças, quintas e sábados, assim os cidadãos podem colocar o lixo em suas portas no dia correto, desse modo o lixo não fica exposto, evitando prejuízos ao aspecto estético dos logradouros e o espalhamento por animais ou pessoas (IBAM, 2001).

De acordo com SNIS o Brasil possui uma taxa de cobertura regular de serviço de coleta de resíduos domiciliares em relação à população total do município de 90,54 %, a região norte possui uma taxa de 80, 66%, e o Estado do Tocantins com 83,94%.

2.5 Modelagem por regressão

A análise de Regressão Linear (ARL) é uma das ferramentas estatísticas mais utilizadas na modelagem de dados. A ARL consiste, em sua essência, na determinação de uma equação ou modelo que descreva de maneira eficiente o efeito de um grupo de variáveis independentes sobre uma ou mais variáveis dependentes.

A aplicação da técnica de modelagem por regressão linear a um grupo de dados resulta na determinação de coeficientes lineares que ponderam o efeito de variáveis independentes sobre variáveis dependentes (FOGLIATTO, 2000).

Modelos de Regressão é utilizado quando o interesse em modelar um determinado processo natural tem por objetivo encontrar valores preditos enumeráveis, geralmente contínuos, que reproduzam o mais fielmente possível valores reais. Ou seja, prever o valor de saída baseado em quantidades observadas (entradas), de maneira tal, que minimize a diferença entre os valores reais observados, e os valores preditos pelo modelo (BOAVENTURA, 2020). A regressão é utilizada em diversos modelos matemáticos como o SVM (Support Vectors Machine) e o SVR (Support Vectors Regressor).

2.5.1 Máquinas de vetores de suporte – SVM.

As Máquinas de Vetores Suporte (*Support Vector Machines - SVMs*) constituem uma técnica embasada na Teoria de Aprendizado Estatístico (VAPNIK, 1995). As SVMs são modelos matemáticos obtidos a partir de um subconjunto finito de dados conhecidos e de seus respectivos rótulos (conjunto de treinamento), que, por meio de uma técnica de indução, buscam classificar dados que não fazem parte do conjunto de treinamento (SANTOS,2019). Seu processo de aprendizado é do tipo supervisionado e pode ser usado na resolução de problemas de classificação e de regressão (ALMEIDA,2010).

2.5.2 Máquinas de vetores de suporte regressão – SVR.

Os regressores (ou aproximadores de funções) são modelos matemáticos utilizados para determinar o comportamento de um sistema do tipo caixa preta, simplificar modelos matemáticos complexos, eliminar informações indesejadas (ruídos e *outliers*); e podem ser

empregados como preditores. As *Support Vector Regressors* (SVR) são modelos matemáticos baseados na mesma teoria empregada nas SVMs como classificadores (SANTOS, 2019) e possui como a função regressora a Equação 1.

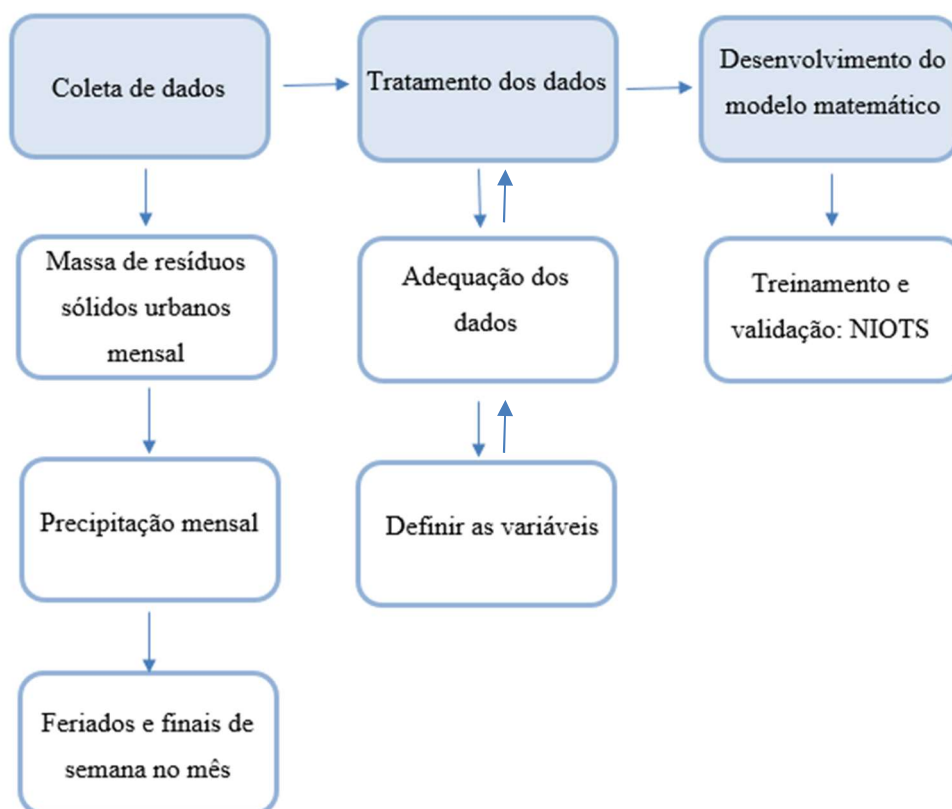
$$f(x) = \sum_{i=1}^{\#SV} w_i K(x_i, x) + b \quad (\text{Equação 1})$$

A regressão de vetores de suporte é fundamentada em uma máquina de vetor de suporte (SVM), (VAPNIK, 1995). O modelo produzido por SVR depende de um subconjunto dos dados de formação e por sua função de custo que é utilizada para a construção do modelo, ignorando os dados de formação perto do modelo de previsão (TEIXEIRA, 2014).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com Strauss e Corbin (1998) o método fornece os meios para se atingir o objetivo proposto na pesquisa. Uma vez que constitui um conjunto de procedimentos utilizados para coletar e analisar os dados, com o intuito de responder à questão fundamental da pesquisa.

Desse modo, a pesquisa possui abordagem quali – quantitativa com caráter descritivo e bibliográfico, com o objetivo de levantar, organizar e trabalhar as informações para análise histórica da geração de resíduos sólidos do município de Palmas – TO e para confirmar a hipótese que a massa coletada de resíduos sólidos tem correlação com a precipitação, feriados e finais de semana. Através de pesquisas bibliográficas, dados obtidos com a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO, e informações adquiridas pelo Instituto Nacional de Meteorologia foi possível desenvolver o modelo matemático e obter uma correlação. Para realizar o modelo foi considerado a massa de resíduos sólidos, como variável dependente, de modo que feriados, finais de semana e precipitação, são as variáveis independentes. Para a realização do modelo seguiu as etapas esquematizadas na Figura 4.

Figura 4 - Etapas do procedimento adotado.

Fonte: Adaptado GADELHA (2020).

3.1 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica é uma sinopse de diversos trabalhos que tenham importância dentro de uma área de estudo, pois propiciam informações relevantes e contemporâneas correlacionadas ao tema. Com esse conjunto de conhecimentos a pesquisa passa a ter um direcionamento preciso para a sua elaboração, diminuindo a chance de se publicar e produzir determinados erros, além de oferecer dados imprescindíveis e nortear possíveis questionamentos (LAKATOS E MARCONI, 2003).

