



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E MATERIAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Thiago Boimer Correia

Título do trabalho: Subtítulo (se houver)

Florianópolis
2023

Thiago Boimer Correia

Título do trabalho: Subtítulo (se houver)

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dachamir Hotza, Dr.

Coorientador: Prof. XXXXXX, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Thiago Boimer Correia

Título do trabalho: Subtítulo (se houver)

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia de Materiais” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Materiais.

Florianópolis, [dia] de [mês] de [ano].

Prof. Celso Peres Fernandes, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dachamir Hotza, Dr.
Orientador

Prof.(a) xxxx, Dr(a).
Avaliador(a)
Instituição xxxx

Prof.(a) xxxx, Dr(a).
Avaliador(a)
Instituição xxxx

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Inserir os agradecimentos aos colaboradores à execução do trabalho.

*“Texto da Epígrafe.
Citação relativa ao tema do trabalho.
É opcional. A epígrafe pode também aparecer
na abertura de cada seção ou capítulo.
Deve ser elaborada de acordo com a NBR 10520.”
(Autor da epígrafe, ano)*

RESUMO

No resumo são ressaltados o objetivo da pesquisa, o método utilizado, as discussões e os resultados com destaque apenas para os pontos principais. O resumo deve ser significativo, composto de uma sequência de frases concisas, afirmativas, e não de uma enumeração de tópicos. Não deve conter citações. Deve usar o verbo na voz ativa e na terceira pessoa do singular. O texto do resumo deve ser digitado, em um único bloco, sem espaço de parágrafo. O espaçamento entre linhas é simples e o tamanho da fonte é 12. Abaixo do resumo, informar as palavras-chave (palavras ou expressões significativas retiradas do texto) ou, termos retirados de thesaurus da área. Deve conter de 150 a 500 palavras. O resumo é elaborado de acordo com a NBR 6028.

Palavras-chave: Palavra-chave 1. Palavra-chave 2. Palavra-chave 3.

ABSTRACT

Resumo traduzido para outros idiomas, neste caso, inglês. Segue o formato do resumo feito na língua vernácula. As palavras-chave traduzidas, versão em língua estrangeira, são colocadas abaixo do texto precedidas pela expressão “Keywords”, separadas por ponto.

Keywords: Keyword 1. Keyword 2. Keyword 3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tratamento e Disposição Final de Resíduos em Santa Catarina (SC). . .	20
Figura 2 – Exemplo de construção do código de identificação de resíduo do IBAMA	24
Figura 3 – Valor da Transformação Industrial (VTI) por grupo da Indústria de Transformação em SC	25
Figura 4 – VTI por grupo da Indústria Extrativa em SC	25
Figura 5 – Janela de cadastro de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA/SC)	27
Figura 6 – Mapa interativo de Gestão de Resíduos Sólidos do Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR)+	29
Figura 7 – Esquema do projeto do aplicativo web	33
Figura 8 – Fluxo do usuário no app	34
Figura 9 – Fluxo do aplicativo - Conceito I	35
Figura 10 – Fluxo do Aplicativo - Conceito II	36
Figura 11 – Fluxograma simplificado do processo de fabricação de revestimento cerâmico	37
Figura 12 – Fluxograma da janela de aquisição com a adição do módulo de “Com- binação por fluxo”	38
Figura 13 – Histograma da geração de resíduos sólidos em SC (2020 e 2021)	40
Figura 14 – Geração de resíduos sólidos classificados por capítulo em SC (2020 e 2021)	41
Figura 15 – Mapa da geração de resíduos sólidos por município	43
Figura 16 – Destinação de resíduos sólidos por tecnologia	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a ABNT NBR 10004:2004	23
Quadro 2 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a CONAMA	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Amostra da estrutura de dados pós limpeza.	39
Tabela 2 – Amostra da estrutura de dados pós cruzamento.	40
Tabela 3 – Resíduos sólidos predominantes por capítulo	42
Tabela 4 – Geração de resíduos sólidos superior a 50 mil t por município	44
Tabela 5 – Classificação de Resíduos Sólidos por Capítulos do IBAMA	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes
API	Interface de Programação de Aplicação (Application Programming Interface)
CAPTCHA	Teste de Turing Público Completamente Automatizado para distinguir entre Computadores e Pessoas (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart)
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CSS	Folhas de Estilo em Cascata (Cascading Style Sheets)
CSV	Valores Separados por Vírgula (Comma-separated values)
CTF/APP	Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
HTML	Linguagem de Marcação de HiperTexto (Hyper Text Markup Language)
HTTP	Protocolo de Transferência de Hipertexto (HyperText Transfer Protocol)
IA	Inteligência Artificial
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA	Instituto do Meio Ambiente
IMA/SC	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
JSON	Objeto de Notação de Javascript (JavaScript Object Notation)
LLM	Large Language Model (Grande Modelo de Linguagem)
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OLUC	Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado
ONU	Organização das Nações Unidas
PDF	Documento de Formato Portátil (Portable Document Format)
PGRS	Plano de Gestão do dos Resíduos Sólidos
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAM	Memória de Acesso Aleatório (Random Access Memory)

RAPP	Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadas de Recursos Ambientais
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SC	Santa Catarina
SINIR	Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SNIS	Sistema Nacional de Saneamento Básico
SQL	Linguagem de Consulta Estruturada (Structured Query Language)
SSD	Unidade de Estado Sólido (Solid State Drive)
SSL	Secure Sockets Layer
UF	Unidade Federativa
URI	Identificador Uniforme de Recurso (Uniform Resource Identifier)
VTI	Valor da Transformação Industrial

LISTA DE SÍMBOLOS

t	Tonelada
g	Gramma
kg	Quilograma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	DEFINIÇÕES	19
2.1.1	Resíduos Sólidos Industriais	19
2.1.2	Direcionamento de resíduos sólidos industriais	19
2.1.2.1	Aterro	20
2.1.2.2	Tratamentos térmicos	20
2.1.2.3	Blendagem e coprocessamento	21
2.1.2.4	Compostagem	21
2.1.2.5	Descontaminação de lâmpadas	21
2.1.2.6	Fins Didáticos	21
2.1.2.7	Reciclagem	21
2.1.2.8	Recuperação Energética	21
2.1.2.9	Rerrefino	22
2.1.2.10	Tratamento de Efluentes	22
2.1.2.11	Uso Agrícola	22
2.2	CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	22
2.2.1	ABNT NBR 10004:2004	22
2.2.2	CONAMA	22
2.2.3	IBAMA	23
2.3	PRINCIPAIS ATIVIDADES INDUSTRIAIS DE SC	24
2.4	COLETA DE DADOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NO BRASIL	26
2.4.1	MTR	26
2.4.2	RAPP	27
2.4.3	Programa Nacional Lixão Zero	28
2.4.4	SINIR	28
2.5	ECONOMIA CIRCULAR	29
2.6	ESTADO DA ARTE	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	FONTES DE DADOS	31
3.1.1	MTR	31
3.1.2	IBGE	31
3.1.3	Portal de Dados Abertos	31

3.2	EXTRAÇÃO, PROCESSAMENTO, ARMAZENAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	31
3.3	DESENVOLVIMENTO WEB	32
4	DESENVOLVIMENTO	33
4.1	APLICATIVO WEB	33
4.1.1	Público-alvo	34
4.1.2	Conceito I	34
4.1.3	Conceito II	35
4.1.4	Métricas para a combinação (“match”)	38
4.1.5	Cálculo da pontuação	39
4.2	PROTÓTIPO	39
4.2.1	Limitações	39
4.2.2	Possíveis adições e melhorias	39
4.3	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS	39
4.3.1	Limpeza	39
4.3.2	Cruzamento	40
4.4	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	41
4.4.1	Geração	41
4.4.2	Destinação	44
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR	
	CAPÍTULOS DO IBAMA	50

1 INTRODUÇÃO

A discussão acerca do gerenciamento de resíduos sólidos adquiriu potência em meados de 1970, acompanhando os tópicos das conferências como na de Estocolmo (1972), Tbilisi (1977) e ECO 92 (1992). De 1993 a 2013 a produção científica no mundo relacionada ao tópico triplicou e seguiu duplicando nos anos de 2003 a 2013 (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015). Após 30 anos, podemos ver nas bases de dados de produções científicas que essa tendência continua.

Ainda que amplo seja o estudo e debate acerca das questões ambientais, observa-se que na visão popular os resíduos ainda são associados a uma imagem negativa — restos, sujeira, incômodo —, o que pode dificultar a criação de estratégias pelo governo para uma destinação sustentável desses resíduos (SANTIAGO; PUGLIESI, 2016).

No Brasil, seguindo as legislações europeias 1999/31/CE (EUROPA, 1999) e 2008/98/EC (EUROPA, 2008), foi publicada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que conforme descrito no Art 1º:

Esta lei 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. (BRASIL, 2010, Art. 1º).

Em 2022, o DECRETO Nº 10.936 (BRASIL, 2022) avançou nas definições de responsabilidades compartilhadas dos envolvidos no ciclo de vida do produto — fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos — mencionando majoritariamente Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

No que tange aos Resíduos Sólidos Industriais (RSI), observa-se que apesar da existência de bases de dados descentralizadas pertinentes à geração dos resíduos, ainda carece de um fluxo claro, objetivo e unificado para lidar com a problemática.

Com isso, entende-se a importância do desenvolvimento de alternativas para a questão do direcionamento dos RSIs, e na tentativa de preencher uma lacuna na cadeia produtiva baseada no descarte inconsciente e irresponsável, este trabalho propõe uma aplicação que reúna dados disponíveis sobre RSIs a fim de conectar geradores de resíduos e potenciais consumidores de resíduos no âmbito industrial. Isso segue as diretrizes do PNRS sobre logística reversa e economia circular.

Como SC tem sido destaque na destinação de resíduos sólidos (CREA-SC, 2013), considerou-se válido o foco do trabalho para o estado. Contou-se com a ajuda do IMA/SC para obtenção dos dados de MTR em SC para o desenvolvimento do projeto.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

1.1.1 Objetivo Geral

A proposta deste trabalho está vinculada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), em particular com o ODS 9 — Indústria Inovação e Infraestrutura. Entrando no escopo deste projeto os itens 9.4, 9.5 e 9.c (ONU, 2023), que dizem a respeito a:

9.4 Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades.

