

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL GUSTAVO GALON

**ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE
TRIAGEM E COMPOSTAGEM EM FRANCISCO BELTRÃO – PR**

FRANCISCO BELTRÃO

2021

GABRIEL GUSTAVO GALON

**ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE
TRIAGEM E COMPOSTAGEM EM FRANCISCO BELTRÃO – PR**

**DIMENSIONING STUDY FOR IMPLEMENTATION OF A SORTING AND
COMPOSING PLANTS IN FRANCISCO BELTRÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel e Licenciatura em Engenharia Ambiental
Curso de Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Profº. Dr. Adir Silvério Cembranel.

FRANCISCO BELTRÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIEL GUSTAVO GALON

**ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE
TRIAGEM E COMPOSTAGEM EM FRANCISCO BELTRÃO – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel e Licenciatura em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 10 de dezembro de 2021

Profº. Dr. Adir Silvério Cembranel
Doutor em Engenharia Agrícola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Profº. Dr. Marcelo Bortoli
Doutor em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Profª. Ma. Jhenifer Aline Bastos
Mestra em Tecnologias Ambientais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

FRANCISCO BELTRÃO

2021

AGRADECIMENTOS

Sou grato por todas as pessoas que contribuíram em minha trajetória e que agregaram de alguma forma para a minha formação como pessoa.

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades que me foram concedidas, pela saúde, família e amigos.

Agradeço aos meus pais, Leduíno Galon e Rosilene Tânia Toscan Galon, pelo carinho, amor, conselhos e todo o apoio que me proporcionaram, buscando sempre fazer o seu melhor.

Agradeço ao meu irmão e minha namorada, pelo incentivo, auxílio e pelo apoio. Aos meus amigos e colegas, que estiveram comigo nesta jornada, auxiliando e apoiando nas atividades e no dia a dia.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Adir Silvério Cembranel, pela sabedoria e orientação que me guiaram.

Agradeço a todos os professores, instrutores, mestres, doutores, mentores e profissionais, que dentro e fora da universidade compartilharam de seu conhecimento e sabedoria, passando adiante aprendizados tão valiosos.

Agradeço a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e a Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão, particularmente ao Diretor da secretaria, Vilmar Rigo e a Engenheira Natielen Penso, pela cooperação e compartilhamento de informações.

Gostaria também de deixar registrado, o meu reconhecimento aos pesquisadores e estudiosos que contribuíram para comunidade científica, nos dando base para seguir com o desenvolvimento e a inovação.

Se eu vi mais longe,
foi por estar sobre ombros de gigantes.
(NEWTON, 1676).

RESUMO

Gustavo Galon, Gabriel. Estudo de Dimensionamento para Implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem em Francisco Beltrão - PR. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, Brasil, 2021.

A elevada geração e a crescente complexidade dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), tem gerado dificuldades aos municípios brasileiros na gestão dos resíduos sólidos. Dessa forma, é crescente o incentivo por alternativas adequadas de gestão e tratamento de resíduos sólidos. As Usinas de Triagem e Compostagem (UTC), compõe uma alternativa interessante para o tratamento dos RSU. Neste contexto, este trabalho buscou realizar o dimensionamento para a implantação de uma UTC no município de Francisco Beltrão-PR. Deste modo, foi realizada a caracterização da gestão dos RSU do município, o estudo do dimensionamento para implantação de uma UTC, além de propor estratégias de Educação Ambiental (EA) para melhoria da gestão dos RSU. A caracterização ocorreu por meio do levantamento de dados junto a secretaria de meio ambiente do município. A metodologia para o dimensionamento foi baseada em Pereira Neto, no Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico, Guia de Compostagem, Manual de gerenciamento Integrado de Resíduos da CEMPRE e o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do IBAM. A proposta de EA, foi baseada na implantação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). A caracterização indicou a presença de um sistema de coleta de resíduos recicláveis e a necessidade da melhoria do processo de gestão adotado pelo município. O dimensionamento apontou a necessidade uma área total do pátio de compostagem de 17.382,02 m² e um galpão de triagem com área de 1.500 m². A proposta de EA, indicou que as TICs são uma alternativa interessante na busca pela melhoria nos processos de gestão dos RSU.

Palavras-chave: Resíduo Sólido Urbano. Gestão Integrada. Educação Ambiental. Pátio de compostagem.

ABSTRACT

Gustavo Galon, Gabriel. Dimensioning Study for Implementation of a Sorting and Composting Plants in Francisco Beltrão - PR. Course Conclusion Paper (Graduate in Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, Brazil, 2021.

The high generation and growing complexity of Solid Urban Waste (RSU in portuguese) has created difficulties for Brazilian municipalities in managing their solid waste. Thus, the incentive for adequate alternatives of management and treatment of solid waste is growing. The Sorting and Composting Plants (UTC in portuguese) are an interesting alternative for the treatment of RSU. In this context, this work sought to assess the feasibility of implementing a UTC in the city of Francisco Beltrão-PR. Thus, the characterization of RSU management in the municipality was carried out, the dimensioning and evaluation of the feasibility of implementing a UTC, in addition to proposing Environmental Education (EA in portuguese) strategies to improve RSU management. The characterization was carried out by means of data collection from the municipality's environmental department. The methodology for the dimensioning was based on Pereira Neto, in the Technical Specifications and Technical Drawing, Composting Guide, CEMPRE Integrated Waste Management Manual and the IBAM Integrated Solid Waste Management Manual. The EA proposal was based on the implementation of Information and Communication Technologies (TIC in portuguese). The characterization indicated the presence of a recyclable waste collection system and the need to improve the management process adopted by the municipality. The dimensioning indicated the need for a total area of the composting yard of 17.382,02 m² and a sorting shed with an area of 1.500 m². The EA proposal indicated that TICs are an interesting alternative in the search for improvement in MSW management processes.

Key Words: Solid Urban Waste. Sorting and Composting Plants. Integrated Management. Environmental Education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Gravimetria dos RSU no Brasil.	15
Figura 2: (A) Dinâmica de uma coleta convencional de RSU (B) Dinâmica da coleta de RSU com UTC.	19
Figura 3: Esquema geral de um UTC.	20
Figura 4: Evolução do custo da coleta seletiva x coleta convencional.	24
Figura 5: Localização do município de Francisco Beltrão/PR.	26
Figura 6: Modelo de leira no formato prismático.	30
Figura 7: Barracão para triagem final de materiais recicláveis.	36
Figura 8: Divisão da área urbana para realização da coleta seletiva.	37
Figura 9: Acondicionamento de resíduos nas vias de Francisco Beltrão.	39
Figura 10: Distribuição dos PEV's na área rural de Francisco Beltrão.	40
Figura 11: PEV em área rural de Francisco Beltrão.	40
Figura 12: Fachada do Ecomuseu.	42
Figura 13: Viveiro Municipal.	42
Figura 14: Prática de Educação Ambiental.	42
Figura 15: Palestra no auditório.	43
Figura 16: Exposição dos acervos.	43
Figura 17: Visão panorâmica do Aterro Sanitário.	44
Figura 18: Preenchimento da última camada de uma célula do Aterro.	44
Figura 19: Leiras de compostagem em formato prismático.	48
Figura 20: Planta do pátio de compostagem.	50
Figura 21: Planta do galpão.	52
Figura 22: Exemplo de trator operando com um revolvedor de leiras.	54
Figura 23: Planta da área total da UTC.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Projeção populacional para Francisco Beltrão/PR.	28
Tabela 2: Composição gravimétrica dos resíduos encaminhados para aterro sanitário.....	34
Tabela 3: Projeção para geração de RSU até o ano de 2040.	46
Tabela 4: Determinação do volume total da mistura para o pátio de compostagem.....	47
Tabela 5: Dimensionamento das leiras para o pátio de compostagem.	49
Tabela 6: Dimensionamento da área do pátio de compostagem.....	50
Tabela 7: Dimensionamento da área para armazenagem e peneiramento do composto maturado.....	51
Tabela 8: Área de infraestruturas da UTC.	51
Tabela 9: Porte dos galpões.....	51
Tabela 10: Equipamentos e maquinários para UTC.	53
Tabela 11: Quantidade de funcionários para UTC.	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 RESÍDUO SÓLIDO URBANO	15
3.2 ALTERNATIVAS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	16
3.2.1 Usinas de Triagem e Compostagem (UTC)	18
3.2.2 Processo de implantação de uma UTC de RSU	21
3.2.2.1 Localização da UTC	22
3.2.2.2 Projetos, estudos e licenças	22
3.2.2.3 Investimento e despesas	23
3.3 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA GESTÃO DOS RSU	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA GESTÃO DOS RSU NO MUNICÍPIO	26
4.2 DIMENSIONAMENTO DA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	27
4.2.1 Metodologia de dimensionamento	27
4.2.2 Dimensionamento do pátio de compostagem	28
4.2.3 Dimensionamento do galpão de triagem	31
4.2.4 Implantação da UTC	32
4.3 ESTRATÉGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO RSU NO MUNICÍPIO.....	34
5.1.1 Composição Gravimétrica dos Resíduos	34
5.1.2 Resíduos Recicláveis	35
5.1.3 Resíduo Sólido Urbano	38
5.1.3.1 Resíduos Domiciliares da área rural.....	39
5.1.4 Educação Ambiental no Município	41

5.1.5 Aterro Sanitário Municipal	43
5.2 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	45
5.2.1 Dimensionamento da UTC	45
5.2.2 Dimensionamento do galpão de triagem	50
5.2.3 Implantação da UTC	54
5.3 ESTRATÉGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL	56
6 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é um problema complexo e desafiador em todo mundo, especialmente por conta das mudanças em sua composição, dificuldades no tratamento e na disposição final. Entretanto, o Brasil não tem investido na infraestrutura de serviços urbanos necessários para a gestão do RSU e do saneamento básico (JACOBI e BENSEN, 2011; BERTICELLI e KORF, 2016).