Na etapa da pesquisa bibliográfica houve a conceituação de resíduos sólidos urbanos e principalmente enfoque nas características físicas dos resíduos sólidos, de modo que serão utilizadas nos métodos comparativos, com objetivo de compreender a influência dos fatores precipitação e feriado geração per capita de resíduos sólidos. O levantamento bibliográfico abordou também sobre assuntos como as características químicas e biológicas dos resíduos urbanos, e a limpeza urbana com intuito de facilitar a compreensão do seguinte trabalho.

3.2 Coleta de dados

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os dados de massa coletada de resíduos sólidos urbanos no município de Palmas – TO durante os anos de 2014 a 2019, de modo que as informações foram obtidas através da Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos do município de Palmas – TO, a qual disponibilizou a massa de resíduos sólidos urbanos coletados em toneladas durante os meses dos anos de 2014 a 2021, totalizando 90 dados. Determinou para o desenvolvimento do trabalho os fatores de precipitação, feriados e finais de semana que influenciam nas características dos resíduos.

A precipitação foi obtida através do Instituto Nacional de Meteorologia, determinando a precipitação mensal em milímetros nos meses dos anos de 2014 a 2021. Para definir a quantidade de feriados e finais de semana no mês foi utilizado o calendário que consta os feriados do município de Palmas – TO, assim foi considerado os feriados presentes em cada mês. Como há meses que possuem mais sábados que domingos, e outros que possuem mais domingos do que sábado, foi adotado para a realização do trabalho a quantidade de domingos em cada mês.

3.3 Tratamento dos dados

Com os dados obtidos foi realizado o tratamento dos dados, analisando as informações obtidas. Optou-se por utilizar todos os dados obtidos da massa de resíduos coletados em toneladas, a precipitação em milímetros, e os feriados que coincidem com os domingos não foram contabilizados no mês devido ao fato de feriados e domingos possuírem a mesma influência na geração de resíduos. Desse modo as informações para o desenvolvimento do trabalho foi considerado a massa de resíduos, precipitação e quantidade de feriados e domingos durante os meses dos anos de 2014 a 2021, em algumas análises o ano de 2014 não participou devido seus dados constar a partir do mês de julho. Para o desenvolvimento do modelo definiu como variáveis o ano, meses, feriados, domingos, precipitação e a geração de resíduos por mês. Para o meses do ano foi utilizado a relação conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Número identificador dos meses.

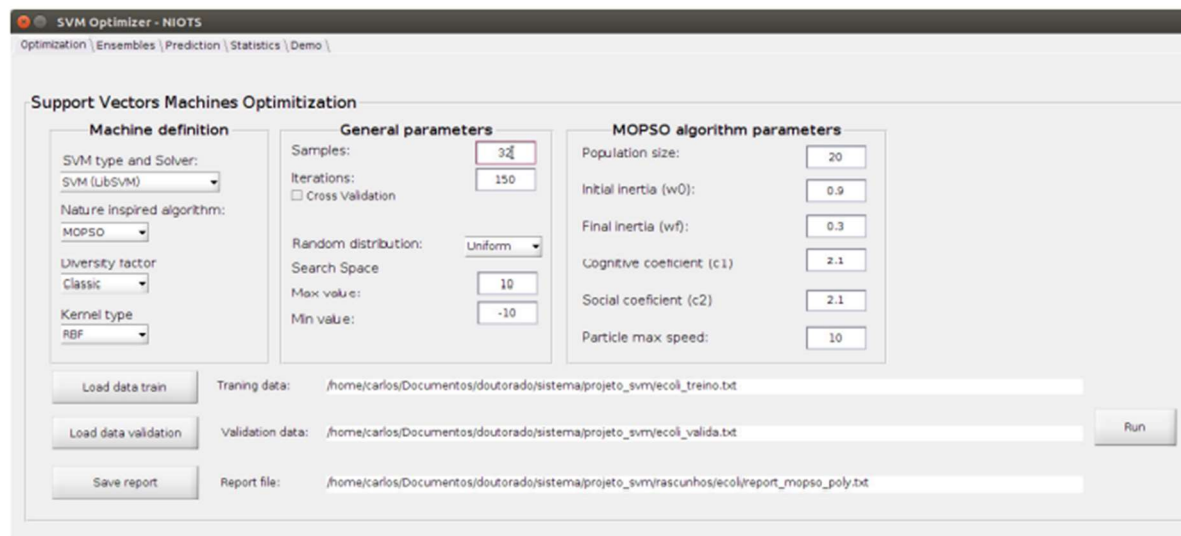
Meses	Nº referente
Janeiro	1
Fevereiro	2
Março	3
Abril	4
Maio	5
Junho	6
Julho	7
Agosto	8
Setembro	9
Outubro	10
Novembro	11
Dezembro	12

Fonte: Autoria Própria (2022).

3.4 Desenvolvimento do modelo matemático

Para determinar a correlação da precipitação , feriados e domingos com a massa coletada de resíduos sólidos urbanos foi utilizado a ferramenta *Nature Inspired Optimization Tools for SVM* – NIOTS (SANTOS,2019), Figura 5. A ferramenta possibilita que usuários com interesse em obter modelos de SVM/SVRs para áreas específicas do conhecimento, sem a realização de estudos profundos dos conceitos envolvidos. O NIOTS gera relatórios e modelos que podem ser testados e analisados estatisticamente nos ambientes Predição e Estatística. A ferramenta possui um ambiente gráfico simples que utiliza algoritmos e gera um conjunto de relatórios que torna prática a avaliação de uma grande quantidade de informação, além de possibilitar a validação estatística dos algoritmos implementados e seus parâmetros (SANTOS, 2019).

Figura 5 - Ambiente gráfico NIOTS



Fonte: SANTOS (2019).

Com a ferramenta foi possível identificar a correlação de precipitação, feriados e domingos com a massa de resíduos sólidos urbanos para confirmar a hipótese de que a precipitação, feriados e domingos influenciam na massa coletada de resíduos sólidos urbanos ao mês no município de Palmas – TO.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