9.5 Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento

9.c Aumentar significativamente o acesso às tecnologias de informação e comunicação e se empenhar para oferecer acesso universal e a preços acessíveis à internet nos países menos desenvolvidos, até 2020

1.1.2 Objetivos Específicos

Particularmente, neste trabalho pretende-se alcançar os seguintes objetivos:

1. Levantar a viabilidade e/ou potencial de um produto de software destinado ao redirecionamento de RSIs em SC;
2. Coletar, analisar e tratar os dados de geração de resíduos sólidos de relatórios de MTR providos pelo IMA/SC;
3. Propor conceitos de um sistema que conecte potenciais consumidores de RSI aos respectivos geradores em SC;
4. Desenvolver um protótipo de aplicativo web com mínimas funcionalidades utilizando tecnologias de código aberto;
5. Promover uma reflexão sobre o direcionamento de resíduos sólidos no estado e a reinserção dos mesmos na cadeia produtiva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÕES

No intuito de esclarecer termos e conceitos utilizados neste trabalho, dedica-se esta seção.

2.1.1 Resíduos Sólidos Industriais

De acordo com o PNRS, resíduos sólidos são todo:

"Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, 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 isto soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010, Art. 3º, item XVI)"

No contexto deste trabalho, considera-se em especial RSIs, conforme mencionado no website do SINIR como: resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais (SINIR, 2023).

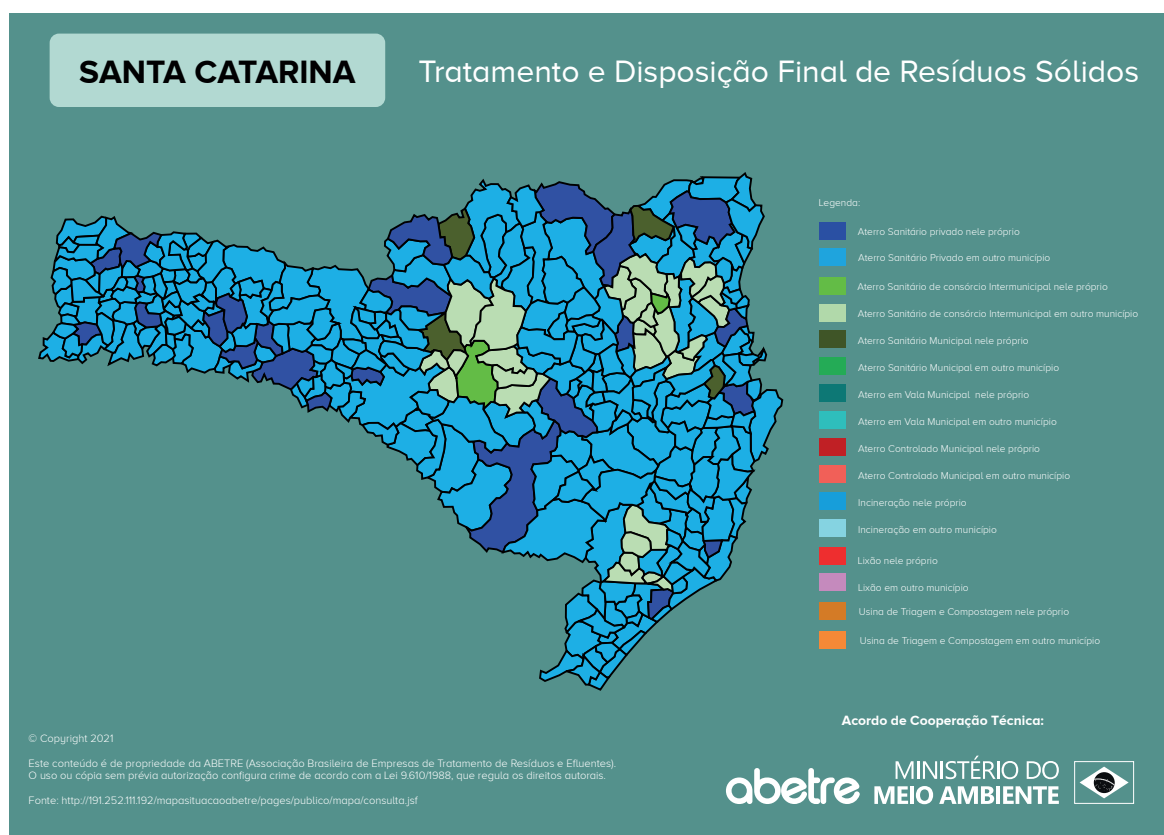
2.1.2 Direcionamento de resíduos sólidos industriais

Em consonância com a seção V do PNRS que responsabiliza os geradores de resíduos enquadrados nas alíneas “e”, “f”, “g” e “k” do inciso I do art. 13 — sendo “f” relativa aos geradores de RSIs — a elaborarem o Plano de Gestão do dos Resíduos Sólidos (PGRS), o qual aponta e descreve as ações realizadas para minimizar a geração de resíduos na fonte e procedimentos relacionados à movimentação dos resíduos até que cheguem à destinação ambientalmente adequada.

A Figura 1 ilustra as principais destinações finais de resíduos em SC por município. É possível observar a ausência de lixões em todo estado, bem como a vasta quantidade de aterros sanitários, ambos indicativos de uma boa condução no que tange a descarte de resíduos.

Apesar de não termos lixões no estado, entende-se que devem ser traçadas alternativas que reincorporem parte desses resíduos na cadeia produtiva. Nas próximas seções, descrevem-se, além das mencionadas na Figura 1, outras tecnologias de destinação dos resíduos sólidos para conhecimento.

Figura 1 – Tratamento e Disposição Final de Resíduos em SC.



Fonte: ABETRE

2.1.2.1 Aterro

Uma das destinações mais comuns no país, são áreas de armazenamento de resíduos (GRASSELLI, 2023):

- **Lixão:** a céu aberto;
- **Aterros Controlados:** em locais sem impermeabilização do solo;
- **Aterros Sanitários:** em espaço com engenharia dedicada à maior compactação dos resíduos e menor dano possível ao meio ambiente;

2.1.2.2 Tratamentos térmicos

Bastante utilizados no ramo da saúde (GRASSELLI, 2023):

- **Autoclave:** consiste na desinfecção dos resíduos através do aquecimento a uma temperatura elevada em contato com o vapor de água superaquecido;
- **Incineração:** queima dos resíduos a temperaturas superiores a 1000 °C numa atmosfera com oxigênio;

- **Microondas:** exposição dos resíduos à radiação eletromagnética de alta frequência;
- **Pirólise:** realiza-se o aquecimento dos materiais acima de 1000 °C numa atmosfera sem oxigênio;

2.1.2.3 Blendagem e coprocessamento

A **blendagem** é um processo de mistura de resíduos (*"blends"*) a fim de gerar um produto alternativo ou matéria prima. Geralmente são misturados resíduos específicos para substituir ou reduzir o uso de uma matéria prima, barateando o processo.

O **coprocessamento** utiliza os *"blends"* de alto poder calorífico para destruição térmica dos resíduos em fornos de cimento resultando numa economia energética e de matéria prima (INTERAÇÃO, 2023)

2.1.2.4 Compostagem

Trata-se de um método aeróbio de reciclagem e tratamento de resíduos orgânicos que busca reproduzir as condições observadas no processo natural de degradação da matéria orgânica (GRASSELLI, 2023).

2.1.2.5 Descontaminação de lâmpadas

Está relacionado à logística reversa das lâmpadas que contém mercúrio em sua composição. Consiste normalmente em pontos de entrega em estabelecimentos comerciais do país. As lampadas coletadas são transportadas e destinadas a recicladores homologados (RECICLUS, 2023).

2.1.2.6 Fins Didáticos

Trata da disposição de resíduos para utilização em unidades organizacionais. Por se tratar de uma movimentação de bem móvel entre organizações e órgãos da União fica regido pelo DECRETO Nº 10.340, 2020 (BRASIL, 2020)

2.1.2.7 Reciclagem

De acordo com a PNRS, reciclagem é o “processo de transformação dos resíduos sólidos que não seriam aproveitados, com mudanças em seus estados físico, físico-químico ou biológico, de modo a atribuir características ao resíduo para que ele se torne novamente matéria-prima ou novos produtos [...]” (BRASIL, 2010, Art 3º, item XIV).

2.1.2.8 Recuperação Energética

A recuperação energética é um processo que utiliza a energia contida nos resíduos sólidos para gerar eletricidade, calor ou combustíveis alternativos através da digestão

anaeróbia, recuperação de gás de aterro sanitário, incineração e coprocessamento (ABREN, 2021)

2.1.2.9 Rerrefino

É o processo relacionado a recolhimento, coleta e destinação final de Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC) de modo a aproveitar ao máximo seus constituintes e não causar danos ambientais (GRASSELLI, 2023).

2.1.2.10 Tratamento de Efluentes

Diz respeito à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que são: “unidades operacionais do sistema de esgotamento sanitário que através de processos físicos, químicos ou biológicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao ambiente o produto final, efluente tratado, em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental.” (CASAN, 2023)

2.1.2.11 Uso Agrícola

É pertinente à utilização de resíduos como fertilizantes, sejam de origem agropecuária, urbana ou industrial. O uso de resíduos como fertilizantes atende requisitos da economia circular, economia verde e resíduo zero. (GRASSELLI, 2023)

2.2 CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

A classificação de resíduos sólidos industriais é um processo fundamental que visa identificar suas características, riscos potenciais e formas apropriadas de tratamento e destinação.

2.2.1 ABNT NBR 10004:2004

Para efeitos da norma ABNT NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos — Classificação (ABNT, 2004), os resíduos são classificados com base no seu risco ao meio ambiente e à saúde. Os códigos possuem uma letra e três números. A classificação pode ser encontrada no Quadro 1

2.2.2 CONAMA

A RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, 2005 (CONAMA, 2005) com vistas a preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente, dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências, como a classificação dos resíduos em cinco grupos (A, B, C, D e E), conforme Quadro 2

Quadro 1 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a ABNT NBR 10004:2004

Resíduos classe I — Perigosos	São aqueles que em detrimento das características físicas, químicas e biológicas apresentam riscos a saúde e meio ambiente.
Resíduos classe II — Não perigosos	São resíduos que não apresentam periculosidade aparente, exemplos são: sucatas, madeira, papel e papelão, borracha, areia de fundição, bagaço de cana.
Resíduos classe II A — Não inertes	São os resíduos que não se encaixam na classe II B.
Resíduos classe II B — Inertes	Quaisquer resíduos que, segundo normas auxiliares (ABNT NBR 10007 e ABNT NBR 10006) não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados e concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: ABNT (2004).

Quadro 2 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a CONAMA

I — Grupo A	Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção.
II — Grupo B	Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamaabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade
III — Grupo C	Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.
IV — Grupo D	Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.
V — Grupo E	Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares.

Fonte: CONAMA (2005).