Além disso, nos últimos anos ocorreu um aumento expressivo na geração de RSU. Segundo o Panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), a geração de RSU em 2010 foi de 67 milhões, e em 2019 de 79 milhões de toneladas, com um alcance médio de geração per capita de 379 kg/ano.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece como ordem de prioridade para gestão e gerenciamento dos resíduos, a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Além de incentivar o aperfeiçoamento de tecnologias de tratamento, incentivando a economia circular, que por sua vez, busca uma mudança sistêmica na busca de uma mudança de paradigma (LEITÃO, 2015).

Essa mudança de paradigma concebe um novo conceito de resíduos, que passa a ser considerado como um recurso ou matéria-prima, sendo em grande parte reaproveitado no processo. Para haver o beneficiamento deste material, é necessário a existência de uma Central de Tratamento ou Usina de Triagem e Compostagem (UTC), para que ocorra a triagem e a posterior comercialização destes materiais, ao contrário de somente encaminhar o RSU para um aterro sanitário (PARANÁ, 2013; ZAGO, 2019).

Enquanto os aterros sanitários são empregados para disposição final de resíduos, as usinas de triagem e compostagem são utilizadas para preceder esta etapa. As UTC realizam a contenção e recuperação dos resíduos sólidos, promovendo o reaproveitamento dos recicláveis e compostando os resíduos orgânicos, aumentando a vida útil de aterros sanitários, gerando empregos, renda, preservando recursos naturais e consequentemente diminuindo impactos negativos ao meio ambiente (FELICORI, et al., 2016; ANJOS, et al., 2018).

Porém, para que o RSU chegue até uma unidade de tratamento, é necessária uma gestão que envolve toda a comunidade. A coleta seletiva é indispensável para que o resíduo seja segregado previamente na fonte geradora e facilite todo o trabalho posterior (IBAM, 2001; CEMPRE, 2018).

Para isso, cabe a Educação Ambiental (EA) proporcionar uma reflexão crítica, em termos ambientais e sociais, promovendo transformações nos cidadãos, referente a maneira de pensar, agir e de tomar decisões. O agir coletivo, através de ações socioambientais e da EA, pode ser a base para uma boa gestão integrada de resíduos sólidos (TOFFOLO e FRANCISCHETT, 2012; CEMBRANEL, et al., 2019).

A gestão dos RSU tem sido um obstáculo para as administrações públicas, que possuem dificuldades em aplicação de métodos e tecnologias eficientes no gerenciamento dos resíduos (SILVA, 2014; COSTA, 2019).

Segundo a PNRS, os municípios devem responsabilizar-se por assegurar a limpeza urbana, manejo, coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos RSU (BRASIL, 2010). Desta forma, os municípios devem realizar o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Conforme os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em sua última atualização em fevereiro de 2020, apenas 3.617 dos 5.570 municípios brasileiros declararam as informações sobre a gestão dos resíduos sólidos (BRASIL, 2020).

O município de Francisco Beltrão, é situado na região sudoeste do Paraná, possuindo uma população de 92.216 habitantes e uma geração de RSU estimada em 69,16 toneladas por dia, contando com um sistema de coleta seletiva e um aterro sanitário municipal para a disposição de rejeitos e resíduos orgânicos. Não havendo alternativas para o reaproveitamento dos resíduos orgânicos em larga escala (IBGE, 2021; SMMA, 2021).

Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo realizar um estudo de dimensionamento, para implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem (UTC) no município de Francisco Beltrão-PR.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo de dimensionamento para implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem (UTC) no município de Francisco Beltrão-PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a gestão dos resíduos sólidos urbanos realizadas no município;
- Dimensionar a implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem (UTC) para os RSU;
- Estabelecer estratégias de educação ambiental para a implantação da UTC.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

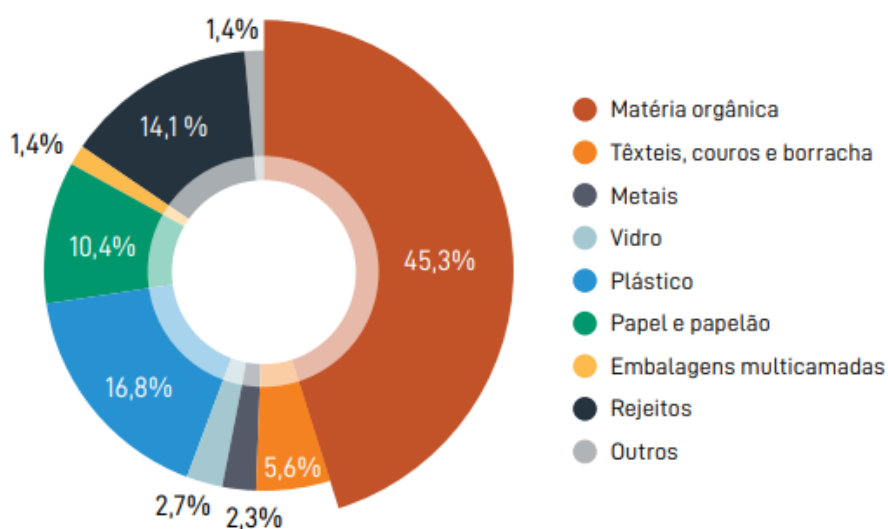
3.1 RESÍDUO SÓLIDO URBANO

Segundo a Lei Federal nº 12.305/10 (PNRS), os resíduos sólidos urbanos (RSU) contemplam os resíduos domiciliares (RDO) e os resíduos de limpeza urbana (RPU). Os RDO, são gerados por atividades domésticas em residências urbanas, e os RPU, são originários das atividades de varrição e de limpeza urbana.

Realizando uma retrospectiva da última década no Brasil, a geração total de RSU cresceu 18,55 %, enquanto o crescimento populacional foi de 11,06 %, ligeiro aumento na geração per capita de RSU (ABRELPE, 2020; IBGE, 2021). Além disso, a composição dos resíduos tem passado por grandes transformações, conforme os modelos de desenvolvimento dos produtos (JACOBI e BENSON, 2011), passando de uma composição mais simples para uma mais complexa, com materiais diversos, de alta periculosidade e com maiores desafios no tratamento e na disposição final (JULIATTO et al., 2011).

De acordo com a ABRELPE (2020), a fração orgânica compõe a maior parcela dos RSU (45,3 %) no país (Figura 01). Além disso, os resíduos orgânicos constituem predominantemente os resíduos descartados de forma misturada (MMA, 2019). Estes resíduos possuem característica de rápida degradação, gerando gases de efeito estufa (CH_4) e chorume, produtos indesejáveis com alto potencial de contaminação quando mal dispostos (MASSUKADO, 2008).

Figura 1: Gravimetria dos RSU no Brasil.



Fonte: Panorama da ABRELPE, 2020.

Conforme os dados da ABRELPE (2020), os recicláveis (metais, vidros, plásticos, embalagens multicamadas, papel e papelão) somam 33,6 % do RSU, sendo potenciais geradores de renda e participam de uma economia circular no mercado brasileiro. Apesar disso, segundo uma pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), o país perde cerca de R\$ 8 bilhões por ano, com materiais recicláveis que são destinados para aterramento. Parte deste desperdício pode estar relacionado aos 78 % dos municípios brasileiros, que ainda não implementaram uma coleta seletiva efetiva (CEMPRE, 2018).

Segundo a PNRS, a definição de rejeitos é a seguinte:

Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305/10).

Dentre a composição do RSU, o rejeito seria um resíduo “inservível”, por não haver possibilidades de tratamento e recuperação. Normalmente, destinados para aterro sanitário, que de acordo com Boscov (2008), consiste em um sistema de disposição final projetado para o recebimento destes rejeitos, representando cerca de 15 % do RSU (BRASIL, 2010; ABRELPE, 2020).

A enorme diversidade na composição do RSU, envolve uma série de materiais com diferentes características. A geração e a composição são variáveis, dependendo dos hábitos de consumo de cada cultura, notando-se uma correlação entre a produção de resíduos e o poder econômico de uma dada população (FADINI e FADINI, 2001; JACOBI e BESEN, 2011).

3.2 ALTERNATIVAS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Segundo a PNRS, a definição para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (GIRS) é a seguinte:

Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305/10).

A gestão dos RSU é diferente em cada município brasileiro, porém, em sua maioria inadequada. Isso devido a irrelevância vista pelo poder público, resultando na ausência de infraestrutura e de profissionais qualificados. O que compromete a saúde pública e os recursos naturais, contaminando o solo e os cursos hídricos, através de diversos poluentes presentes nos RSU, além da emissão destes para atmosfera (BARATTO et al., 2012; FERDIN, et al., 2015).

No Brasil, os municípios devem responsabilizar-se por desempenhar a GIRS em seus distritos, envolvendo diferentes órgãos administrativos públicos e entidades privadas, com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos. As prefeituras, podem optar por executar contratos com empresas, além de acordos, convênios e parcerias, mas permanecendo como protagonista em todo sistema de gestão (IBAM, 2001; BRASIL, 2010).