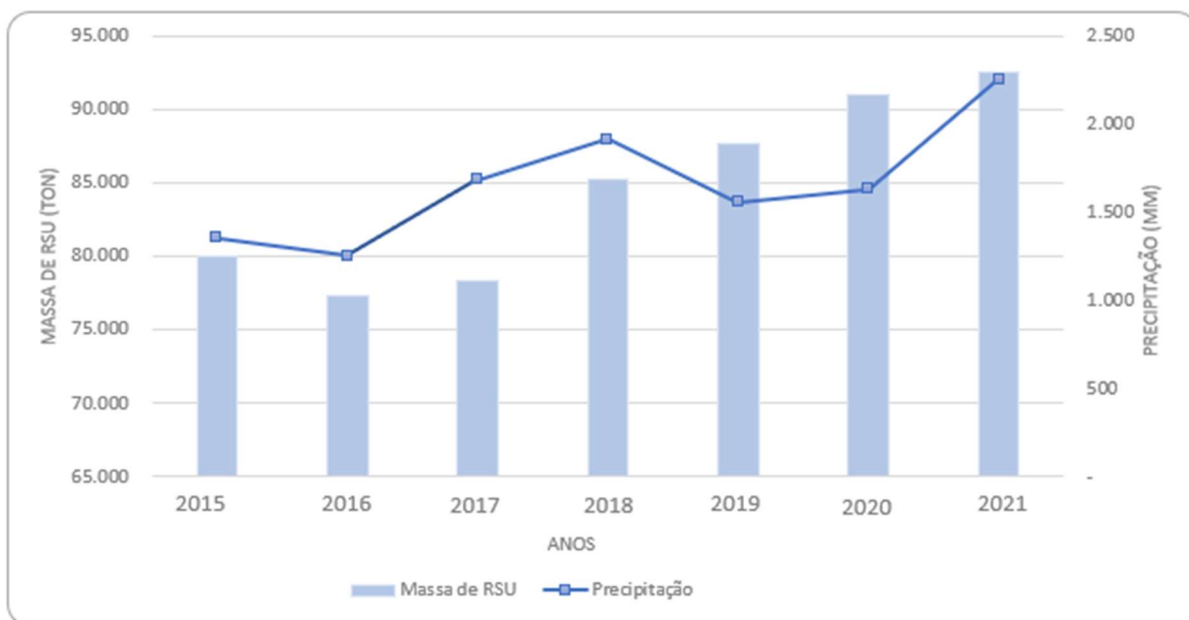
Analisando os 90 dados obtidos da variável massa coletada de resíduos por mês e da precipitação mensal, as quais constam no Anexo A, nota-se, como mostrado no gráfico da Figura 6, que o ano com a menor massa coletada e a menor precipitação foi o ano de 2016, com 77.344 toneladas coletadas e uma precipitação total do ano de 1.252 milímetros.

O ano de 2021 teve uma maior massa de RSU coletada em comparação com os demais anos, com uma massa de 92.568 toneladas de resíduos sólidos urbanos coletadas. Ao analisar o gráfico da Figura 6, observa-se que no ano de 2017 houve uma alta precipitação de 1.689 milímetros, porém a massa de resíduos foi baixa comparada com os outros anos, com um peso de 78.316 toneladas.

Essa diferença pode ter ocorrido por outras influências que interferem na massa dos resíduos sólidos urbanos, como a composição gravimétrica, renda, população, entre outros. Na

análise comparativa da massa coletada ao longo dos anos, não foi considerada os feriados e domingos devido sua influência ser no mês, ao analisar no ano, não ocorre interferência pois há pouca variância de um ano para o outro.

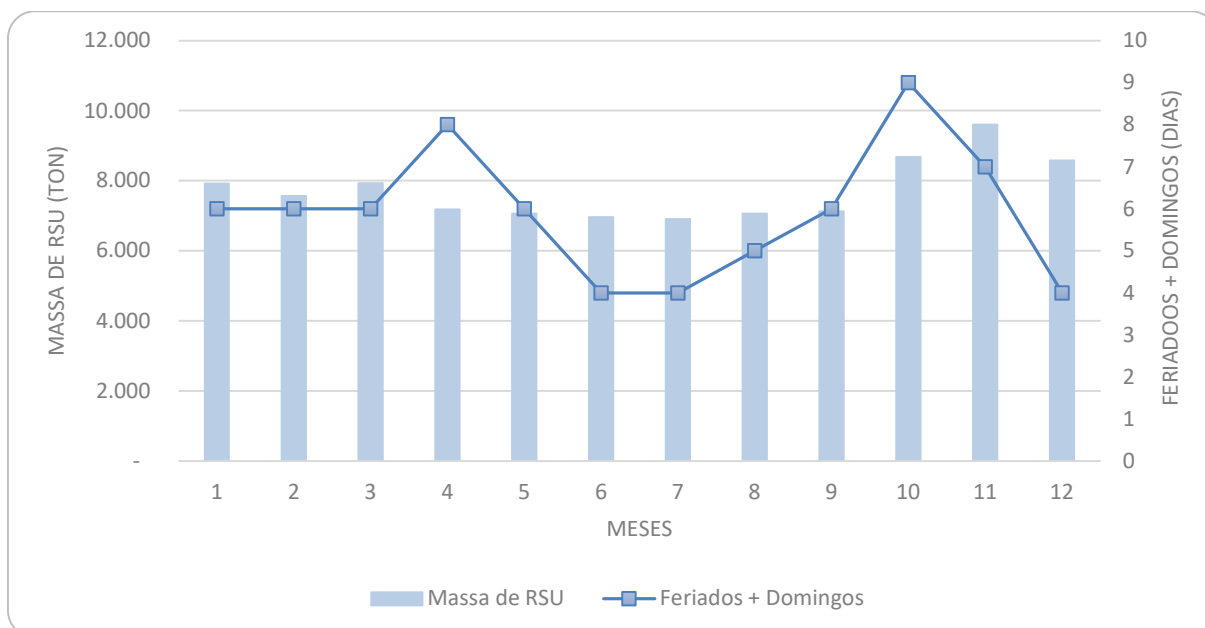
Figura 6 - Massa coletada de RSU e precipitação no período de 2015 a 2021.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Para analisar a hipótese da influência da precipitação, feriados e domingos na massa dos RSU foram utilizados os dados do ano de 2021 por possuir uma maior precipitação e maior massa de RSU. Para análise dos feriados e domingos foi realizada a soma das duas variáveis para um melhor método comparativo. No ano de 2021 a maior quantidade de feriados e domingos foi no mês de outubro como mostrado no gráfico da Figura 7, com a somatória de 9 dias, porém teve uma baixa precipitação de 143 mm.

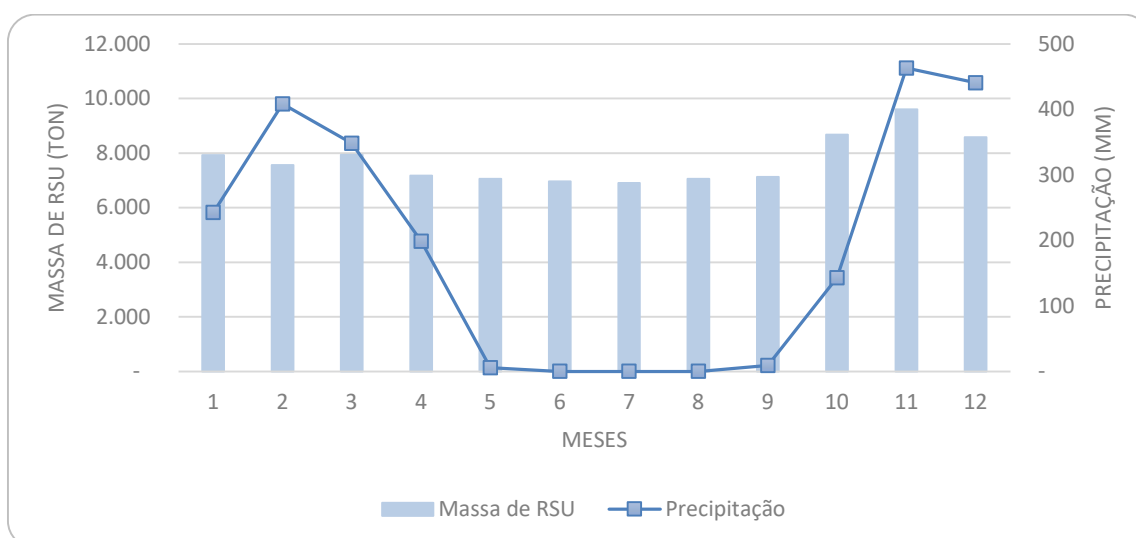
Figura 7 - Massa de RSU coletadas, feriados e domingos nos meses do ano de 2021.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A massa produzida no mês de outubro foi de 8.678 toneladas, sendo o segundo mês do ano de 2021 com a maior massa de RSU. Considerando a precipitação do ano de 2021 a maior foi do mês de novembro com 463 mm, de acordo com o gráfico da Figura 8, e com uma massa de 9.600 toneladas RSU, a quantidade de feriados e domingos foi de 7 dias, sendo o mês com a maior massa coletada.