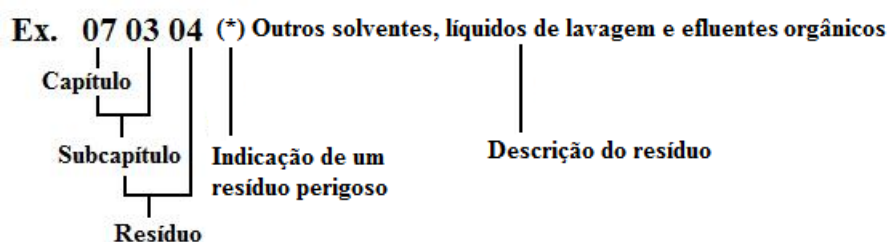
2.2.3 IBAMA

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) por meio da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, 2012 (IBAMA, 2012) define que “A classificação de resíduos sólidos 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.”.

Trata-se da classificação mais completa no Brasil até o momento de publicação desse trabalho, é também a referência para o MTR. A estrutura segue um padrão de capítulo, subcapítulo, indicador de periculosidade e resíduo, consolidando no fim o código do resíduo, conforme Figura 2. Atualmente, existe um total de 878 códigos classificando os resíduos sólidos; existe uma lista disponível no **site do IBAMA** nos formatos **.xls** e **.doc**

Figura 2 – Exemplo de construção do código de identificação de resíduo do IBAMA



Fonte: IBAMA

2.3 PRINCIPAIS ATIVIDADES INDUSTRIAIS DE SC

Para se obter um panorama sobre as atividades industriais que mais contribuem economicamente para o estado foi utilizado a Pesquisa Industrial Anual (PIA) - Empresa, o qual é elaborado uma vez por ano pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e investiga informações sobre as características estruturais básicas do segmento empresarial da atividade industrial no País, tendo como unidade de investigação a empresa industrial formalmente constituída cuja principal fonte de receita seja a atividade industrial (IBGE, 2021).

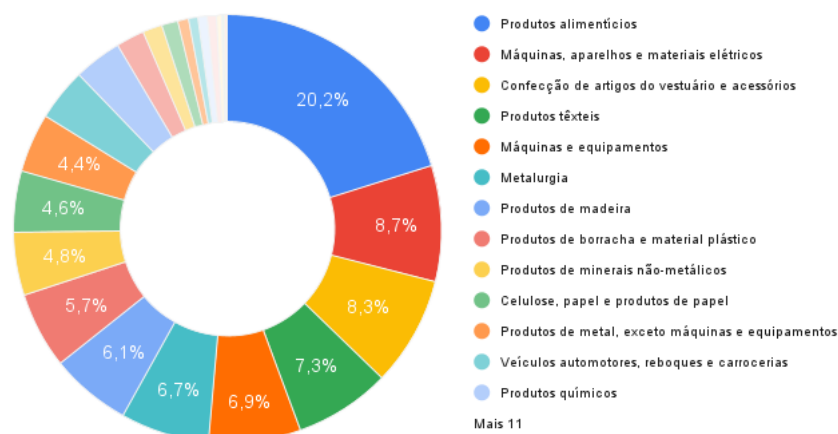
A pesquisa realiza o levantamento de diversas informações econômico-financeiras, como: receitas bruta e líquida; valor da transformação industrial; número de empresas e de unidades locais; pessoal ocupado; gastos com pessoal; custos de operação industrial, entre outros aspectos.

Para os fins deste tópico, considerou-se dados gerais de empresas industriais com 5 ou mais pessoas ocupadas em SC em 2021, e no momento o PIA abrange apenas os Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) que compreendem as Indústrias Extrativas e Indústrias de Transformação.

Na Figura 3 é possível observar a predominância da indústria de fabricação de “Produtos alimentícios”, que em conjunto com as indústrias de “Máquinas, aparelhos e materiais elétricos”, “Confecção de artigos de vestuário e acessórios”, “Produtos têxteis”, “Máquinas e Equipamentos” e “Metalurgia” compõem mais de 60% do VTI das Indústrias

de Transformação, o restante se divide em diversos outros setores, com destaque para os pontuados no gráfico.

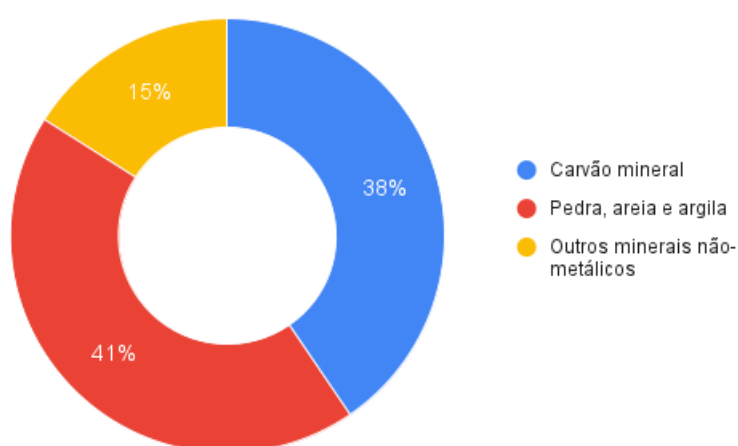
Figura 3 – VTI por grupo da Indústria de Transformação em SC



Fonte: Adaptado das tabelas do IBGE (2021)

A Indústria Extrativa divide aproximadamente 1,5% do VTI com a Indústria de Transformação, sendo marjoritariamente composta pelas indústrias de “Carvão Mineral”, “Pedra, areia e argila” e “Outros minerais não-metálicos”, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – VTI por grupo da Indústria Extrativa em SC



Fonte: Adaptado das tabelas do IBGE (2021)

2.4 COLETA DE DADOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NO BRASIL

Na Era da Informação, já somos uma sociedade movida a dados, onde as tomadas de decisões são fundamentadas em evidências e informações coletadas por meio de análises e processamento de uma grande quantidade de dados (Big Data) (CASTELLS; MANUEL, 2010).

É notável que uma boa gestão de dados permite que tenhamos um melhor entendimento dos processos, e diante disso, reconhece-se a importância da coleta de dados sobre os resíduos sólidos no país para criação de políticas, práticas e ações que promovam o desenvolvimento sustentável, proteção do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida da população, sendo um fator imprescindível nos dias atuais na tomada de decisão orientada a dados.

No Brasil, tem-se conhecimento de três principais fontes de dados sobre a geração e destinação de resíduos sólidos, estas são abordadas nas subseções.

2.4.1 MTR

Instituído pela portaria Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020 (MMA, 2020), o MTR é uma ferramenta de gestão e documento de declaração nacional de implantação e operacionalização do PGRS; a portaria dispõe que:

A utilização do MTR é obrigatória em todo o território nacional, para todos os geradores de resíduos sujeitos à elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, conforme disposto no art. 20 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, como ferramenta online capaz de rastrear a massa de resíduos, controlando a geração, armazenamento temporário, transporte e destinação dos resíduos sólidos no Brasil. (MMA, 2020, Art. 2º)

É base mais completa em nível de informações de rastreamento de resíduos sólidos no âmbito nacional, e utiliza a lista de códigos de resíduos sólidos do IBAMA para identificação dos resíduos.

O sistema é englobado ao SINIR e requer um cadastro para que os envolvidos possam publicar o MTR, sendo possível cadastrar tanto com o Cadastro de Pessoa Física (CPF) quanto com o Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ). Como uma prática estadual estão sendo incorporados ao sistema do Instituto do Meio Ambiente (IMA) de cada Unidade Federativa (UF), requerindo também um cadastro para prosseguir. Na Figura 5, ilustra-se a aba de cadastro de manifesto no **site de MTR** do IMA/SC.

Para efeitos deste trabalho, foram feitas buscas pelos dados nas plataformas de dados abertos do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), IBAMA, IMA/SC e do Governo Federal, mas infelizmente os dados não estão acessíveis publicamente até o momento da publicação deste trabalho. Fez-se necessário contactar o IMA/SC para solicitação dos dados.

Figura 5 – Janela de cadastro de MTR do IMA/SC

Manifesto de Transporte de Resíduos e Rejeitos - MTR

* Campos de preenchimento obrigatório

Armazenamento Temporário

* Utilizará Armazenamento Temporário?: ☐ Sim ☒ Não

Identificação dos Resíduos

[Inserir Resíduo](#)

Código IBAMA e Denominação	Estado Físico	Classe	Acondi.	Qtd.	Unidade	Tecnologia	Número ONU	Classe Risco	Nome para Embalagem	Grupo de Embalagem	Excluir

Identificação do Gerador

Nome/Razão Social: Testando CPF/CNPJ: 099.161.399-47 * Data Emissão: 25/11/2023

Telefone: Fax/Tel:

* Resp. Emissão: * Cargo:

Identificação do Transportador

* Entrar com: ☒ CNPJ ☐ CPF

* CNPJ: Razão Social: Data Transporte:

Endereço: n°: Telefone:

Estado: Seleccione Município: Seleccione o Estado Fax/Tel:

Motorista: Placa Veículo:

Identificação do Destinatário

* Entrar com: ☒ CNPJ ☐ CPF

* CNPJ: Razão Social:

Endereço: n°: Telefone:

Estado: Seleccione Município: Seleccione o Estado Fax/Tel:

Observações:

[Salvar](#)

Fonte: Captura de tela gerada pelo Autor (2023)

2.4.2 RAPP

O Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP) faz parte do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (CTF/APP), no qual todas pessoas jurídicas cadastradas, isolada ou cumulativamente, nas atividades constantes dos da Lei 6.938/1981 para as quais é obrigatório o preenchimento do formulário do RAPP, conforme exposto nos Anexos I a XXVI da Instrução Normativa IBAMA nº06/2014.

O relatório apresenta a relação de geradores de resíduos sólidos por Município/UF e por atividade cadastrada, descrição do resíduo gerado, quantidade, ano de geração e classificação de periculosidade. É a base mais completa no que diz respeito à quantidade de dados, contudo a classificação de resíduos é bastante ampla, por ex.: “Resíduos domiciliares”, “Resíduos Industriais”, “Resíduos da Construção Civil”.

Os dados estão acessíveis publicamente na plataforma de dados abertos do **IBAMA** e também na do **Governo Federal**.

2.4.3 Programa Nacional Lixão Zero

O Programa Nacional Lixão Zero é uma iniciativa da Secretaria de Qualidade Ambiental para implementar a PNRS, integrando-se à Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana. O objetivo principal é apoiar estados e municípios na gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos, com ênfase na disposição final ambientalmente correta. (MMA, 2019)

O programa dispõe **painéis interativos no site** que permitem a visualização de mapas, gráficos e indicadores relacionados à gestão de resíduos sólidos urbanos e logística reversa. No que tange aos dados, trata-se de uma base bastante completa em termos de informações, identificação dos resíduos e quantidade de dados; já utiliza os códigos de resíduos sólidos do IBAMA.