Desde 2001, o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM) define o processo de gestão de resíduos como algo que eleva um município em um contexto nobre para a vivência da população. Onde existe um afeto pela cidade e a participação efetiva de toda comunidade no sistema, sensibilizados a não sujar as ruas, reduzir o descarte, segregar e reaproveitar os materiais e encaminhá-los de maneira correta. Tendo uma integração maior dentro da GIRS e conseqüentemente aumentando a qualidade de vida de toda a população (IBAM, 2001).

O estudo realizado por Ferdin, et al. (2015), comprova o impacto gerado pela incorreta GIRS, na qual os resíduos são depositados no lixão municipal de Pirapozinho – SP, resultaram em uma evidente degradação da área, contaminando recursos hídricos e havendo indícios de contaminação em até aproximadamente 75 metros da área do lixão.

A PNRS, instrumenta os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que são essenciais para a gestão dos resíduos de um município. Os PMGIRS descrevem as ações relativas ao manejo de resíduos sólidos urbanos (geração, coleta, tratamento e destinação final), contemplando os aspectos referentes à não geração, redução, reutilização, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Sendo que, a elaboração de PMGIRS é condição primária para acesso aos recursos da união, e de instituições públicas e privadas (BRASIL, 2014).

Atualmente, o Brasil possui um índice de cobertura de coleta de RSU de 92 %, sendo que as regiões norte e nordeste possuem o menor índice (81 %) e a região sul e sudeste os maiores índices (95 % e 98 % respectivamente). Os recursos aplicados pelos municípios na coleta e demais serviços de limpeza urbana, incluindo destinação final de RSU, foram de R\$ 25 bilhões de reais (R\$ 10,00 por habitante/mês) somente no ano de 2019. Porém, tais serviços ainda se demonstram insuficientes no país (ABRELPE, 2020).

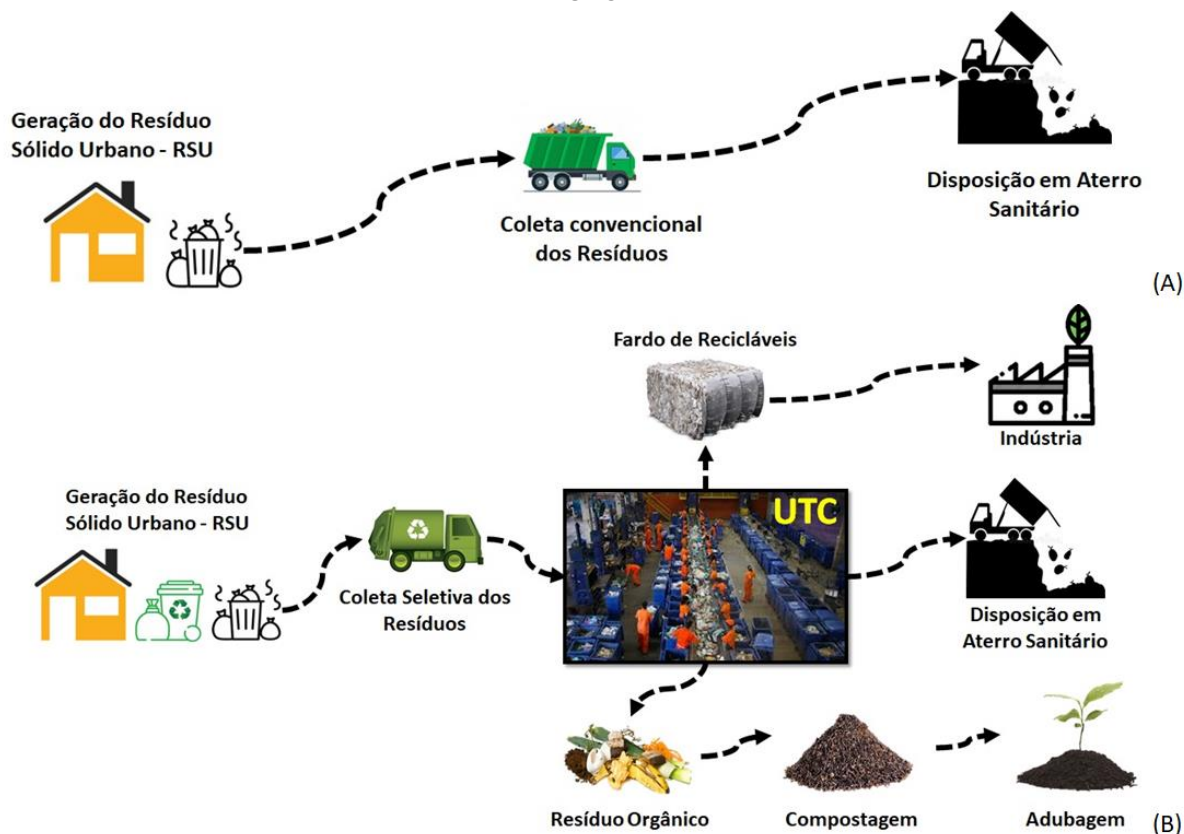
3.2.1 Usinas de Triagem e Compostagem (UTC)

Entre os anos de 1980 e 1990, as Usinas de Triagem e Compostagem (UTC) foram apresentadas como alternativas para o tratamento dos RSU em municípios, prometendo o fim dos “lixões” e garantindo receitas para os municípios através da venda e comercialização dos recicláveis e do composto. Sendo assim, muitas UTC foram implementadas no Brasil, porém não obtiveram bons resultados (algumas vezes sem mesmo operação). Isso por conta de algumas falhas, como a inexistência de mercado de recicláveis e de composto orgânico na região, além da falta de estudos de viabilidade e de seleção de tecnologias (IBAM, 2001).

As UTC são instalações que agrupam basicamente cinco setores: recepção/expedição dos resíduos, triagem, pátio de compostagem, beneficiamento e armazenagem. Elas têm como objetivo fazer o reaproveitamento dos materiais recicláveis e resíduos orgânicos (CEMPRE, 2018).

Conforme o Manual de Gerenciamento Integrado da CEMPRE (2018), as UTC acarretam em uma diminuição de cerca de 70 % do volume de RSU gerado. Ocorrendo uma alteração significativa no fluxo dos resíduos, incorporando-os novamente na cadeia produtiva (Figura 02).

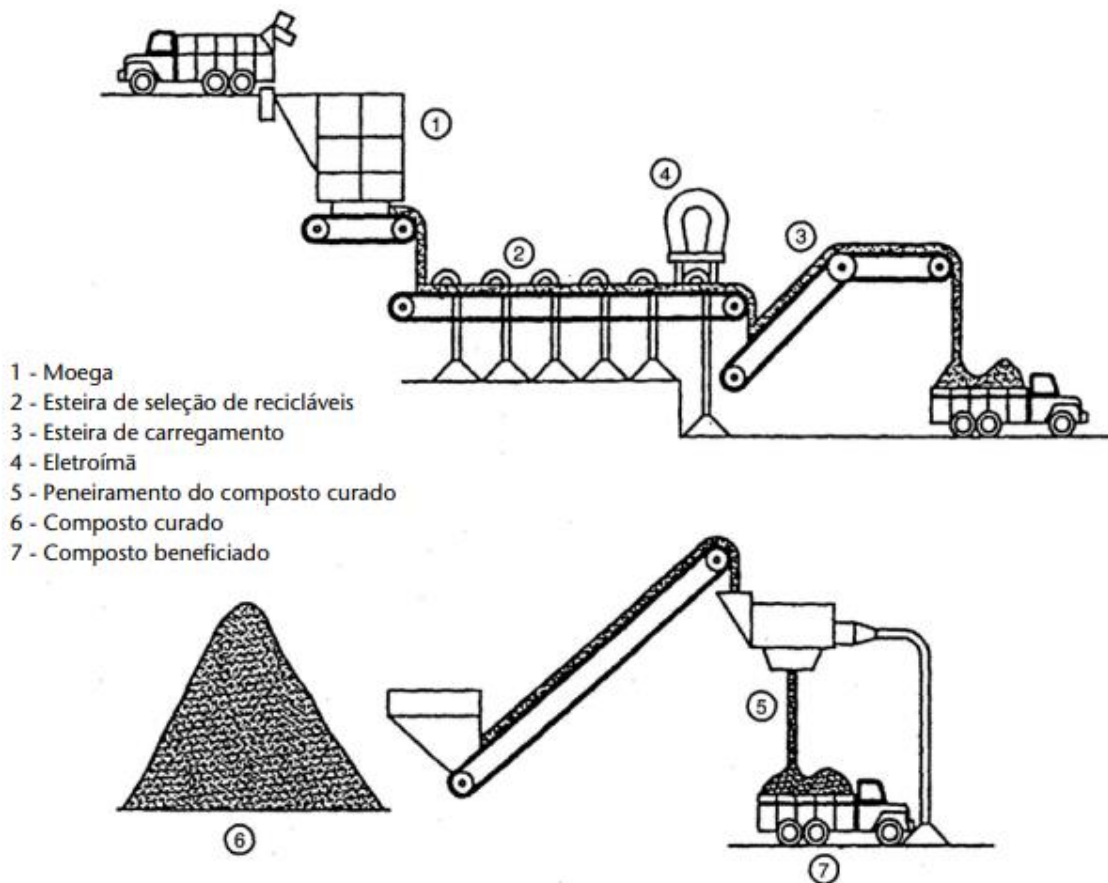
Figura 2: (A) Dinâmica de uma coleta convencional de RSU (B) Dinâmica da coleta de RSU com UTC.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O funcionamento de uma UTC inicia-se na recepção/expedição, onde é realizado o controle de fluxo das entradas e saídas dos materiais, insumos e resíduos. Os demais processos dependem da tecnologia e dos equipamentos (balanças rodoviárias, moega e tremonha) existentes, variando de acordo com o porte da UTC. Considerando que o esquema geral de operação de uma UTC (Figura 03), conta com a soma dos maquinários em série, formando os procedimentos operacionais (CEMPRE, 2018).