Figura 8 - Massa coletada e precipitação nos meses do ano de 2021



Fonte: Autoria Própria (2022).

Considerando os dados obtidos da massa coletada de resíduos sólidos urbanos, os meses com maior massa de RSU foram outubro, novembro, dezembro e janeiro como mostra no Quadro 6. Desse modo, os meses com uma maior massa foram os últimos meses do ano e o primeiro mês do ano, na qual ocorre nesses meses as férias e possuem datas festivas, como o dia das crianças, natal e virada de ano, resultando em uma maior geração de resíduos.

Quadro 6 - Meses dos anos de 2015 a 2021 com a maior massa de RSU

Ano	Mês	Massa coletada (ton.)
2015	12	7.687,13
2016	12	6.715,18
2017	1	7.400,32
2018	10	8.490,15
2019	10	8.585,56
2020	12	8.560,52
2021	11	9.599,98

Fonte: Autoria Própria (2022).

Os meses com a menor massa de RSU foram os de maio, junho e julho, como mostrado no Quadro 7, os quais são meses que não apresentam precipitação. Apesar de julho ser um mês de férias, alguns anos como em 2015, 2016 e 2021 apresentam em comparação com os outros meses a menor massa de RSU, o que pode ser explicado pela precipitação ou devido a população do mês diminuir por causa das viagens.

Quadro 7 - Meses dos anos de 2015 a 2021 com menor massa de RSU

Ano	Mês	Massa coletada (ton.)
2015	7	6.022,08
2016	7	5.532,51
2017	5	5.205,73
2018	6	6.184,43
2019	6	6.356,79
2020	5	6.912,91
2021	7	6.902,28

Fonte: Autoria Própria (2022).

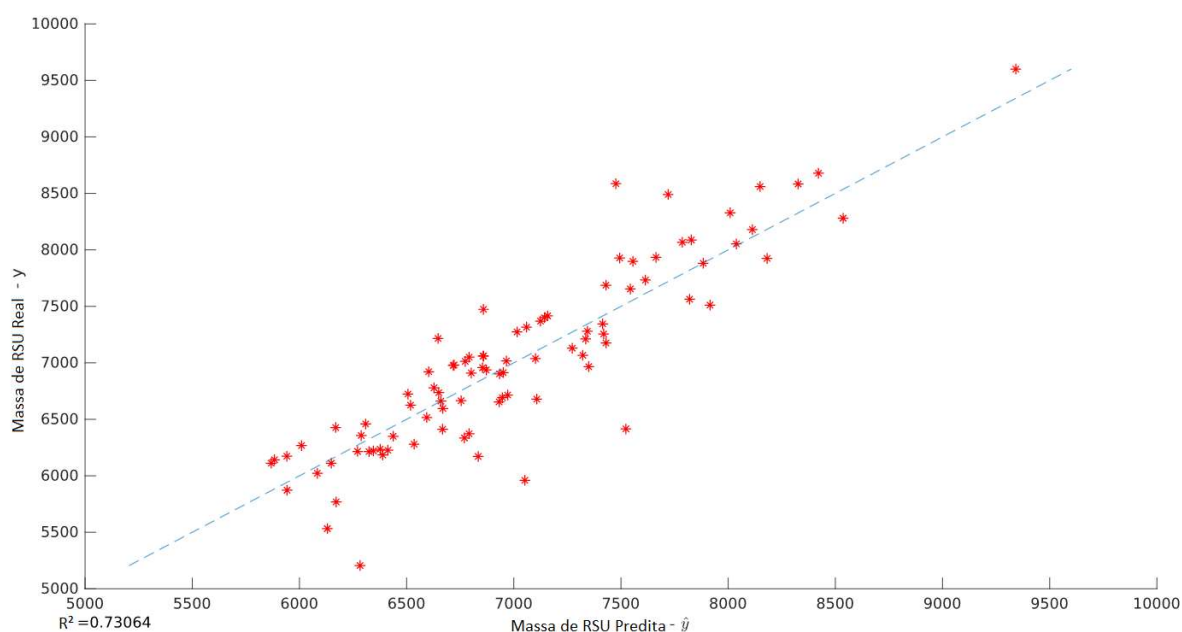
Para confirmar as hipóteses observadas que a precipitação, feriados e domingos influência na massa de RSU, foram realizados dois modelos matemáticos de predição através da ferramenta NIOTS.

4.1 Modelo 1

O modelo 1 tem como objetivo validar as variáveis explicativas, assim obtendo a correlação entre massa de RSU coletada, precipitação, feriados e domingos. Para realização do modelo 1 foi utilizado todas as variáveis, incluindo os dados de 2014.

Na Figura 9 tem – se o gráfico de coeficiente de correlação, esse fornece um coeficiente que varia entre 0 e 1, de modo que quanto mais próximo de um maior o ajuste do modelo, quanto mais próximos os pontos vermelhos (dados) estiverem da linha azul pontilhada, maior a correlação linear. Ao analisar o gráfico do coeficiente de correlação do modelo 1, observa – se que os pontos estão próximos da reta pontilhada com um coeficiente de correlação (R^2) de 0,73 a qual é considerado uma correlação forte por se aproximar do valor 1. Os pontos mais distantes da reta são dados que mais distorcem o modelo, podendo ser dados dos meses que possuem influências mais fortes de outros fatores como a composição gravimétrica, a população e a renda per capita.

Figura 9 - Coeficiente de Correlação do modelo 1.

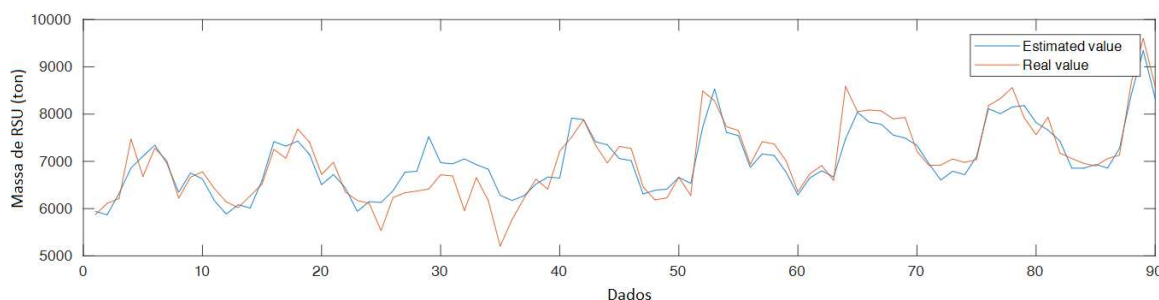


Fonte: Autoria Própria (2022).