2.4.4 SINIR

O SINIR é um instrumento da PNRS sob a responsabilidade do Governo Federal, por meio do MMA. Com objetivo de unificar os dados sobre resíduos sólidos provenientes de diversas fontes, como o MTR, RAPP, Sistema Nacional de Saneamento Básico (SNIS), IBGE. No intuito de criar uma visualização integrada dessas bases o SINIR+ compõe uma plataforma tecnológica para apoio à formulação de políticas públicas, em nível nacional, estadual e municipal, permitindo a gestão continuada de resíduos sólidos, além da criação de estratégias e oportunidades de negócios (SINIR, 2023).

A plataforma é composta de mapas, painéis e relatórios que sistematizam os dados das fontes envolvidas e disponibilizam estatísticas e indicadores referentes à gestão de resíduos sólidos no Brasil. Apesar da plataforma do SINIR+ integrar os dados em mapas e relatórios, e conforme mencionado no site que “[...] Professores e estudantes podem navegar em busca de informações gerais sobre os territórios em estudo, comparando regiões e entendendo os diferentes modelos de gestão empregados [...]” não foram encontrados arquivos de dados abertos em formatos que possibilitam uma análise mais específica da situação, por exemplo em Valores Separados por Vírgula (Comma-separated values) (CSV) ou Objeto de Notação de Javascript (JavaScript Object Notation) (JSON).

A Figura 6 ilustra a visualização de mapa interativo disponibilizada pelo SINIR+ que permite a aplicação de camadas sob o mapa, permitindo visualizar correlações entre a geração/destinação de resíduos e infraestrutura urbana, por exemplo.

Figura 6 – Mapa interativo de Gestão de Resíduos Sólidos do SINIR+



Fonte: Captura de tela gerada pelo Autor (2023)

2.5 ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular é um conceito que visa transformar o modelo econômico tradicional linear, baseado na extração, produção, consumo e descarte, em um modelo mais sustentável, que permita repensar as práticas econômicas da sociedade atual e que se inspira no funcionamento da própria Natureza (LEITÃO, 2015). Neste quadro de desenvolvimento, os produtos possuem um ciclo fechado, protegendo e provendo ao meio ambiente, enquanto trabalha em paralelo com a intenção de compra e valor de mercado.

Neste cenário, englobando o pensamento de berço-a-berço (*“Cradle to Cradle”*) (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2009), há a oportunidade de fomentar o surgimento de novas dinâmicas entre as empresas, que passam de geradoras de resíduos numa cadeia produtiva, para consumidoras e fornecedoras de materiais num ciclo produtivo.

2.6 ESTADO DA ARTE

No contexto do gerenciamento de resíduos, existem muitos produtos surgindo para sanar uma lacuna no mercado e auxiliar empresas a melhorar a gestão da informação. Podemos citar os sistemas de gerenciamento **“meuResíduo”** e **“Resitrack”**, que com propostas bastante semelhantes permitem a unificação do controle de resíduos em um só lugar, substituindo as plataformas do Governo por uma ferramenta mais completa, que automatiza todo o processo de gestão da geração, armazenamento, transporte e destinação integrando com o sistema de MTR.

No que diz respeito a uma plataforma de reinserção ou redirecionamento de resíduos

no ciclo produtivo, podemos mencionar a “**Cataki**”, “**Reciclaê**” e “**Coleta Verde**”, todos conectando a pessoas ou empresas geradoras a indústrias de reciclagem associadas. Ainda nesse âmbito, podemos mencionar a startup “**urupê**”, que com uma proposta de gestão e consultoria realiza todo o processo relacionado a resíduos, visando garantir o maior aproveitamento dos resíduos.

Outra proposta, é a “**bubuyog**”, automeada “*Tinder do Aço*”, que com uma plataforma estilo “*marketplace*” auxilia as indústrias do ramo de aço a venderem produtos que, por algum motivo, ficaram parados nos estoques.

3 METODOLOGIA

3.1 FONTES DE DADOS

Para este trabalho foram utilizados marjoritariamente dados acessíveis publicamente, com exceção aos dados de MTR, que foi necessário solicitar ao IMA/SC

3.1.1 MTR

Decidiu-se utilizar a base de MTR, pois se trata do banco mais completo em termos de informações, além de que se entende que a mesma será o futuro do rastreamento de resíduos sólidos no país.

Os dados de geração de resíduos sólidos em SC de 2020 a 2021 foram extraídos de relatórios em Documento de Formato Portátil (Portable Document Format) (PDF) fornecidos pelo IMA/SC. Infelizmente os dados foram gerados de maneira agrupada, isto é, no total dos dois anos.

3.1.2 IBGE

Com o objetivo de obter os dados relativos a nome de município e coordenadas geográficas foram utilizados os dados abertos mais recentes (2023) de municípios e de malhas geográficas do IBGE. Ambos disponíveis na **Interface de Programação de Aplicação (Application Programming Interface) (API) de serviço de dados** do instituto.

3.1.3 Portal de Dados Abertos

Para extrair informações relativas a endereço, situação cadastral, CNAE e telefone das empresas foram utilizados os dados mais recentes (2022) de CNPJ disponíveis no **Portal de Dados Abertos do Governo Federal**.

3.2 EXTRAÇÃO, PROCESSAMENTO, ARMAZENAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

A extração dos dados dos relatórios de MTR gerados pelo IMA/SC foi feita utilizando a linguagem de programação **Python**. Foram 13 relatórios contendo no total 294 páginas, das quais os dados foram extraídos utilizando as bibliotecas **tabula** e **Fitz-PyMuPDF**.

Os dados de municípios e coordenadas geográficas foram extraídos através de requisições Protocolo de Transferência de Hipertexto (HyperText Transfer Protocol) (HTTP) direcionadas aos Identificador Uniforme de Recurso (Uniform Resource Identifier) (URI) das APIs disponibilizadas pelo **API de serviço de dados** do IBGE utilizando a biblioteca **requests**.

Já a extração dos dados de CNPJ, devido a oferta desses dados serem escondidos atrás de Teste de Turing Público Completamente Automatizado para distinguir entre Computadores e Pessoas (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) (CAPTCHA) ou segregados em arquivos CSV, torna-se bastante onerosa a consulta e carregamento dos dados, por isso foi utilizada a API **MinhaReceita**, que realizou a união de todos os arquivos e os disponibilizou de maneira acessível e gratuita através de requisições HTTP; possibilitou-se então, utilizar a biblioteca **requests** para requisitar ao URI.

Todo processamento dos dados foi feito em máquina pessoal com Processador Intel I7 (8 núcleos), 16GB de Memória de Acesso Aleatório (Random Access Memory) (RAM) e disco Unidade de Estado Sólido (Solid State Drive) (SSD); não foi necessária a utilização de *frameworks* de processamento de dados.

O armazenamento foi feito em máquina virtual disponível em nuvem (*Cloud Computing*) utilizando o banco de dados estruturado **PostgreSQL**.

A limpeza e análise dos dados foi feita utilizando a biblioteca **Pandas** e Linguagem de Consulta Estruturada (Structured Query Language) (SQL).

3.3 DESENVOLVIMENTO WEB

O desenvolvimento do aplicativo web foi feito utilizando **Python** com o *framework* **Django** para a lógica de servidor (“*back-end*”) e Linguagem de Marcação de HiperTexto (Hyper Text Markup Language) (HTML), Folhas de Estilo em Cascata (Cascading Style Sheets) (CSS) junto à biblioteca **HTMX** para a interface gráfica (“*front-end*”).

A plataforma foi hospedada em servidor na nuvem numa máquina de 4GB de RAM, 80 GB de SSD e processador Intel com 2 núcleos virtuais. A provedora escolhida foi a **DigitalOcean**, motivando-se pelo custo fixo e crédito estudantil de 200 dólares via **GitHub Pro (benefício cedido a estudantes da UFSC)**, suficiente para manter a máquina ligada por cerca de 6 meses.

Também foram utilizadas as melhores práticas de versionamento de código com **Git**, containerização com **Docker**, balanceamento de carga e proxy com **NGINX** e certificação Secure Sockets Layer (SSL). Todas tecnologias gratuitas.

A previsão é que o website esteja online até Abril de 2024 no domínio **https://residuose.tech/**.

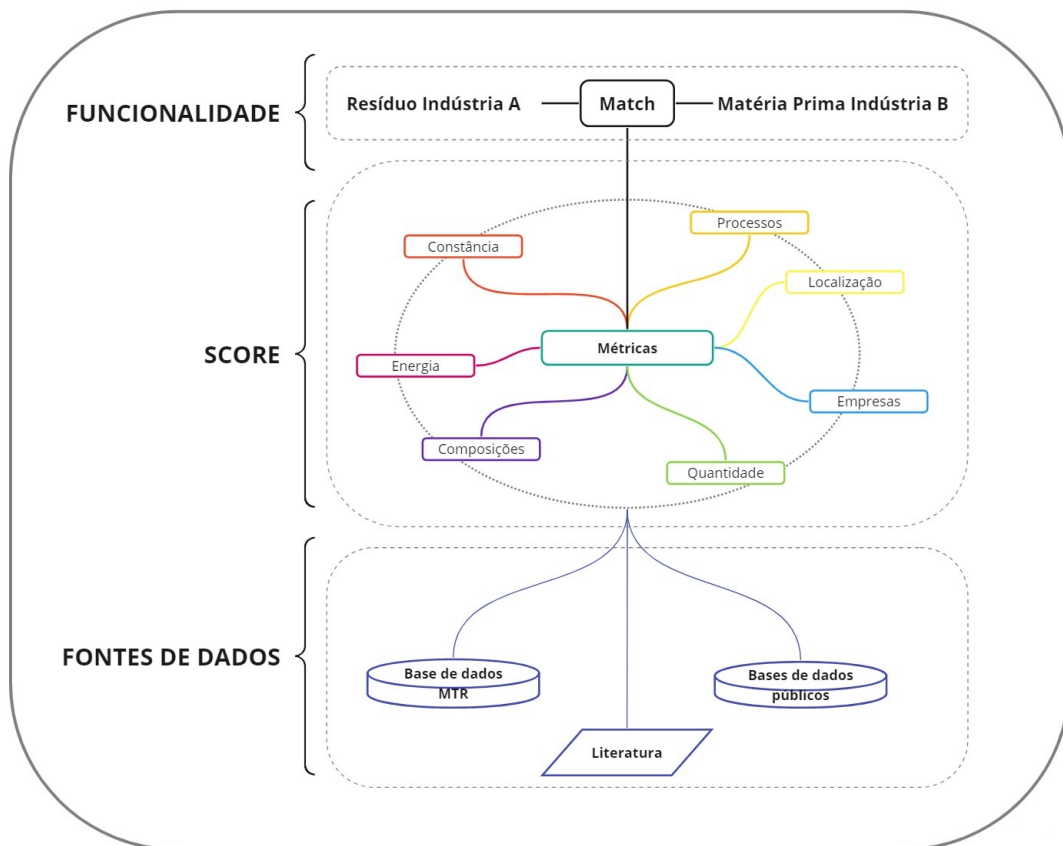
4 DESENVOLVIMENTO

4.1 APLICATIVO WEB

O sistema do aplicativo tem como essência três partes, comentadas abaixo e ilustradas na Figura 7.