Figura 3: Esquema geral de um UTC.



Fonte: CEMPRE, 2018.

Os recicláveis passam pelo processo de triagem, sendo separados conforme o grau necessário. O grau de triagem, remete a eficiência de recuperação de recicláveis, em função do mercado de recicláveis da região. De forma que, se um determinado material não possui mercado na região, este será incorporado aos rejeitos (CEMPRE, 2018).

Após a triagem, os materiais recicláveis (papelão, papel branco, misto, plástico filme, plásticos PP, PEAD, metais, vidros, etc.) são armazenados em *big bag's* ou coletores, para em seguida, serem prensados e armazenados em forma de fardos, aguardando a comercialização dos materiais (MELO, 2011).

Na triagem do resíduo orgânico, é necessário o pátio de compostagem, sendo o local para o tratamento da fração orgânica. De acordo com a PNRS, a compostagem é a forma de disposição final ambientalmente adequada para os resíduos orgânicos, reduzindo o volume destinado para aterros sanitários, por representar uma grande parcela do RSU destinado para aterros (ABRELPE, 2020).

O pátio de compostagem deve ficar em terreno plano e, de preferência, em área pavimentada e coberta, sendo formado por pilhas ou leiras (em fileiras) com o

material orgânico sendo compostado. Essas pilhas orgânicas são revolvidas periodicamente para que haja o controle de temperatura e aeração, além de serem irrigados para o controle de umidade (IBAM, 2001; MELO, 2011).

A compostagem apresenta-se como uma ótima alternativa para o tratamento dos resíduos orgânicos, por ser acessível e barata. É considerada um processo de degradação controlada de matéria orgânica, sob condições aeróbias, na qual é fornecido as circunstâncias ideais (de umidade, oxigênio, pH, Carbono/Nitrogênio, temperatura, etc.) para a maturação do composto. De maneira que, o controle dos parâmetros acelera a degradação da matéria orgânica, evitando a atração de vetores de doenças e eliminando patógenos (BRASIL, 2015; TIENEN, et al., 2020).

Segundo Melo (2011), a duração do processo de compostagem pode ser dividida em duas etapas, a primeira chamada de “bioestabilização”, caracterizada pelo aumento e diminuição da temperatura, atingindo temperaturas máximas de 65 °C. Esta etapa possui uma duração que varia entre 45 e 60 dias, dependendo da aceleração do processo, do material e da tecnologia utilizada. Já a segunda etapa, denominada “maturação”, o composto passa pelo processo de humificação e mineralização da matéria orgânica, com duração média de 30 dias.

Após o beneficiamento do composto curado, é preciso peneirá-lo, retirando materiais indesejáveis e dando-lhe uma menor granulometria. A partir deste ponto, o composto está pronto para uso ou comercialização, em alguns casos passando pelo processo de embalagem ou exigindo a armazenagem de um volume maior para ser vendido em grande quantidade (CEMPRE, 2018).

3.2.2 Processo de implantação de uma UTC de RSU

O processo de implantação de uma UTC exige um diagnóstico inicial, avaliando as condições atuais, as características socioeconômicas e culturais da população regional. A UTC só deve ser implantada caso os levantamentos técnicos indicarem a viabilidade, considerando um estudo de mercado, disponibilidade de área, existência de um PMGIRS, custos para licenças e instalação, custos operacionais, existência de sistema de coleta seletiva eficiente, etc. (IBAM, 2001; CEMPRE, 2018).

Todavia, mesmo com o levantamento de custos e de investimentos, as receitas diretas dificilmente cobrirão todo o custeio da UTC. Sendo assim, a UTC não deve ser encarada como um empreendimento industrial lucrativo, segundo um ponto de vista completamente comercial. No entanto, a instalação de uma UTC mostra-se

altamente favorável devido aos diversos incentivos monetários, ao potencial retorno político e ao ponderamento das receitas indiretas através dos benefícios ambientais e sociais (IBAM, 2001; BRASIL, 2014).

3.2.2.1 Localização da UTC

Na escolha da área deve-se observar o zoneamento vigente no Plano Diretor Municipal, escolhendo um terreno de acordo. Além disso, outras considerações devem ser feitas (IBAM, 2001; PARANÁ, 2013; CEMPRES 2018):

- Evitar bairros residenciais, dando preferência para as regiões industriais;
- O local não deve ser tão afastado, a ponto de não oferecer viabilidade de transporte;
- A área deve ser longe de corpos d'água, nascentes, mananciais e vegetações nativas;
- O terreno não deve possuir grandes declividades, principalmente para o pátio de compostagem;
- Deve-se considerar a direção dos ventos e avaliação de desvalorização imobiliária, a fim de não prejudicar a vizinhança;
- É necessário a elaboração de mapas e de levantamento topográfico;
- A área deve ser compatível com o dimensionamento projetado para a UTC.

3.2.2.2 Projetos, estudos e licenças

Segundo a Portaria IAP nº 155, de 24 de maio de 2013, deve-se estabelecer critérios e premissas para licenciamento ambiental de barracões para triagem de RSU não perigosos com aproveitamento econômico. As etapas do licenciamento e os estudos exigidos, serão contemplados pelo órgão ambiental responsável. Para UTC, passa a ser obrigatório o Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), a partir do processamento de 100 t/dia (IAP, 2013; CEMPRES 2018).

Outros documentos também solicitados, podem ser (PARANÁ, 2013; BRASIL, 2014):

- Plano de viabilidade técnica;
- Matrícula do terreno e registro do imóvel;

- Planta da área;
- Projeto de terraplanagem;
- Projeto de drenagem;
- Projeto arquitetônico com implantação, cortes e elevações;
- Certidões negativas municipais;
- ART do responsável técnico pelos projetos e pela construção da obra;
- Aprovação da obra junto ao Corpo de Bombeiros;
- Certificado de Matrícula da Obra no INSS.

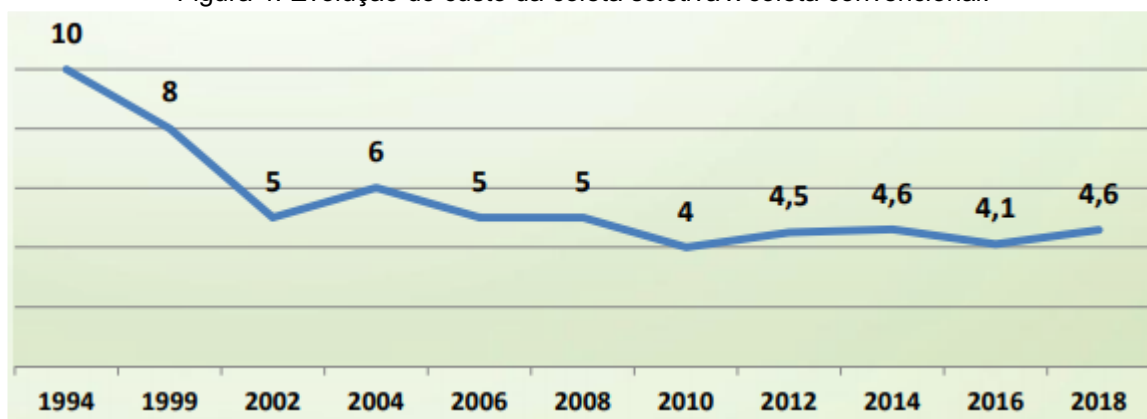
3.2.2.3 Investimento e despesas

É essencial definir o volume de RSU gerado para a escolha de tecnologia e processos adotado pela UTC, esta condição está fortemente atrelada ao valor investido. Dessa forma, estima-se que o custo médio investido por tonelada diária de capacidade instalada, varia entre US\$ 11 mil e US\$ 25 mil (CEMPRE, 2018).

As despesas operacionais também são variáveis, dependendo da capacidade da usina. Para UTC com capacidade de até 50 t/dia, o custo operacional varia entre US\$ 6,00 e US\$ 10,00 por tonelada processada, desconsiderando custos com manutenção e retorno financeiro (*payback*). Para usinas que operam em um modelo conceitual, numa capacidade de 95 t/dia, o custo é de cerca de US\$ 20,00 por tonelada processada, contando com todos os custos (CEMPRE, 2018).

Se tratando do custo com a coleta, os materiais recicláveis possuem grande desvantagem. De acordo com uma pesquisa realizada pela Ciclossoft (2018), o custo médio para coleta seletiva em 1.227 municípios pesquisados (cerca de 22 % do total), é de R\$ 442,24 por tonelada. Considerando o custo médio da coleta convencional de R\$ 95,00 por tonelada, a coleta seletiva passa a ser 4,6 vezes maior. Conforme a Figura 04, esta relação diminuiu nos anos anteriores, não havendo quedas significativas desde 2008 (CEMPRE, 2018).

Figura 4: Evolução do custo da coleta seletiva x coleta convencional.



Fonte: CEMPRE, 2018.

Apesar de todos os custos e dos valores de investimento inicial, uma UTC bem gerenciada vem demonstrando resultados muito mais consistentes do que investimentos realizados somente em aterros sanitários. Embora normalmente as UTC não sejam autossustentáveis financeiramente, necessitando de incentivos monetários devido a todos os custos e despesas, ainda possuem a capacidade de gerar receita, diferente dos aterros sanitários (IBAM, 2001; BRASIL, 2008).