Outro gráfico fornecido pelo modelo é o gráfico de predição. O gráfico de predição fornece a comparação do valor real com o valor estimado. No modelo 1, o gráfico de predição demonstra se os valores estimados da massa coletada de RSU pelo modelo, corresponde ao valor real da massa coletada no decorrer dos meses. A Figura 10 mostra a predição do modelo

1, a qual a linha azul corresponde ao valor estimado da massa coletada acompanha a linha laranja que representa o valor real da massa coletada. Diante disso, o modelo de predição está estimando próximo ao real.

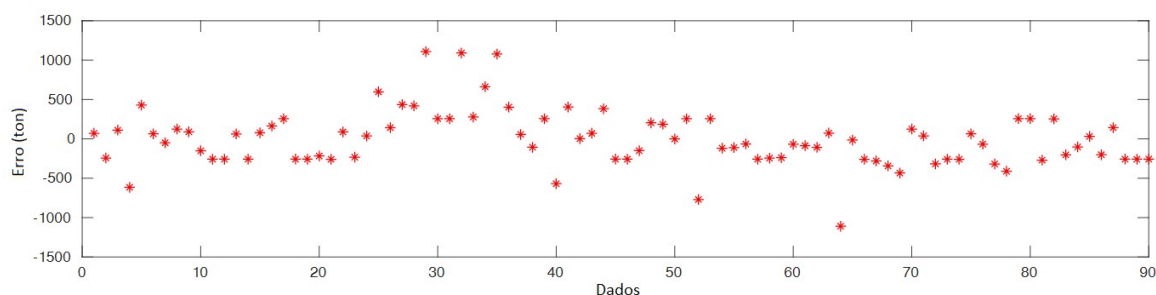
Figura 10 - Gráfico de Predição



Fonte: Autoria Própria (2022).

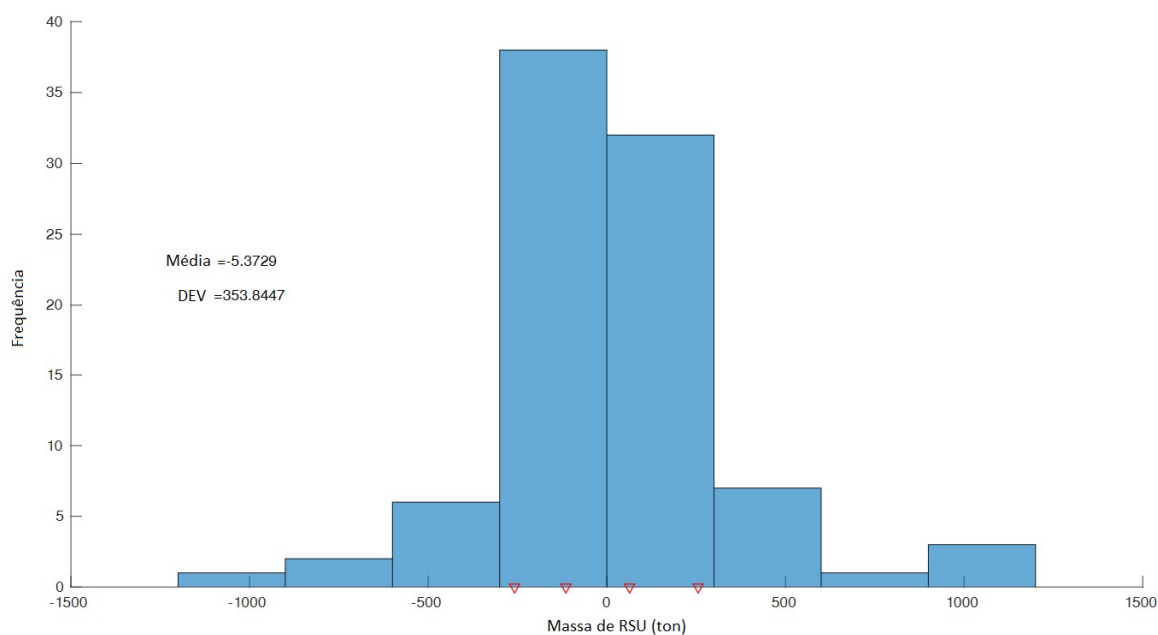
Na Figura 11 está presente o gráfico de resíduos, no gráfico não deve ser observado qualquer padrão, o que significa que o modelo absorveu toda a informação disponível e suas diferenças são, em sua maioria, devido a ruídos dos dados, dados inconsistentes com o restante da dados existentes.

Figura 11 - Gráfico de predição e de resíduos do modelo 1.



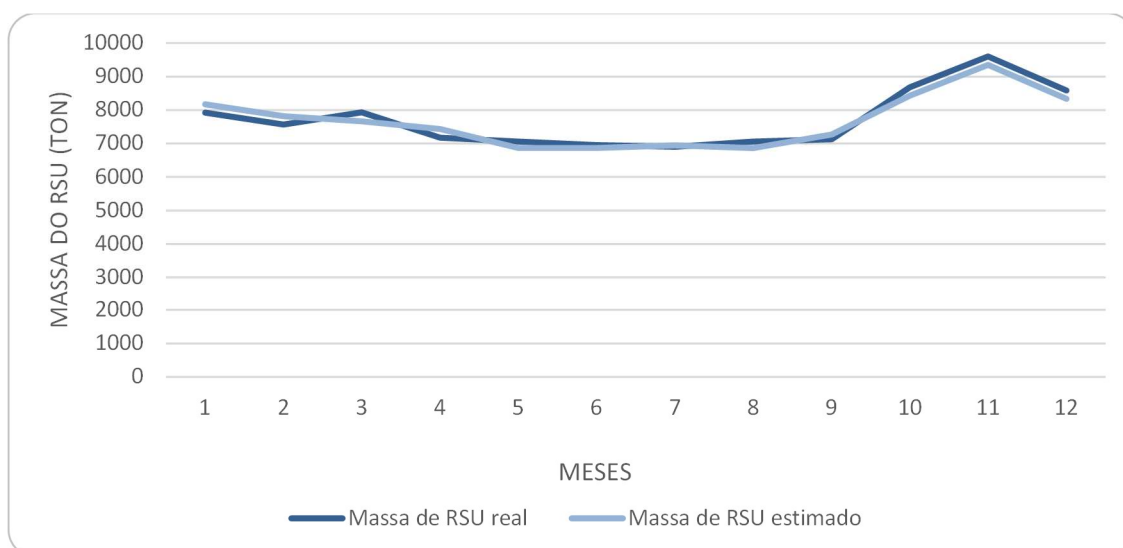
Fonte: Autoria Própria (2022).