- **Funcionalidade:** a função básica do aplicativo é possibilitar que uma **Empresa B**, consumidora de resíduos (matéria-prima), localize uma **Empresa A**, geradora de resíduos, afim de que haja, de alguma forma, uma comuta entre as partes;
- **Pontuação (Score):** para alcançar a funcionalidade é necessário definir métricas que decidam quando uma **Empresa A** é melhor candidata a fornecer resíduos do que uma **Empresa C**. Essas métricas são consolidadas em uma pontuação ou score;
- **Fontes de Dados:** para obtenção das métricas, necessitam-se de bases de dados com a capacidade de fornecer os dados que se necessitam de forma prática, confiável, com facilidade de manuseio e baixo custo.

Figura 7 – Esquema do projeto do aplicativo web

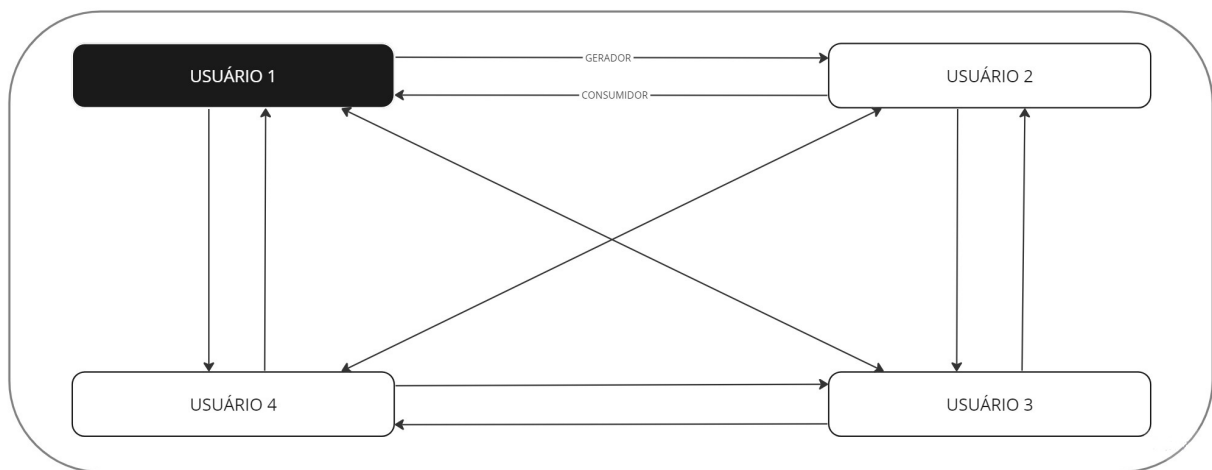


As fontes de dados foram citadas na Seção 3.1 e neste capítulo na Seção 4.3. A funcionalidade (Conceito) e as métricas serão mencionadas nas seções a seguir.

4.1.1 Público-alvo

Com esse aplicativo, tem-se objetivo de alcançar tanto potenciais consumidores de matéria-prima quanto geradores de resíduo, uma vez que se entende que não existe apenas geradores ou consumidores numa economia circular. Esta dinâmica está representada na Figura 8, onde fixado um Usuário 1, este pode atuar como gerador para X Usuários ou consumidor de X Usuários.

Figura 8 – Fluxo do usuário no app



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.1.2 Conceito I

Visando amostrar a funcionalidade básica do sistema, esse foi o conceito prototipado e disponibilizado para teste, servindo de base também para o Conceito II. Nesse sentido, o aplicativo é composto por:

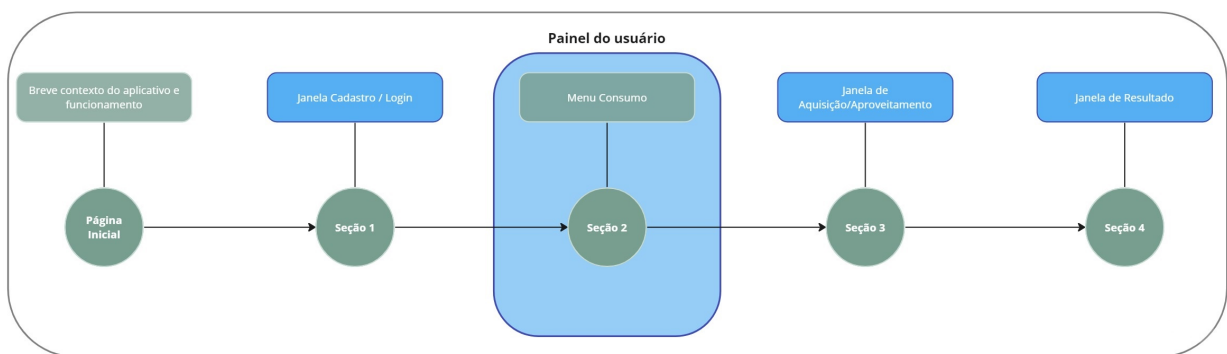
- **Página Inicial:** é a página de boas-vindas, deve conter uma breve explicação do funcionamento e contexto do aplicativo e ter uma estética moderna e atrativa;
- **Janela de Cadastro/Entrada:** entende-se necessário o cadastro, por mais simples que seja, para que se tenha estatísticas de uso do site. Os componentes básicos do cadastro são o e-mail e a senha;
- **Janela de Aquisição/Aproveitamento:** com o cadastro, o usuário é direcionado à um painel com um menu que represente Consumo, nesta opção encontra-se um

módulo “Localizador de Resíduo”. Nessa função está a janela de aquisição ou aproveitamento de resíduos que contém campos em forma de formulário que irão compor o score para a combinação do usuário com outras empresas, neste caso, o Capítulo, Subcapítulo e Código do IBAMA, o Município do usuário/empresa e a Quantidade de resíduo desejada;

- **Janela de resultado** após envio do formulário, segue-se para a janela de resultados, que apresenta uma classificação (“*ranking*”), em forma de lista, da combinação mais recomendada para a menos recomendada com base na pontuação.

Na Figura 9 é possível visualizar os itens mencionados na forma de fluxograma, contudo vale ressaltar que se trata de uma visão genérica e pode diferir do protótipo existente.

Figura 9 – Fluxo do aplicativo - Conceito I



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

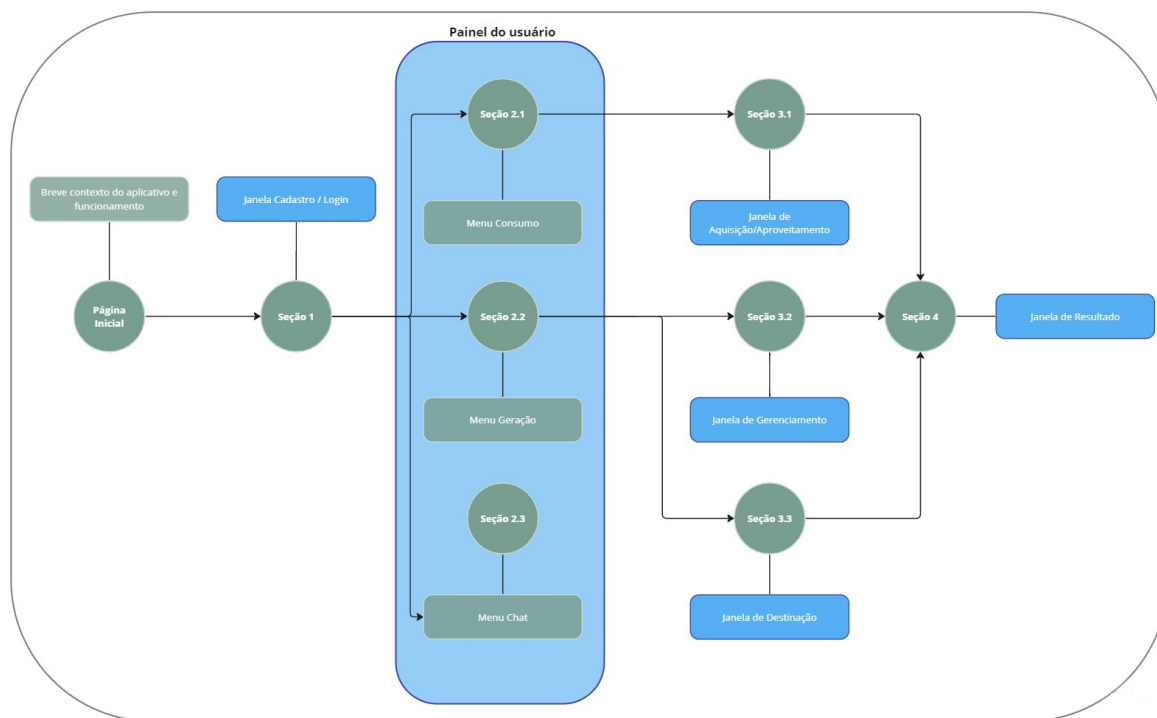
4.1.3 Conceito II

Numa versão mais completa do aplicativo, adiciona-se ao Conceito I, os menus Geração e Chat, além disso, propõe-se uma abordagem para a janela de aquisição que abrange também usuários sem conhecimento prévio do resíduo, mas que entendem bem as etapas dos processos dentro da indústria. Na Figura 10 está ilustrado em formato de fluxograma as adições ao Conceito I.