3.3 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA GESTÃO DOS RSU

A Educação Ambiental (EA), como ciência, possui o papel de fortalecer a gestão escolar e a formação dos cidadãos, direcionando os indivíduos a um aspecto mais solidário e cooperativo entre culturas, nações, indivíduos e toda espécie. Em uma sociedade, a EA remodela as posturas metodológicas do agir humano na contemporaneidade (TOFFOLO e FRANCISCHETT, 2012; BUENO e ARUDA, 2013).

Entende-se por educação ambiental, segundo a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA):

Os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (Política Nacional de Educação Ambiental - Lei nº 9.795/99).

Partindo da premissa que o manejo dos RSU, envolvem todos os indivíduos da sociedade, os problemas relacionando os RSU, são de origem coletiva. Portanto, a solução deverá envolvê-los. Através da EA, é possível constituir um processo

informativo e formativo dos indivíduos, a fim de desenvolver uma comunidade educativa e consciente de sua realidade global. Assim, pode-se despertar a preocupação para a questão ambiental. Portanto, a linguagem para lidar com o público, deve ser de fácil entendimento, de forma que todos compreendam, e possa gerar valores, princípios e atitudes voltadas para a conservação do meio ambiente (DIAS, 1992; FERREIRA, 2000; TOFFOLO e FRANCISCHETT, 2012).

A EA procura ser disseminada e difundida de várias formas, buscando maior integração de ações e práticas sustentáveis em meio a sociedade. Através do avanço tecnológico, principalmente a partir do Século XXI, as alternativas para potencializar a educação ambiental no contexto social têm aumentado (CARDOZO e MURAROLLI, 2015; DANIELA et al., 2018).

O uso da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) tem sido cada vez mais utilizado no campo educacional, proporcionando uma melhora nas pesquisas realizadas pelos educandos, elevando a qualidade da informação transmitida (BITANTE et al., 2016).

Atualmente, as conexões sociais são feitas em grande parte por meio de artefatos tecnológicos, as TIC's por sua vez, abrangem um conjunto de recursos tecnológicos que proporcionam praticidade, otimização de processos e organização da sociedade (DANIELA et al., 2018; BRANDALISE, 2019).

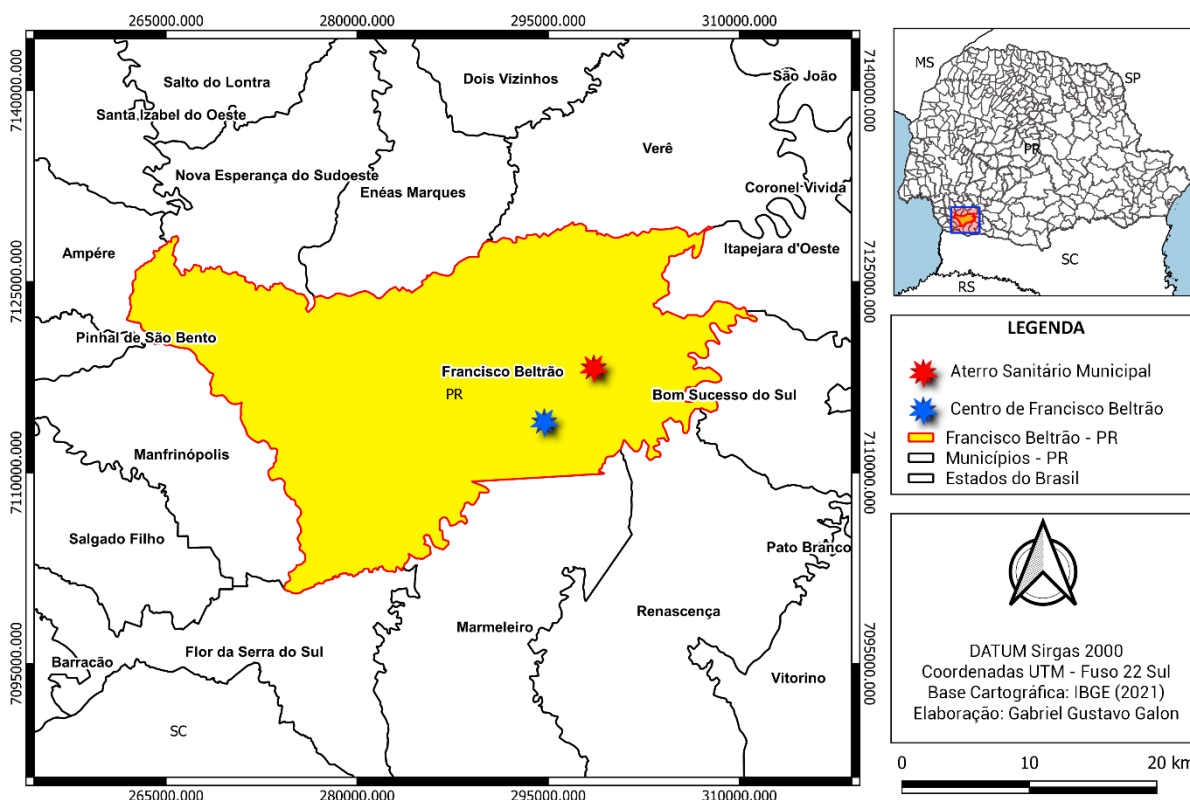
As TIC's possuem uma posição central na sociedade em que vivemos, possuindo características democráticas e participativas, com produção de material pedagógico sonoro, visual ou audiovisual, tornando a informação mais atrativa. Dessa forma, podendo ser considerada uma ótima ferramenta para EA, nos dias atuais (ZUIN, 2010; ARAÚJO, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA GESTÃO DOS RSU NO MUNICÍPIO

O estudo foi realizado no município de Francisco Beltrão, localizado na região sudoeste do estado do Paraná (Figura 05), que possui uma população de 92.216 habitantes e uma área territorial de 735,111 km² (IBGE, 2021).

Figura 5: Localização do município de Francisco Beltrão/PR.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para realizar a caracterização do RSU, foi efetuado um levantamento de dados qualitativos e quantitativos, iniciando-se com uma entrevista aberta junto ao diretor da secretaria de meio ambiente do município, Vilmar Rigo. A entrevista buscou dados referentes a gravimetria, formas de coleta (seletiva, domiciliar e pontos de entrega voluntária), frequência de coleta, número da frota de caminhões e identificar a Educação Ambiental adotada no município. A entrevista foi realizada no dia 09 de setembro de 2021, e teve como foco diagnosticar a realidade atual dos RSU. Também, foram utilizados dados presentes no PMGIRS.

Além disso, foram identificadas as condições de acondicionamento do RSU, observando e realizando registros fotográficos dos coletores disponibilizados pela prefeitura, nos locais com maior circulação de pessoas. A caracterização dos RSU também contou com uma visita técnica ao aterro sanitário municipal, realizada no dia 21 de setembro de 2021, com o acompanhamento da Engenheira Química Natielen Penso, responsável técnica pelo aterro sanitário.

Uma vez que, a caracterização da gestão dos RSU foi efetuada durante o 2º semestre de 2021, foi necessário considerar um fator de segurança nos cálculos para o dimensionamento da UTC, além de considerar os dados gravimétricos dos RSU do ano de 2019. Entendendo-se que os aspectos de sazonalidade, fatores climáticos, influências regionais e temporais (flutuações na economia e datas comemorativas), além da pandemia ocasionada pelo novo Coronavírus, interferem na composição do resíduo, assim como na geração do mesmo (CEMPRE, 2018).

4.2 DIMENSIONAMENTO DA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

4.2.1 Metodologia de dimensionamento

Para dimensionar a UTC, foram utilizados como base o Guia de Compostagem (BRASIL, 2015), Manual de Gerenciamento Integrado da CEMPRE (2018) e o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do IBAM (2001). A metodologia empregada considera que a UTC não realiza o tratamento dos materiais recicláveis, visto que já existe um sistema de coleta seletiva e cooperativas/associações que coletam este material no município. Além disso, o reciclável encaminhado até a UTC, já se encontra contaminado, misturado com os demais resíduos.

O dimensionamento iniciou-se com definição da quantidade estimada de RSU gerado atualmente e futuramente, através da Equação 1:

$$G_{RSU} = P_o \times G_{pc} \times C_o \quad (1)$$

Onde:

G_{RSU} = Geração atual (kg/dia);

P_o = População atual (habitantes);

G_{pc} = Geração *per capita* de resíduo (kg.dia/habitante);

C_o = Cobertura de coleta de resíduo (%).

A partir disso, foi considerado a projeção populacional, afim de obter a geração de RSU futura. A Tabela 01 apresenta a projeção populacional para Francisco Beltrão até 2040 de acordo com o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2018).

Tabela 1: Projeção populacional para Francisco Beltrão/PR.

Ano	População (habitantes)
2010	80.540
2020	90.772
2030	99.931
2040	105.100

Fonte: IPARDES, 2018.

4.2.2 Dimensionamento do pátio de compostagem

Os cálculos foram baseados em Pereira Neto (1996) e no Manual para Implantação de Compostagem e Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos (BRASIL, 2010).

Primeiramente, encontrou-se a massa de matéria orgânica (MO) gerada pelo município. Para isso, foi utilizado a Equação 2 para tal determinação.

$$MO = G_{RSU} \times MO_{rsu} \times MO_{rec} \quad (2)$$

Onde:

MO = Matéria orgânica gerada (kg/dia);

G_{RSU} = Geração de RSU (kg/dia);

MO_{rsu} = Composição de matéria orgânica no RSU do município (%);

MO_{rec} = Parcela de matéria orgânica recuperada (%).