O último gráfico analisado no modelo 1 é o que demonstra o desvio padrão do modelo. No modelo 1, conforme mostrado na Figura 12, o desvio padrão foi de 353,37 toneladas, de modo que o modelo obteve um desvio padrão para menos, assim estimou a massa coletada de alguns meses para um valor menor que o real.

Figura 12 - Desvio Padrão do modelo 1.

Fonte: Autoria Própria (2022).

O gráfico da Figura 13 compara os valores da massa coletada de RSU no ano de 2021 com os valores estimados pelo modelo. Nota-se que para o ano de 2021 a maior diferença entre o real e estimado foi de 273,22 toneladas no mês de março, e a menor diferença foi de 37,43 toneladas no mês de julho.

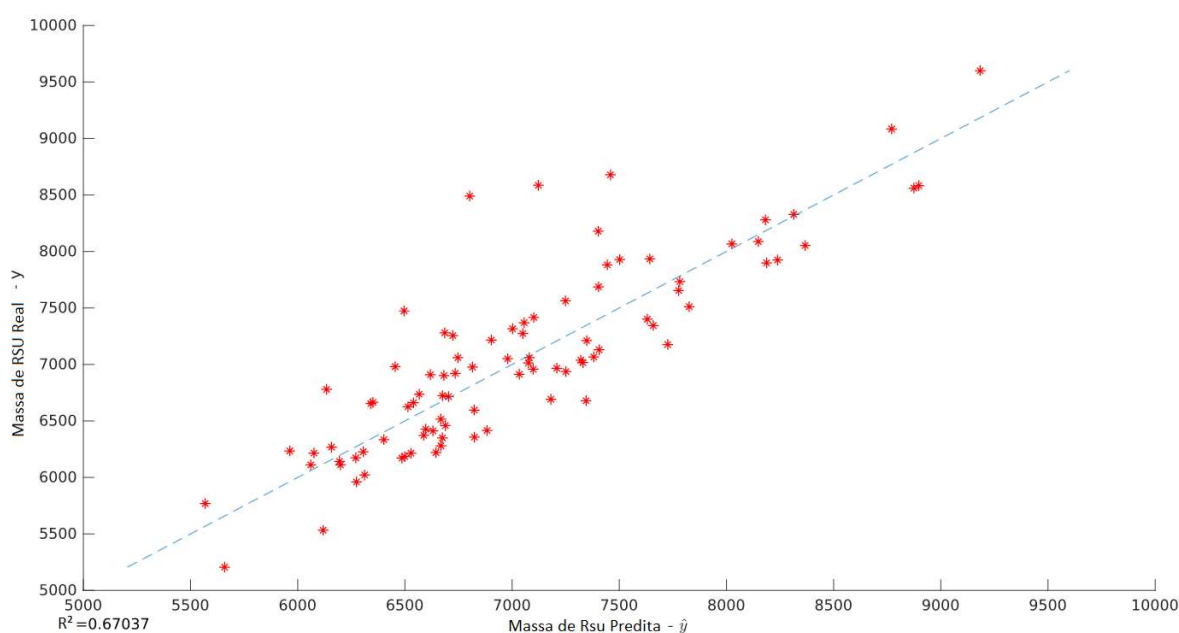
Figura 13 - Comparativo da massa real coletada de RSU com a massa prevista pelo modelo 1 no ano de 2021.

Fonte: Autoria Própria (2022).

4.2 Modelo 2

O modelo 2 é um modelo preditivo, na qual o modelo realiza uma predição da massa coletada RSU no mês futuro, sabendo a produção do mês atual, a precipitação, feriados e domingos. Na Figura 14 é demonstrado o gráfico do coeficiente de correlação do modelo 2, na qual possui pontos mais distantes na reta pontilhada se comparada com o gráfico do modelo 1. O coeficiente de correlação do modelo 2 foi de 0,67, o qual é considerado moderado.

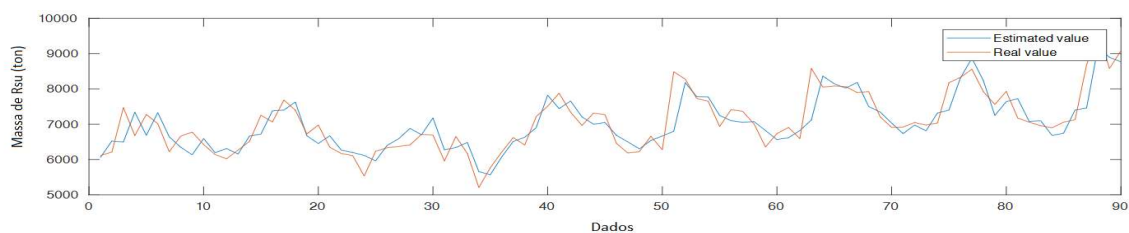
Figura 14 - Coeficiente de Correlação do modelo 2.



Fonte: Autoria Própria (2022).

O gráfico de predição do modelo 2, Figura 15, demonstra o que foi predito pelo modelo em comparação com o valor real da massa de RSU coleta. Nota-se que elas possuem o mesmo padrão de comportamento.

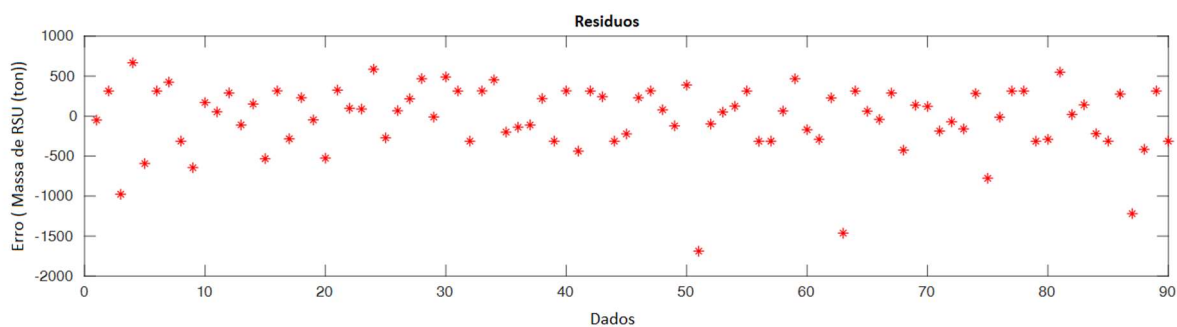
Figura 15 - Gráfico de Predição



Fonte: Autoria Própria (2022).

O gráfico de resíduos do modelo 02, Figura 16, é quase uniforme, o que significa que quase todo o padrão dos dados foi extraído pelo modelo.