Sabendo que a comunicação é essencial para qualquer comuta entre os usuários, adiciona-se o recurso de **Chat**, a qual facilitaria o contato entre empresas geradoras e consumidoras cadastradas. Nesse caminho, entende-se que o aplicativo deixa de se voltar apenas ao consumo, mas também à geração, e em vista disso é adicionado o menu **Geração**, o qual abarca as janelas de **Gerenciamento** e **Destinação**, a primeira possibilitaria a empresa gerenciar os resíduos sólidos, organizando as etapas de geração, armazenamento,

transporte e destinação; seria possível também automatizar a geração de MTRs através de integrações por API, como a disponibilizada pelo CETESB (2021); a segunda janela, utiliza-se pelo usuário que deseja destinar ou ofertar o resíduo para outra empresa, seguindo a mesma dinâmica do menu de consumo

Figura 10 – Fluxo do Aplicativo - Conceito II



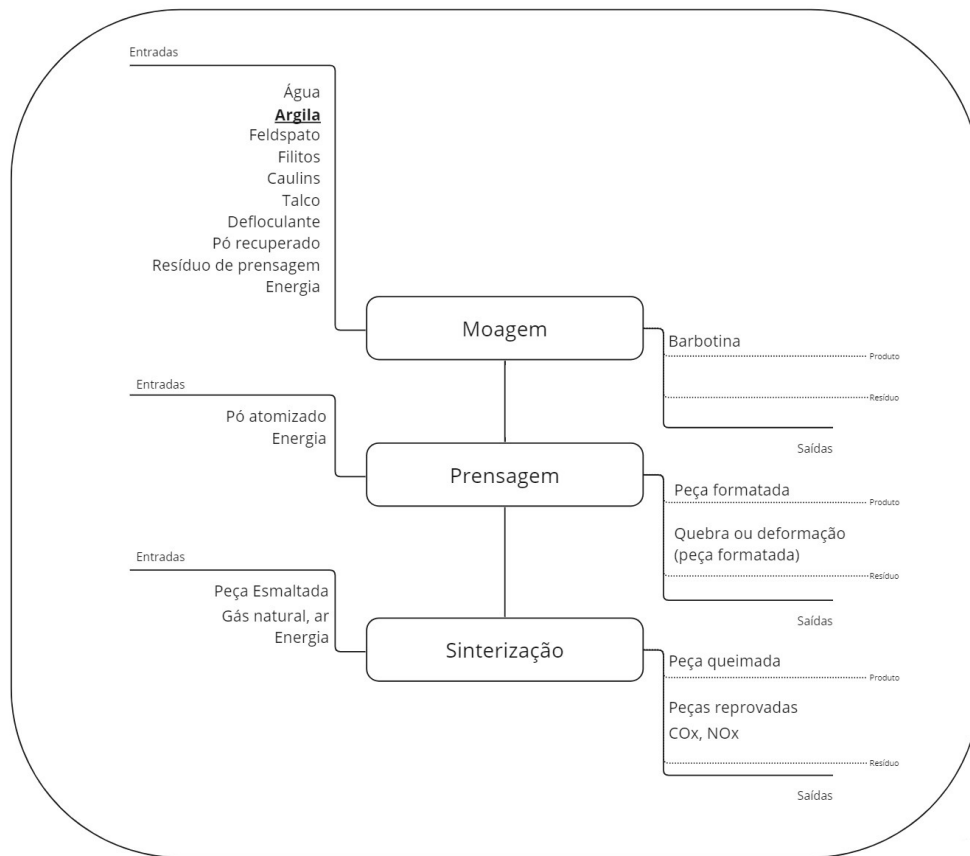
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A respeito do consumo, para justificar a mudança de abordagem, vale-se citar como exemplo a dissertação de Lima (2002), que discute a utilização da lama gerada pela etapa de lavagem do processo de extração de minério de ferro como complemento à argila da massa de placas cerâmicas.

Nesse cenário, para a Empresa A da indústria de fabricação de revestimento cerâmico, sem conhecimento que esse resíduo pode ter valor, apresenta-se um módulo de “Combinação por fluxo”, em que a empresa seleciona o ramo da indústria (Cerâmica) e o processo deste ramo que deseja navegar (Fabricação de Revestimento Cerâmico), abre-se então um painel com um fluxo simplificado do processo selecionado¹ indicando as entradas e saídas de cada etapa, conforme ilustrado na Figura 11. Ao selecionar o componente da etapa que se interessa (Argila) é exibido um painel com possíveis resíduos que podem complementar ou substituir o componente selecionado.

¹ Várias etapas do processo de Fabricação de revestimento cerâmico foram omitidas, como a atomização, secagem e esmaltação, além disso, sabe-se que o fluxo não é linear.

Figura 11 – Fluxograma simplificado do processo de fabricação de revestimento cerâmico

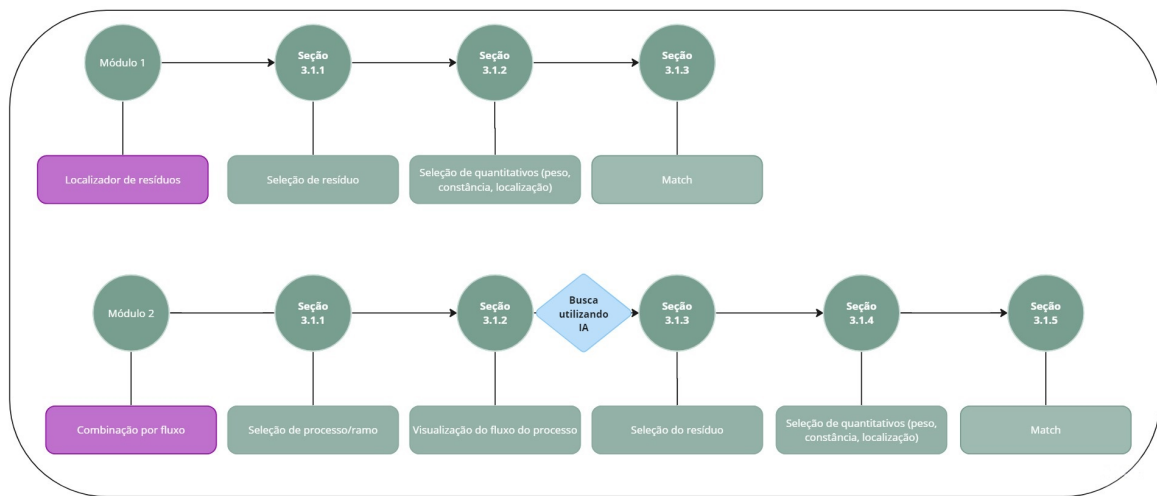


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

O painel de resíduos é a fase a mais importante e desafiadora do ponto de vista técnico, para prover as opções de resíduos, faz-se necessário uma busca em artigos, dissertações, teses por estudos de utilização de resíduos em processos industriais. Na visão deste trabalho, sugere-se o treinamento de um Large Language Model (Grande Modelo de Linguagem) (LLM) com uma base de trabalhos acadêmicos direcionado ao tema, diga-se uma Inteligência Artificial (IA) de Ciência de Materiais ou utilização de IAs existentes com foco em ciência, como a **Galactica** (TAYLOR *et al.*, 2022). Outro ponto, é que até o momento da pesquisa realizada, a maioria dos trabalhos relacionados ao aproveitamento de resíduos sólidos no Brasil sequer mencionam uma classificação de resíduos, logo também seria necessário classificar o resíduo em estudo de acordo com a lista de resíduos do IBAMA.

No contexto, ao prosseguir com a seleção do resíduo seriam preenchidos os dados relativos à quantidade desejada e a localização da empresa, finalizando com os resultados da mesma forma que no Conceito I. Na Figura 12 estão representados os módulos da janela de aquisição que compõe o Conceito II.

Figura 12 – Fluxograma da janela de aquisição com a adição do módulo de “Combinação por fluxo”



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.1.4 Métricas para a combinação (“match”)

As métricas expostas aqui são variáveis que tentam aproximar a real necessidade das indústrias, para que os resultados da combinação estejam de acordo com as expectativas mínimas da empresa. Reconhece-se que existem mais parâmetros a se considerar, às vezes específicos para determinado processo de produção, porém na tentativa de generalizar foram comentadas as variáveis abaixo.

- **Distância:** fator que afeta a energia gasta para mover o resíduo do ponto A para o B, influenciando diretamente o custo da operação. Deve considerar a malha rodoviária ideal para o transporte, não apenas a menor distância;
- **Quantidade:** para inserir um resíduo numa etapa do processo, deve existir material suficiente para suprir as demandas de ambas as indústrias;
- **Constância:** a geração deve possuir uma frequência, de modo que seja possível um planejamento pela indústria consumidora de quanto em quanto tempo esse resíduo pode ser obtido;
- **Composição química:** é evidente que a consumidora preza por manter a qualidade dos produtos, e uma mudança de material base pode impactar negativamente se não forem conhecidas as substâncias que constituem o resíduo;
- **Estado:** para a consumidora conseguir utilizar o resíduo talvez sejam necessárias etapas de preparação, pois o resíduo pode estar em forma de cacos, pó, pellets, pasta etc. Isso também pode impactar a possibilidade de uso do resíduo.

Das métricas citadas, foram utilizadas para o protótipo apenas a Distância e a Quantidade, pois a Constância e o Estado são dados que não se conseguiu obter junto ao IMA/SC devido a dificuldades no sistema interno, o primeiro depende de que os dados estejam em uma granularidade pelo menos mensal, o segundo é algo que consta nos MTRs porém não foi incluso nos relatórios. A composição química não consta nos campos do MTR, e por se tratarem de resíduos bastante específicos a cada ramo da indústria, pensa-se que seria preciso uma generalização com base na classificação do IBAMA, o que é um desafio fora do escopo deste trabalho.

4.1.5 Cálculo da pontuação

4.2 PROTÓTIPO

4.2.1 Limitações

4.2.2 Possíveis adições e melhorias

4.3 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS

4.3.1 Limpeza

Antes de realizar o cruzamento das diferentes fontes de dados — MTR, IBGE e CNPJ —, na base de MTR, foi feita a remoção de registros duplicados e nulos provenientes dos arquivos originais e gerados durante extração dos relatórios PDF.

Também foi feita a remoção de dados com CPF e situação cadastral baixada, pois não se tem publicamente a informação de localização para CPF, e se a situação cadastral não está ativa, provavelmente a empresa não está em funcionamento. Além disso, durante o cruzamento foi observado que algumas empresas estavam com cadastro vinculado a cidades fora do estado, tais empresas foram removidas. Essas ações previnem que erros sejam multiplicados para as próximas etapas e prejudiquem a análise. A tabela resultante tem a estrutura demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Amostra da estrutura de dados pós limpeza.