A partir da massa da matéria orgânica, foi possível obter o volume gerado diariamente, considerando a massa específica para os resíduos orgânicos através da Equação 3.

$$V_{MO} = \frac{MO}{MO_{esp}} \quad (3)$$

Onde:

V_{MO} = Volume de Matéria orgânica gerada (m³/dia);

MO = Matéria orgânica gerada (kg/dia);

MO_{esp} = Massa específica da matéria orgânica (kg/m³).

Com o volume de matéria orgânica gerada diariamente, foi necessário considerar o volume de material estruturante seco (poda, folhas e galhos) adicionado à mistura, sendo realizado em uma proporção de três para um, ou seja, para cada três volumes de matéria orgânica deve-se adicionar um volume de material estruturante seco à mistura (PEREIRA NETO, 1996; BRASIL, 2015).

Para isso, foi considerado a proporção de poda em relação ao volume de matéria orgânica gerada, conforme a Equação 4.

$$V_P = V_{MO} \times P_P \quad (4)$$

Onde:

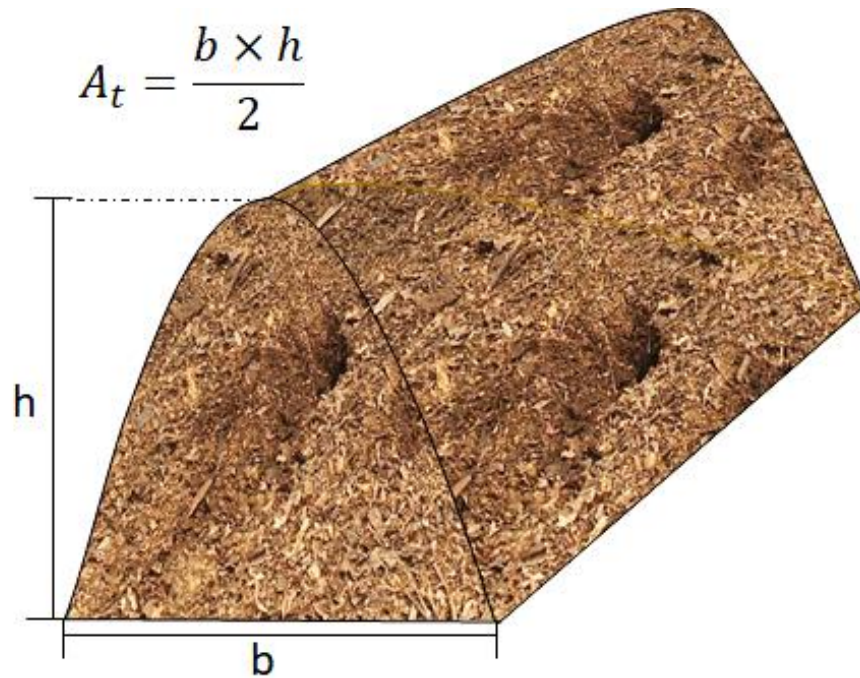
V_P = Volume de poda (m³/dia);

V_{MO} = Volume de Matéria orgânica gerada (m³/dia);

P_P = Proporção de poda (%).

Dessa forma, o volume total da mistura é a soma de V_{MO} e V_P . Obtendo o volume total da mistura, o próximo passo foi dimensionar as leiras de compostagem, sendo adotadas leiras no formato prismático (Figura 06).

Figura 6: Modelo de leira no formato prismático.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para o dimensionamento das leiras, foi considerado a área transversal (At_L) em um formato triangular. Normalmente, as leiras possuem de 1,5 a 2,0 metros de altura (h) e de 2,0 a 3,0 metros de base (b), sendo que o comprimento pode ser variável (BRASIL, 2015).

Ainda no dimensionamento das leiras, foi necessário quantificar o volume que cada leira irá comportar (Equação 5).

$$V_L = C_L \times At_L \quad (5)$$

Onde:

V_L = Volume da leira (m^3);

C_L = Comprimento da leira (m);

At_L = Área transversal da leira (m^2).

Com o volume de cada leira, o próximo passo foi definir a quantidade de leiras necessárias para atender o volume de matéria orgânica gerada diariamente (Equação 6). Com isso, foi considerado o tempo de compostagem até a geração do composto orgânico variando entre 90 e 120 dias (BRASIL, 2015).

$$Q_L = \frac{V_t}{V_L} \times T_C \quad (6)$$

Onde:

Q_L = Quantidade de leiras;

V_t = Volume total da mistura (m^3 /dia);

V_L = Volume da leira (m^3);

T_c = Tempo de compostagem (dia).

A partir disso, realizou-se o dimensionamento da área útil do pátio de compostagem (Equação 7), considerando o dobro da área de folga para a operação de máquinas e intervalo entre as leiras.

$$A_u = 2 \times (Q_L \times b \times C_L) \quad (7)$$

Onde:

A_u = Área útil do pátio de compostagem (m^2);

Q_L = Quantidade de leiras;

b = Base da leira (m);

C_L = Comprimento da leira (m).

Ainda, considerou-se um fator de segurança, para então encontrar a área total do pátio de compostagem (Equação 8).

$$A_{pc} = A_u \times F_s \quad (8)$$

Onde:

A_{pc} = Área total do pátio de compostagem (m^2);

A_u = Área do pátio de compostagem (m^2);

F_s = Fator de segurança (%).

4.2.3 Dimensionamento do galpão de triagem

O galpão de triagem deve ser dividido em áreas destinadas para o administrativo, vestiário, almoxarifado, banheiros, local para recepção, triagem e mistura dos resíduos, além de uma área para armazenagem e peneiramento do composto maturado (PARANÁ, 2013; BRASIL 2015).

O cálculo da área de armazenagem e peneiramento do composto maturado, também foi baseado em Pereira Neto (1996), no Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (PARANÁ, 2013) e no Guia de Compostagem (BRASIL, 2015).

A partir do volume total da mistura recebido diariamente, calculou-se o volume de composto maturado gerado (Equação 9), considerando uma capacidade de armazenagem de até 15 dias e uma redução de 70 % no volume do composto maturado em relação ao volume inicial (BRASIL, 2015).

$$V_{CM} = V_T \times T_a \times 0,3 \quad (9)$$

Onde:

V_{CM} = Volume de composto maturado (m³);

V_T = Volume total da mistura (m³/dia);

T_a = Tempo de armazenagem (dia).

Através do volume de composto maturado destinado para armazenagem e peneiramento, encontrou-se a área necessária para este local, conforme a Equação 10. Para isso, considerou-se uma altura para armazenagem do material, em torno de 1,5 metros e o dobro da área para fluxo de pessoas e manobra de maquinários (PEREIRA NETO, 1996; BRASIL, 2015).

$$A_a = \frac{V_{cm}}{h_a} \times 2 \quad (10)$$

Onde:

A_a = Área para armazenagem e peneiramento (m²);

V_{cm} = Volume de composto maturado (m³);

h_a = Altura para armazenagem (m).

Para o dimensionamento do galpão de triagem, foi considerado o Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos do Ministério do Meio Ambiente - MMA (BRASIL, 2010) e no Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (PARANÁ, 2013).

Os equipamentos, maquinários e funcionários necessários, foram baseados no Manual de Gerenciamento Integrado da CEMPRE (2018).

4.2.4 Implantação da UTC

O estudo da implantação ocorreu a partir de análises com base no dimensionamento da UTC e de acordo com as características de gestão do RSU do município (gravimetria, formas de coleta, frequência de coleta, número da frota de

caminhões, formas de destinação dos RSU e a Educação Ambiental adotada no município).

4.3 ESTRATÉGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

As estratégias de EA tiveram como base, o uso de ferramentas de TIC, com uso de aplicativos e/ou redes sociais que possam ter uma interface digital com o usuário. Desta forma, apresentando uma alternativa para a EA e para a gestão dos RSU, auxiliando na redução do volume de material reciclável encaminhado para aterro, além de melhorar a triagem, disposição e acondicionamento dos RSU, aumentando o grau de triagem dos resíduos recebidos na UTC.

As Tecnologias de Informação e Comunicação, têm se demonstrado uma ótima opção como instrumento de gestão para solução de diversos problemas. Sendo assim, foi explorada a possibilidade de implantação de sistemas de TIC por meio de publicações sobre o tema, com estratégias que aumentem o desempenho na gestão dos resíduos sólidos e na educação ambiental. Tendo como prioridade melhorar os problemas como atrasos na coleta, informações práticas de segregação de resíduos, controle de fiscalização, falha na comunicação e entre outros (KLEIN, et al., 2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO RSU NO MUNICÍPIO

5.1.1 Composição Gravimétrica dos Resíduos

O último levantamento gravimétrico dos resíduos encaminhados para o aterro sanitário, foi realizado no ano de 2021. Para isso, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) utilizou uma metodologia que considerou a técnica de quarteamento presente na ABNT NBR 10.007 (2004), mas também adaptando metodologia de outros autores.

A mesma metodologia já havia sido utilizada no PMGIRS (FRANCISCO BELTRÃO, 2012), para realizar a gravimetria dos resíduos encaminhados para o aterro sanitário, no ano de 2012. Porém, a análise havia considerado apenas nove bairros. Os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Composição gravimétrica dos resíduos encaminhados para aterro sanitário.