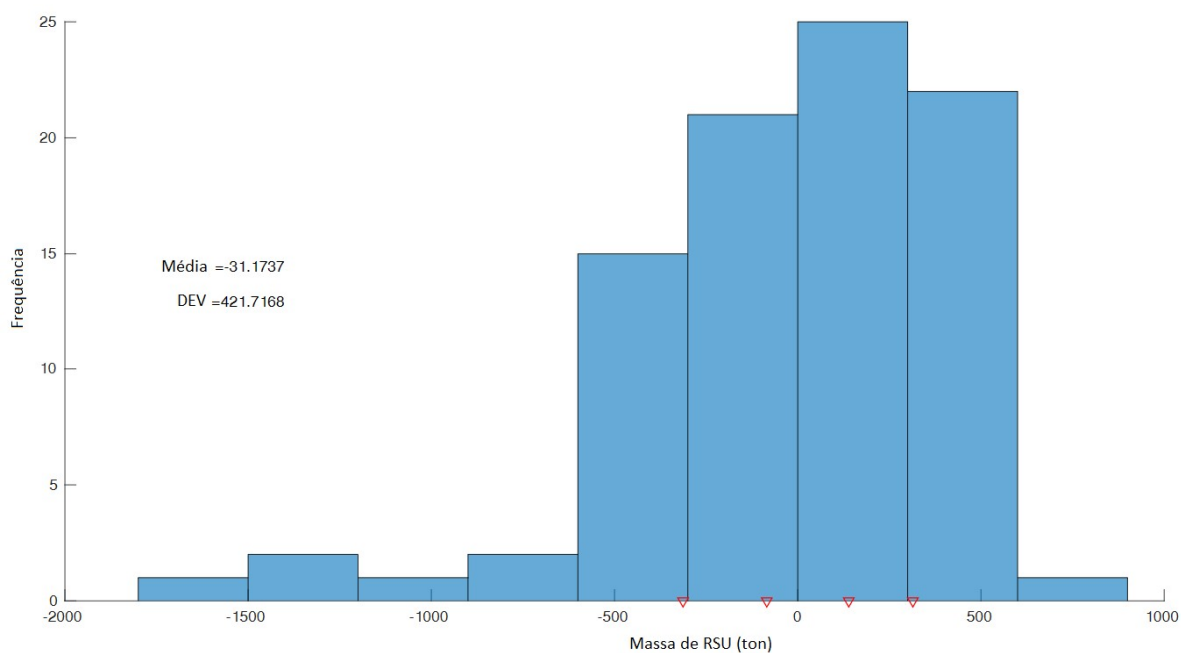
Figura 16 - Gráfico dos resíduos.



Fonte: Autoria Própria (2022).

No modelo 2 o desvio padrão foi 421,71 toneladas, de acordo com a Figura 17, de modo que a média foi negativa, assim o modelo realizou uma predição com valor da massa de RSU coletada menor que a massa coletada real.

Figura 17 - Desvio Padrão do modelo 2.



Fonte: Autoria Própria (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os 360 dados utilizados no trabalho, foi possível verificar a hipótese de que a precipitação, feriados e domingos influenciam na massa de RSU coletada. Com os dados de 2014 a 2021 foi possível realizar os gráficos comparativos e os modelos matemáticos. Ao analisar os dados nota – se que os meses com menor massa de resíduos sólidos urbanos coletados foram os meses com pouca ou nenhuma precipitação. Porém o fato de ter uma maior precipitação ou uma menor precipitação não afetou a massa RSU coletada de alguns meses, de modo que meses com alta precipitação tinha uma menor massa coletada, e meses com baixa precipitação e uma maior massa coletada.

Com o modelo 1, que valida as variáveis explicativas, e o modelo 2, de predição, analisou se os fatores precipitação, feriados e domingos influenciam nas características físicas do resíduo, de modo que quanto maior a precipitação, maior a massa de resíduos coletados. O modelo 1, obteve um coeficiente de correlação de 0,73, de modo que existe uma alta correlação entre as variáveis escolhidas, precipitação, feriados e domingos com a massa de RSU coletadas, além do seu gráfico de predição, onde compara o real com o estimado, seguir o padrão do real, e possuir um desvio padrão de 353,37 ton. O modelo 2, apesar de possuir um coeficiente de correlação de 0,67, sendo menor que o modelo 1, resultou em uma predição perto do real, com um desvio padrão de 421, 71. Desse modo, a hipótese de que a precipitação, feriados e domingos influenciam na massa de resíduos coletada é comprovada pelo o modelo.

Para o modelo 1 e 2 possuir um coeficiente de correlação maior e um menor desvio padrão, é necessário inserir no modelo novas variáveis como renda, composição gravimétrica e população, pois os gráficos realizados mostram que em alguns anos e meses a precipitação não teve muita interferência na massa de resíduos coletadas, no gráfico do coeficiente de correlação alguns dados estavam distantes da linha pontilhada, assim a interferência da precipitação nesses meses foram poucos, sendo necessário o uso de mais variáveis para explicar esses dados . Assim é importante que novos estudos sejam realizados levando em consideração outros fatores que influenciam na massa de resíduos produzida.

Ao aprimorar o modelo inserindo mais variáveis, os resultados se tornam importantes para o dimensionamento da coleta, pois com o modelo 1 é possível determinar quais variáveis interferem na massa, e com o modelo 2 é possível estimar a massa que irá ser coletada no mês, assim facilitando o dimensionamento da coleta, tratamento e disposição final. Diante disso, a

ferramenta NIOTS consegue explicar o comportamento das variáveis que influenciam na massa de resíduos sólidos coletados.

6. REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 24 set. 2022.
- ALMEIDA, N. C. de. **Sistema inteligente para diagnóstico de patologias na laringe utilizando máquinas de vetor de suporte**. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- BLOOM, D. E. (2011). **7 Billion and Counting**. *Science*. v. 333, p. 562-569. In: <http://www.sciencemag.org>.
- BOAVENTURA, Laion Lima. **Gráficos de controle de aprendizagem dos processos: uma flexibilização de CEP com IA**. 2020.
- BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF. 2010.
- BRASIL. Lei nº. 14.026, de 15 de julho de 2020. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 11.445, de 05 de janeiro de 2007, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>> Acesso: 24 de Set. 2022.
- COELHO, H., 2000. **Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. 1ªed. Rio de Janeiro, FIOCRUZ.
- COMLURB, 2009. **Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro**. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ.
- DIAS, J. A.; FILHO, A. M. (2008). **Os resíduos sólidos e a responsabilidade ambiental pós-consumo**. Marília: edição dos autores, 100p. In: www.prsp.mpf.gov.br/.
- FILHO, G. T. C. **Avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade de Parintins/AM: desafios e oportunidades à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos-PNRS**.p.111, 2014.Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/>.

FOGLIATTO, F. S. **Estratégias para modelagem de dados multivariados na presença de correlação.** Gestão & Produção, v. 7, p. 17-28, 2000.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2015. **Manual de saneamento.** 4ªed. Brasília, Fundação Nacional de Saúde / Brasil.

GADELHA, A. A. B. **Estimativa de parâmetros geotécnicos de resíduos sólidos urbanos utilizando algoritmos de aprendizado de máquina.** 2021.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, 2001, **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**, Rio de Janeiro, RJ

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/>. Acesso em: 14 de novembro 2022.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos em São Paulo: desafios da sustentabilidade.** Estudos Avançados, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011.

JARDIM, Arnaldo et al (Org). **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.** São Paulo: Manole, 2012. p. 39 – 56.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. DE A. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 2003.

LIMA, M.Q.L (1995). **Lixo: tratamento e biorremediação.** São Paulo: Hemus, 265p.