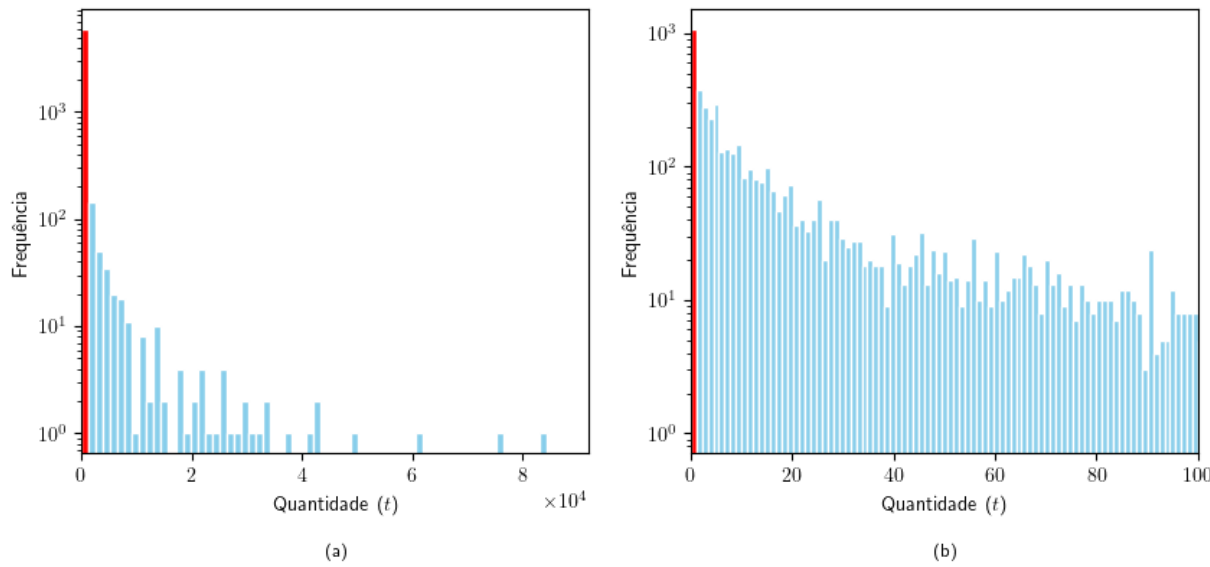
Razão Social	CNPJ	Código do Resíduo	Destinação	Quantidade (t)
Empresa A	CNPJ A	190805	Tratamento de Efluentes	0,00018
Empresa B	CNPJ B	170202	Reciclagem	0.00020
Empresa C	CNPJ C	200102	Reciclagem	0.00200

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Nos histogramas da Figura 13, podemos observar no gráfico (a) a distribuição da massa de resíduos gerados ao longo de dois anos (2020 a 2021); destacado em vermelho está a faixa de aproximadamente 10 g — 1000 t, a qual abrange a maior parte das empresas geradoras. No gráfico (b) o intervalo em (a) está aumentado e dividido em 1000 vezes,

destaca-se a faixa de $10\text{ g} - 1\text{ t}$, e considerando que a massa está dividida no total de dois anos, é provável que durante o ano a geração seja muito pequena, inviabilizando a inserção em etapas de um processo produtivo, então decidiu-se por filtrar quantidades de resíduo inferiores a 500 kg .

Figura 13 – Histograma da geração de resíduos sólidos em SC (2020 e 2021)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.3.2 Cruzamento

Esta etapa consiste na ligação entre as bases restantes, através dos dados de CNPJ podemos identificar a localização da empresa no Portal de Dados Abertos, e com essa informação obtem-se as coordenadas geográficas do município através dos dados do IBGE. Dessa forma, temos todas as variáveis necessárias para listar as empresas que podem atuar como fornecedoras da matéria-prima que outra empresa deseja; a tabela final para realizar a conexão entre as empresas está amostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Amostra da estrutura de dados pós cruzamento.

Razão Social	CNPJ	CNAE	Município	Longitude	Latitude	Código do Resíduo	Destinação	Quantidade (t)
Empresa A	CNPJ A	Fabricação de esquadrias de metal	Joinville	-26.2443	-48.9514	190805	Tratamento de Efluentes	0.00018
Empresa B	CNPJ B	Fundição de ferro e aço	Criciúma	-28.7157	-49.3797	170202	Reciclagem	0.00020
Empresa C	CNPJ C	Laboratórios clínicos	Florianópolis	-27.5788	-48.5091	200102	Reciclagem	0.00200

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

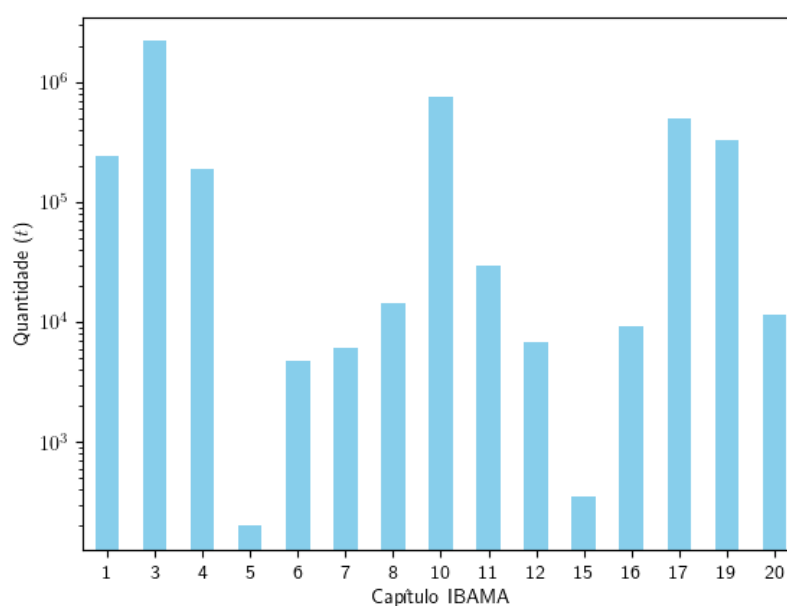
4.4 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

No momento em que se escreve esse relatório, não se encontram informações disponíveis publicamente sobre os MTRs, logo considera-se válido relizar uma análise para se obter um panorama geral da Geração e Destinação de RSIs em SC.

4.4.1 Geração

Dentre os 877 resíduos da classificação do IBAMA, de acordo com os relatórios de MTR, 135 estão em circulação no estado. Na Figura 14, mostra-se a distribuição da quantidade t de geração de resíduos sólidos por capítulo, na Tabela 5 do Anexo A — Classificação de Resíduos Sólidos por Capítulos do IBAMA, tem-se a referência para a descrição dos Capítulos.

Figura 14 – Geração de resíduos sólidos classificados por capítulo em SC (2020 e 2021)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Os capítulos com maiores gerações são os 3, 10, 17, 19, 1 e 4, em ordem decrescente de quantidade, correspondendo acerca de 90% da massa de resíduos gerada em dois anos. Na Tabela 3 estão representados os resíduos com maior geração por capítulo.

Tabela 3 – Resíduos sólidos predominantes por capítulo

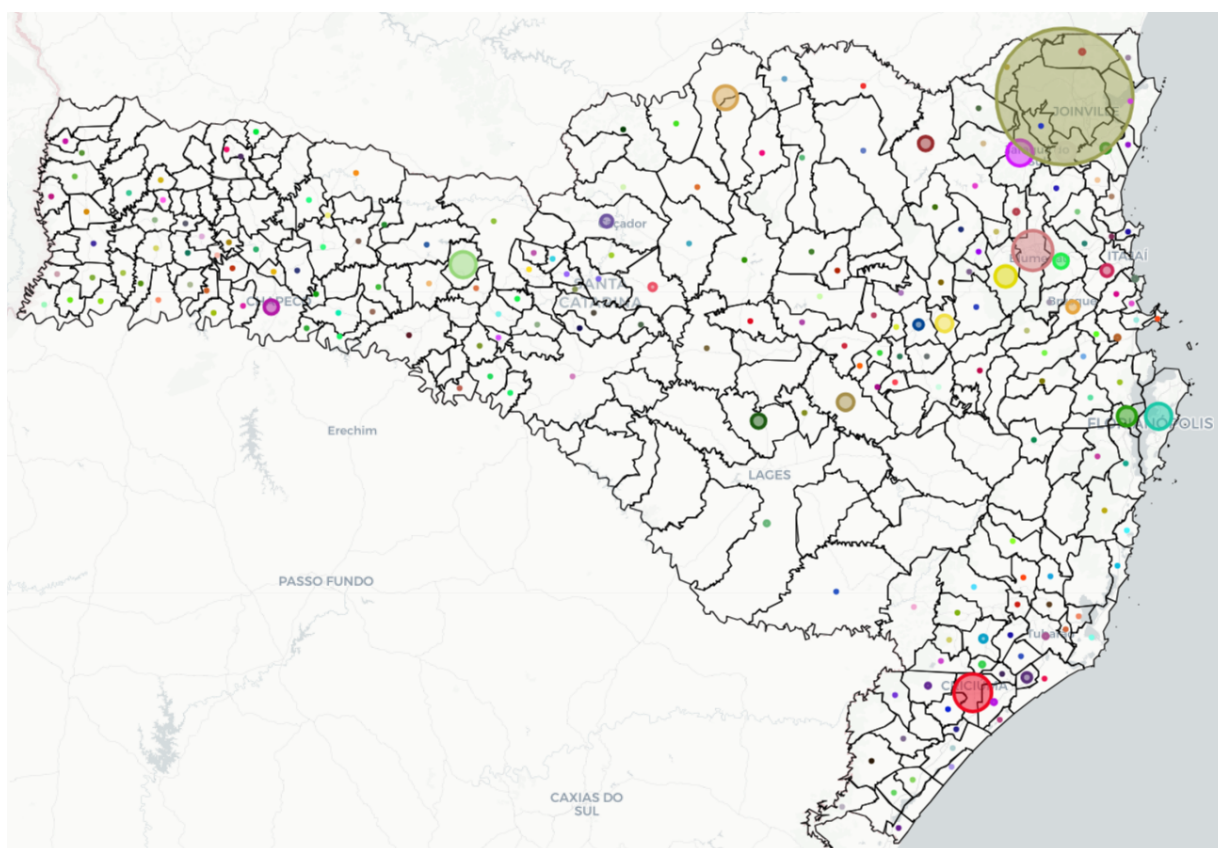
Capítulo	Descrição Capítulo	Código Resíduo	Descrição Resíduo	Qtd (t) 10 ³
3	Resíduos do processamento de madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose	030308	Resíduos da triagem de papel e papelão destinado a reciclagem	513
1	Resíduos da prospecção e exploração de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas	010409	Areias e argilas	226
17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)	170504	Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03	196
10	Resíduos de processos térmicos	100101	Cinzas, escórias e poeiras de caldeiras (excluída as poeiras de caldeiras abrangidas em 10 01 04)	152
19	Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial	190805	Lodos do tratamento de efluentes urbanos	139
4	Resíduos da indústria do couro e produtos de couro e da indústria têxtil	040215	Resíduos dos acabamentos não abrangidos em 04 02 14	86

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Na Figura 15, pode-se ter uma visão macro da geração de resíduos por município em SC. Por questões estéticas nem todos os nomes estão exibidos, porém é possível acessar o mapa de forma interativa no site: <https://residuose.tech/mapa-geracao-sc>. A Tabela 4 lista os municípios com geração acima de 50 mil toneladas.

É notável o destaque para o município de Joinville, com 5% da geração de resíduos sólidos do estado, sendo 65% dos resíduos: 170504 - Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03 ². (167 mil t), 010409 - Areias e argilas (118 mil t), 100903 - Escórias do forno (88 mil t).