Ano	Matéria Orgânica	Rejeito	Reciclável
2012	61,8 %	11,6 %	26,6 %
2021	44,9 %	37,0 %	18,1 %

Fonte: Adaptado de SMMA (2021).

Diante dos resultados da composição gravimétrica dos resíduos destinados para o aterro sanitário, nos anos de 2012 e 2021, foi possível observar uma diminuição de 8,5 % dos resíduos recicláveis e 16,9 % dos resíduos orgânicos, havendo um aumento de 25,4 % na composição do rejeito.

As análises gravimétricas dos rejeitos apontaram a existência de materiais como resíduos de sanitários (papel sanitário, fraldas, absorvente e etc.), embalagens contaminadas por resíduo não perigoso (embalagens, papéis engordurados, papel metalizado entre outros).

Porém, durante a visitação, foi possível constatar uma presença significativa de materiais recicláveis na massa de resíduos depositados no aterro. Conforme a última gravimetria desenvolvida pela SMMA (Tabela 05), em média 18,1 % do material destinado para o aterro sanitário é reciclável (plástico, papel, papelão, vidro, metal e entre outros). Ou seja, apesar de existir uma coleta seletiva para os materiais

recicláveis e reutilizáveis no município, ainda uma parcela significativa deste material é aterrada.

De acordo com os dados da gravimetria do ano de 2021, alguns bairros (Centro, Vila Nova, Industrial, São Cristovão e Água Branca) chegam a atingir 29 % de materiais recicláveis destinados para o aterro sanitário (SMMA, 2021).

5.1.2 Resíduos Recicláveis

Segundo Rigo (2014, 2021), o município de Francisco Beltrão é pioneiro na região sudoeste do Paraná, na implantação da coleta seletiva. Em 2008, a coleta seletiva iniciou-se no município, sendo realizada apenas em alguns bairros pela Associação dos Catadores de Papel de Francisco Beltrão (ASCAPABEL), em parceria com o Interact Club. No ano de 2010 foi criada a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), sendo responsável pela coleta seletiva e pela coordenação dos resíduos. No mesmo ano, a ASCAPABEL passou a atuar em um barracão de 1.000 m², implantado em uma área de 6.000 m², localizada no bairro Luther King, através da administração pública com recursos do governo federal. Junto à mudança, a associação adquiriu uma esteira e uma balança eletrônica, utilizando recursos próprios.

Em seguida, no ano de 2012, com o surgimento da Marrecas Cooperativa de Reciclados (MARCOP), o objetivo era de dividir a cidade em duas regiões para a coleta dos recicláveis, porém sem êxito. Sendo assim, a ASCAPABEL permaneceu atuando no município através de catadores autônomos, coleta em empresas privadas e realizando o comércio dos materiais recicláveis. Atualmente a ASCAPABEL é localizada ao lado da MARCOP, onde o terreno foi dividido para que ambos continuem com seus serviços. Porém, somente a MARCOP responsabilizando-se pela coleta seletiva em todo o município, mediante licitação (RIGO, 2021).

Atualmente, além da MARCOP, existe um grande número de catadores informais envolvidos na coleta de recicláveis, realizando a coleta de forma autônoma, utilizando carrinhos ou automóveis próprios. Além disso, formaram-se associações e empresas que realizam coletas informais (não vinculadas a prefeitura municipal) de materiais recicláveis, atuando também no comércio de recicláveis (RIGO, 2021).

Conforme informou Rigo (2021), estas coletas informais causam problemas para o sistema de coleta seletiva, pelo fato de interferirem na rota de coleta definida

pela MARCOP. Além disso, estas empresas realizam uma coleta caracterizada como “coleta selecionada”, na qual os catadores rasgam as sacolas e refiram os resíduos, em busca de material com maior valor de mercado (papelão, PET, alumínio, etc.).

Outra adversidade em relação aos recicláveis, está a segregação dos recicláveis por parte da população, havendo uma alta contaminação de recicláveis por matéria orgânica. Em um trabalho desenvolvido por Balbinotti (2019), na cooperativa MARCOP, identificou-se uma média de 28 % de rejeitos presentes na coleta seletiva, sendo evidenciado uma alta taxa de resíduos orgânicos e materiais diversos misturados junto aos recicláveis. A maior quantidade de material misturado, foi identificado na área central da cidade, assim como relatado pela SMMA (SMMA, 2021).

Parte deste rejeito ainda é enviado para uma última triagem, juntamente com os materiais recicláveis que não passaram pela triagem na MARCOP, devido à falta de mão de obra. Esta triagem é realizada por catadores e pessoas autônomas, ocorrendo em barracões (Figura 07) localizados próximo à área rural (cerca de 5 km do aterro sanitário municipal) (PENSO, 2021).

Figura 7: Barracão para triagem final de materiais recicláveis.



Fonte: Autoria própria (2021).

Dentre os materiais recicláveis presentes no local, identificou-se grande quantidade de papel misto, isopor, plásticos pequenos e restos (resíduos menores, com difícil triagem), possuindo características de menor valor econômico.

Os resíduos são acondicionados em *big bag's*, sendo alocados dentro dos barracões e no pátio (em solo e com área descoberta). Após esta última triagem, os resíduos não aproveitados são destinados para o aterro sanitário municipal.

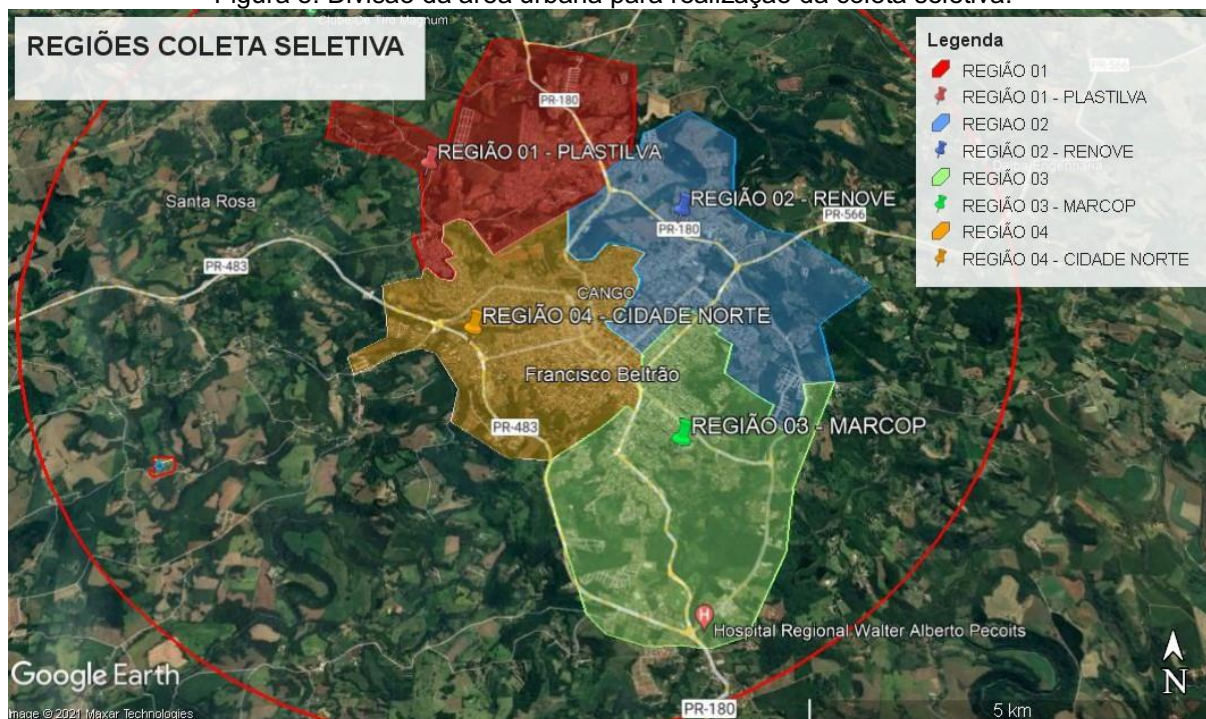
Buscando melhorar o sistema de coletas e minimizar os efeitos das coletas informais, a SMMA elaborou o Chamamento Público nº 019/2021, com o objetivo de unir estas cooperativas, empresas e catadores informais. Segundo RIGO (2021), a

MARCOP está com dificuldades em atender a coleta seletiva dos materiais recicláveis em toda a cidade, dessa forma, a ajuda de demais integrantes é bem-vinda, desde que atenda aos requisitos do edital.

De acordo com um estudo técnico preliminar realizado pela SMMA, para melhorar a qualidade e a periodicidade da coleta dos materiais recicláveis, a solução seria dividir a cidade em áreas, com a participação de outras cooperativas e associações. Dessa forma, durante o processo licitatório, foi possível credenciar quatro associações/cooperativas (FRANCISCO BELTRÃO, 2021).

As quatro credenciadas devem começar a coleta a partir do dia 1º de dezembro de 2021. Para isso, o perímetro urbano ficou dividido em quatro regiões, conforme a Figura 8. Cada região delimitada é identificada por uma cor, assim como as cooperativas/associações responsáveis por realizar a coleta, que devem possuir seus veículos coletores e coletes identificando a cor da região em questão (FRANCISCO BELTRÃO, 2021).

Figura 8: Divisão da área urbana para realização da coleta seletiva.



Fonte: Francisco Beltrão (2021).