LOBATO, K. C. D.; LIMA, J. P. **Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de mapeamento.** Engenharia Sanitária Ambiental, v. 15, n. 04, 2010.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Princípios da política nacional de resíduos sólidos.**

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N.P.; VALLE, F. T. **Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Revista de Administração Pública, v.52, n. 1 p. 24 – 51, fev. 2018

MASSUKADO, L. M., 2004, **Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares.** Dissertação de M.Sc., UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.

OLIVEIRA, S. **Gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) na microrregião serra de Botucatu/SO.** Revista Limpeza Pública da ABLP – São Paulo/SP – n. 47, 1998.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo et al. **Gestão integrada de resíduos sólidos.** Arnaldo et al (Org). **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.** São Paulo: Manole, 2012. p. 229 – 244.

PROSAB. GIRSU – **Gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos.** Org. Viviane Maria Zanta, V.M., FERREIRA, C.A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos.

RIBER, C., RODUSHKIN, I., SPLIID, H., et al., 2007, “**Method for fractional solidwaste sampling and chemical analysis**”, **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, v. 87, n. 5 (Abril), pp. 321-335.

ROCHA. S.M. da; ROCHA. R. R. de C.; LUSTOSA. K.B; **Política Brasileira de Resíduos Sólidos: Reflexões sobre a Geração de Resíduos e sua Gestão no Município de Palmas – TO**. Revista ESMAT. v. 13, n. 13. p. 29 – 42, dez. 2017.

SANTOS, C.E. (2019). **Seleção de parâmetros de máquinas de vetoresde suporte usando otimização multiobjetivo baseada em meta-heurísticas**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136 p.

SANTOS, T. V. **Análise das centrais de triagem de resíduos sólidos de São Paulo**.2014. 60f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Estadual de Campinas. Ciências Econômicas. 2014.

SCHALCH, Valdir. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Tese de Doutorado. Centro Universitário Anhanguera. 2002.

SILVA, C.S.S.; et.al. **Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**. R. Tecnol. Soc., Curitiba, v.16, n.41, p. 125-138, Ed. Especial. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/11815>. Acesso em: 03 de outubro de 2022.

SNIS - SECRETARIA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2021. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2020**. Brasília, MCIDADES.

SOARES. E.L.S.F. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenharia Civil, 2015.

STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. P. (2008). **Resíduos: como lidar com recursos naturais**. São Leopoldo: Oikos, 220p

TAVARES, J. C.L. **Caracterização dos residuos sólidos urbanos da cidade Maceió – AL**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Engenharia: Recursos Hídricos e Saneamento. 2008.

TEIXEIRA, LEVI LOPES et al. **Comparativo entre arima, redes neurais artificiais, máquinas de vetores suporte para regressão e combinação linear de previsões de vazões mensais no posto 266-itaipu**. Xxi simpep, 2014.

TEOBALDO NETO, A.; COLESSANTI, M. T. M. (2005). **Lixo: uma palavra, vários olhares**. In: **Simpósio Nacional sobre Geografia, Percepção e Cognição do Meio Ambiente**, 1. Londrina. Anais... Londrina: UEL, 2005, p. 1-16.

VAPNIK, V. N. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York: Springer - Verlag, 1995.

ANEXOS

ANEXO A

Dados utilizados no trabalho.

Ano	Mês	Domingo	Feriado	Precipitação (mm)	Massa de RSU (ton/mês)
2014	7	4	0	0	5871,98
2014	8	5	0	0	6111,26
2014	9	4	1	82	6214,28
2014	10	4	2	155,4	7473,56
2014	11	5	2	191,1	6678,57
2014	12	4	1	247,2	7279,53
2015	1	4	1	152,6	7016,05
2015	2	4	0	201,3	6220,09
2015	3	5	1	145,3	6664,73
2015	4	4	3	308	6779,15
2015	5	5	2	77,8	6427,28
2015	6	4	2	0	6141,7
2015	7	4	0	0	6022,08
2015	8	5	0	0	6267,68
2015	9	4	2	86,3	6516,27
2015	10	4	4	132,9	7255,25
2015	11	5	3	102,6	7066,36
2015	12	4	1	149,4	7687,13
2016	1	5	1	429,6	7400,32
2016	2	4	2	4,8	6723,77
2016	3	4	2	161,7	6980,24
2016	4	4	3	80,5	6349,77
2016	5	5	2	2,6	6173,22
2016	6	4	0	0	6111,63
2016	7	5	0	0	5532,51
2016	8	4	0	0	6234,83
2016	9	4	2	100,1	6334,58
2016	10	5	3	38	6372,19
2016	11	4	2	180,9	6415,48
2016	12	4	0	254,1	6715,18
2017	1	5	0	424,1	6691,11
2017	2	4	1	288,8	5960,28
2017	3	4	2	207,4	6654,02
2017	4	5	3	163,9	6171,45

2017	5	4	1	17,8	5205,73
2017	6	4	2	0	5768,75
2017	7	5	0	0	6215,3
2017	8	4	0	0	6625,12
2017	9	4	2	0	6411,97
2017	10	5	2	21,6	7215,97
2017	11	4	3	197,1	7511,37
2017	12	5	1	368,3	7881,2
2018	1	4	1	273,4	7344,69
2018	2	4	2	345,4	6966,34
2018	3	4	3	182	7316,01
2018	4	5	1	251,4	7273,28
2018	5	4	2	0	6458,8
2018	6	4	1	0	6184,43
2018	7	5	0	0	6226,7
2018	8	4	0	0	6661,3
2018	9	5	1	23,5	6279,9
2018	10	4	3	200,3	8490,15
2018	11	4	4	410,1	8279,99
2018	12	5	1	231,7	7732,74
2019	1	4	1	202,1	7653,95
2019	2	4	0	278,8	6936,8
2019	3	5	4	278,5	7415,88
2019	4	4	2	227,7	7369,34
2019	5	4	2	92	7012,44
2019	6	5	2	0	6356,79
2019	7	4	0	0	6736,25
2019	8	4	0	0	6909,77
2019	9	5	0	6,7	6595,81
2019	10	4	2	93,6	8585,56
2019	11	4	3	112,6	8052,72
2019	12	5	1	265,8	8087,31
2020	1	4	1	416,2	8067,24
2020	2	4	2	216,9	7898,68
2020	3	5	1	198,9	7928,21
2020	4	4	3	312,8	7210,74
2020	5	5	2	92,7	6912,91
2020	6	4	2	0	6921,04
2020	7	4	0	0	7050,25
2020	8	5	0	0	6976,44
2020	9	4	2	0	7037,32
2020	10	4	4	128,8	8179,51
2020	11	5	3	96	8328,14

2020	12	4	1	171,8	8560,52
2021	1	5	1	243	7.924
2021	2	4	2	408	7.563
2021	3	4	2	348	7.934
2021	4	4	4	199	7.176
2021	5	5	1	5	7.060
2021	6	4	0	-00	6.957
2021	7	4	0	-00	6.902
2021	8	5	0	-00	7.060
2021	9	4	2	9	7.130
2021	10	5	4	143	8.678
2021	11	4	3	463	9.600
2021	12	4	0	441	8.583