Figura 15 – Mapa da geração de resíduos sólidos por município



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

² 17 05 03 - (*) Solos e rochas contendo outras substâncias perigosas

Tabela 4 – Geração de resíduos sólidos superior a 50 mil t por município

Município	Quantidade (t) 10^3
Joinville	581,41
Blumenau	165,89
Criciúma	158,95
Jaraguá do Sul	114,99
Florianópolis	111,45
Vargem Bonita	106,61
Canoinhas	99,73
Indaial	91,13
São José	79,10
Guaramirim	77,14
Lontras	66,93
Otacílio Costa	66,57
Rio Negrinho	63,10
Chapecó	61,98
Gaspar	61,19
Correia Pinto	58,74
Itajaí	52,52
Brusque	51,43

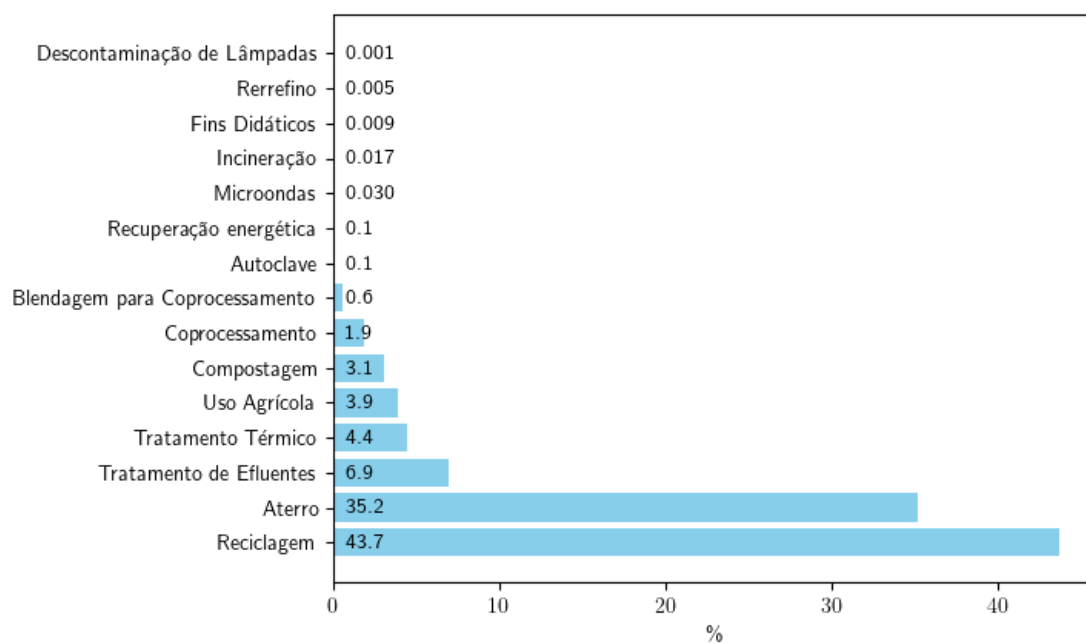
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.4.2 Destinação

Com base nos dados de geração, uma vez que o capítulo 03 (Resíduos do processamento de madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose) é o predominante no estado, espera-se que a destinação mais praticada seja a de Reciclagem, conforme ilustrado na Figura 16, deste valor 45% é proveniente do cap. 03, 24% do 17 e 22% do 10. Para o Aterro, representando 35% da destinação de resíduos, tem-se 25% do cap. 10, 17% do 01 e 19, 16% do 17 e 13% do 03.

Considerando que o rastreamento de MTRs está sendo efetivo, podemos pontuar que ainda que seja expressiva a destinação tradicional para aterro, SC tem explorado as tecnologias alternativas de destinação de resíduos, como podemos ver a utilização de Tratamento Térmico, Uso Agrícola, Coprocessamento e Compostagem. Diante disso, mostra-se um perfil de mercado que, possuindo uma ferramenta que auxilie as indústrias a encontrarem possíveis matérias-primas no meio de tantos resíduos, tem potencial para prover um retorno econômico e ambiental para o estado.

Figura 16 – Destinação de resíduos sólidos por tecnologia



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

5 CONCLUSÃO

As conclusões devem responder às questões da pesquisa, em relação aos objetivos e às hipóteses. Devem ser breves, podendo apresentar recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 10004:2004 Resíduos sólidos - Classificação**. [S.l.: s.n.], 2004. Disponível em: <https://www.abntcolegao.com.br/normavw.aspx?Q=T0pJNTgyRndVYVcwSlFFSy9lR1RVaGRYN3JCZGJGcTE=>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ABREN. **ABREN**. pt-BR. [S.l.: s.n.], mai. 2021. Disponível em: <https://abren.org.br/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

BRASIL. **DECRETO Nº 10.340, 2020**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10340.htm#art1. Acesso em: 24 nov. 2023.

BRASIL. **DECRETO Nº 10.936, DE 12 DE JANEIRO DE 2022**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm. Acesso em: 23 nov. 2023.

_____. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010**. pt. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. **Cradle to Cradle**. [S.l.]: Random House, jan. 2009. Google-Books-ID: 13hfHzBstcEC. ISBN 978-1-4070-2132-4.

CASAN. **ETE - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>. Acesso em: 24 nov. 2023.

CASTELLS; MANUEL. **The information age: economy, society, and culture. 1, The rise of the network society**. 2nd ed., with a new pref. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2010. ISBN 978-1-4051-9686-4. Disponível em: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=804717D766310A502A159C4FD7203E4D>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CETESB. **Web Service » Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos - SIGOR - Módulo MTR**. pt-BR. [S.l.: s.n.], mar. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/sigor-mtr/web-service/>. Acesso em: 5 dez. 2023.

CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005**. pt-BR. [S.l.: s.n.], jun. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=453. Acesso em: 24 nov. 2023.

CREA-SC. **Destino de resíduos sólidos de Santa Catarina é referência no Brasil**. pt-BR. [S.l.: s.n.], mai. 2013. Disponível em: <https://portal.crea-sc.org.br/destino-de-residuos-solidos-de-santa-catarina-e-referencia-no-brasil/>. Acesso em: 23 nov. 2023.

DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 685–698, dez. 2015. ISSN 1413-4152. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040129347. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000400685&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 23 nov. 2023.

EUROPA. **Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros**. pt. v. 182. [S.l.: s.n.], abr. 1999. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj/por>. Acesso em: 23 nov. 2023.

_____. **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)**. en. [S.l.: s.n.], jul. 2008. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/2018-07-05/eng>. Acesso em: 23 nov. 2023.

GRASSELLI, Cristine. Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina a partir de Manifestos de Transporte de Resíduos visando sua reutilização ou reciclagem. *In*: [S.l.: s.n.], 2023.

IBAMA. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, DE 18 DE DEZEMBRO DE 2012**. pt-BR. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/arquivos/ibama-lista-brasileira-de-residuos-solidos.doc>. Acesso em: 24 nov. 2023.

IBGE. **PIA-Empresa | IBGE**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 25 nov. 2023.

INTERAÇÃO, Grupo. **Destinação Final de Resíduos - Grupo Interação - Soluções Ambientais**. pt-BR. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://grupo-interacao.com/solucoes-para-sua-empresa/destinacao-final-de-residuos/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. por. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 149–171, set. 2015. Accepted: 2016-12-20T17:43:27Z Publisher: Instituto Superior de Entre Douro e Vouga. ISSN 2183-3826. Disponível em: <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/21110>. Acesso em: 26 nov. 2023.

LIMA, José Francisco deB. **Aproveitamento da lama de lavagem do minério de ferro: estudo de caso na Mineração Urucum - Corumbá/MS**. pt-BR. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82774>. Acesso em: 5 dez. 2023.

MMA. **PORTARIA Nº 280, DE 29 DE JUNHO DE 2020**. pt-BR. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou>. Acesso em: 25 nov. 2023.

_____. **Programa Nacional Lixão Zero**. pt-br. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/agendaambientalurbana/lixao-zero/lixao-zero>. Acesso em: 25 nov. 2023.

ONU. **Sustainable Development Goal 9: Indústria, inovação e infraestrutura | As Nações Unidas no Brasil**. pt-br. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/9>. Acesso em: 24 nov. 2023.

RECICLUS. **Legislação | Reciclus**. pt-BR. [S.l.: s.n.], jun. 2023. Disponível em: <https://reciclus.org.br/legislacao/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

SANTIAGO, Cristine; PUGLIESI, Erica. Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil: histórico, diretrizes nacionais e perspectivas para os municípios. *In*: [S.l.: s.n.], jan. 2016. P. 111–134. ISBN 978-607-8459-30-8.

SINIR. **SINIR+ | Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://sinir.gov.br/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

TAYLOR, Ross *et al.* **Galactica: A Large Language Model for Science**. [S.l.]: arXiv, nov. 2022. arXiv:2211.09085 [cs, stat]. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2211.09085>. Acesso em: 5 dez. 2023.

ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR CAPÍTULOS DO IBAMA

De acordo com a Instrução Normativa nº 13 do IBAMA (2012)

Tabela 5 – Classificação de Resíduos Sólidos por Capítulos do IBAMA

Capítulo	Descrição
1	Resíduos da prospecção e exploração de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas
2	Resíduos da agricultura, horticultura, aquicultura, silvicultura, caça e pesca, e da preparação e processamento de produtos alimentares
3	Resíduos do processamento de madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose
4	Resíduos da indústria do couro e produtos de couro e da indústria têxtil
5	Resíduos da refinação de petróleo, da purificação de gás natural e do tratamento pirolítico do carvão
6	Resíduos de processos químicos inorgânicos
7	Resíduos de processos químicos orgânicos
8	Resíduos da fabricação, formulação, distribuição e utilização de revestimentos (tintas, vernizes e esmaltes vítreos), colas, vedantes e tintas de impressão
9	Resíduos da indústria fotográfica
10	Resíduos de processos térmicos
11	Resíduos de tratamentos químicos e revestimentos de metais e outros materiais; resíduos da hidrometalurgia de metais não ferrosos
12	Resíduos da moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos
13	Óleos usados e resíduos de combustíveis líquidos (exceto óleos alimentares e capítulos 05, 12 e 19)
14	Resíduos de solventes, fluidos de refrigeração e gases propulsores orgânicos (exceto 07 e 08)
15	Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de proteção não anteriormente especificados
16	Resíduos não especificados em outros capítulos desta Lista
17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)
18	Resíduos dos serviços de saúde
19	Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial
20	Resíduos sólidos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços), incluindo as frações provenientes da coleta seletiva

Fonte: Elaborado pelo Autor, de acordo com o IBAMA (2012)