As associações e cooperativas credenciadas, precisaram seguir uma série de condições presentes no edital, dentre elas: possuir uma situação regular perante a fazenda federal, estadual e municipal, INSS, FGTS, justiça do trabalho, não estar em

recuperação judicial/extrajudicial, possuir as licenças adequadas para a atividade e entre outras (FRANCISCO BELTRÃO, 2021).

Os credenciados podem prestar serviços de coleta de materiais recicláveis e reutilizáveis, no perímetro urbano do município de Francisco Beltrão. Recebendo um valor mensal de R\$ 56.832,11 (Cinquenta e seis mil, oitocentos e trinta e dois reais e onze centavos), divididos pelas quatro associações/cooperativas credenciadas. Sendo que o valor distribuído pode ser diferente para cada credenciado, se o mesmo já possuir algum benefício recebido através de recursos do município (FRANCISCO BELTRÃO, 2021).

Dentre os serviços prestados, ainda consta a triagem do material, enfardamento e posterior comercialização. Havendo a necessidade de manter o controle de dados de todo o material coletado, sendo que, os rejeitos do processo de triagem não devem ser superiores à 25 % do volume coletado. Caso o credenciado execute suas atividades operacionais com alguma irregularidade prevista no edital, o mesmo poderá sofrer penalidades, caracterizadas como leves, médias, graves e gravíssimas, com penalidades de 1 %, 2 %, 4 %, e 5 % sobre o valor global do mês, respectivamente (FRANCISCO BELTRÃO, 2021).

5.1.3 Resíduo Sólido Urbano

Segundo a SMMA, as coletas dos resíduos domiciliares são atendidas com regularidade em todos os bairros, contando atualmente com uma frota de sete caminhões compactadores, sendo um deles para coleta em área rural. A coleta dos resíduos domiciliares é realizada com uma frequência que varia entre uma e seis vezes por semana. Sendo mais comum aos bairros, coletas de duas ou três vezes por semana (FRANCISCO BELTRÃO, 2021). De acordo com Rigo (2021), não existe reclamações frequentes por parte da população referente a este tipo de coleta.

Apesar da coleta do RSU estar sendo cumprida com a periodicidade prevista, a SMMA já possui previsão para expansão de infraestrutura e de pessoal para coleta. Buscando garantir a expectativa do crescimento populacional e da conseqüente maior geração de resíduos, será necessário a aquisição de mais um caminhão compactador, assim como mais uma equipe para coleta, para os próximos dois anos (RIGO, 2021).

Na área urbana, os problemas ainda estão na segregação inadequada na fonte geradora e no mal acondicionamento dos resíduos em geral (Figura 9).

Ocorrendo misturas de resíduos de saúde, eletrônicos, vidros quebrados entre outros resíduos, junto aos recicláveis e aos orgânicos.

Figura 9: Acondicionamento de resíduos nas vias de Francisco Beltrão.



Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 9, é possível identificar diversos resíduos dispostos pela população nos containers disponibilizados pela prefeitura em vários pontos da cidade, com a separação incorreta, além da deposição de resíduos sobre os espaços destinados a pedestres. Algumas empresas, prédios e condomínios, não dispõem de um local para acondicionamento externo de seus resíduos, dessa forma, um grande volume de resíduos são acumulados nos coletores cedidos pela prefeitura.

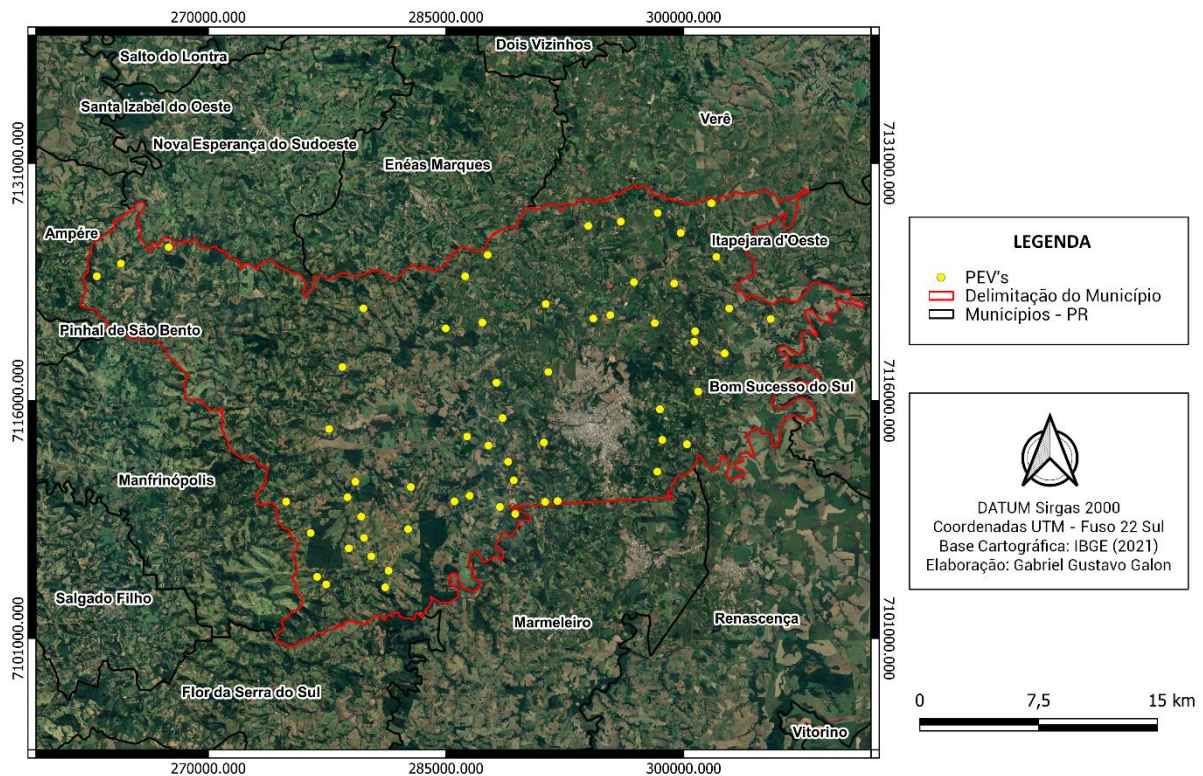
Apesar da prefeitura municipal disponibilizar coletores para a deposição/separação dos resíduos recicláveis (coletor cor amarela) e dos resíduos orgânicos/rejeitos (coletor cor azul), normalmente encontram-se resíduos orgânicos e rejeito dentro do coletor para os recicláveis e vice-versa. Sendo que situações como estas são evidenciadas com frequência, e demonstram a falta de responsabilidade compartilhada por parte da maioria da população, ou ainda, a ineficácia das ações de EA que a prefeitura alega ter.

5.1.3.1 Resíduos Domiciliares da área rural

Para realizar a coleta dos resíduos domiciliares na área rural, são utilizados Pontos de Entrega Voluntários (PEV's), instalados em pontos estratégicos, visando proporcionar o acondicionamento adequado dos resíduos gerados, havendo coleta com frequência mensal. Para isso, o município disponibilizou, mais de sessenta PEV's com estrutura coberta, piso impermeável e local para acondicionamento separado de

resíduos recicláveis e orgânicos/rejeito. Na Figura 10 pode-se observar a distribuição dos PEV's no município (SMMA, 2021).

Figura 10: Distribuição dos PEV's na área rural de Francisco Beltrão.



Fonte: Adaptado da SMMA (2021).

A construção destes PEV's é de responsabilidade da comunidade, a SMMA fornece os materiais necessários e o projeto (Figura 11) contendo medidas e instruções para construção (RIGO, 2021).

Figura 11: PEV em área rural de Francisco Beltrão.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Segundo Rigo (2021), o maior problema enfrentado na área rural, é o descarte incorreto dos resíduos, sendo frequente a destinação de móveis, eletroeletrônicos e resíduos de outros municípios nos PEV's. Além disso, existe a coleta informal de recicláveis, na qual ocorre a seleção dos materiais recicláveis com interesse apenas pelos materiais de maior valor comercial. Também existem casos de vandalismo, com a ocorrência de pelo menos quatro PEV's queimados.

5.1.4 Educação Ambiental no Município

As ações de Educação Ambiental (EA), tem como base as divulgações na imprensa em geral (rádio e jornal local), buscando advertir a população sobre a correta segregação dos resíduos a ser adotada no município. Assim como os destinos dados aos materiais recicláveis, rejeito/orgânico, móveis, resíduos eletroeletrônicos e os resíduos de podas de árvores. Sendo que, cada uma das categorias possui destinos diferenciados (RIGO, 2021).

Para atender dúvidas que a população possa ter, é divulgado o número de *whatsapp* da SMMA, sendo possível realizar ligações, enviar mensagens ou podendo comparecer presencialmente na secretaria.

As práticas de EA e informações relevantes sobre os resíduos, também são postadas nas redes sociais da prefeitura municipal, não havendo uma rede social exclusiva para a SMMA. A secretaria ainda utiliza o site da prefeitura, para disponibilizar informações referente aos dias de coleta dos resíduos, frequência, locais disponíveis, formas de acondicionamento e destinos finais dos resíduos (FRANCISCO BELTRÃO, 2021).

Recentemente, houve a inauguração do Ecomuseu Jorge Baleeiro de Lacerda (Figura 12), sendo um espaço dedicada a fomentar práticas e ensinamentos culturais, de cunho ambiental e ecológico.

Figura 12: Fachada do Ecomuseu.



Fonte: Francisco Beltrão (2021).

Localizado no Parque Ambiental Irmão Cirilo, bairro Padre Ulrico em Francisco Beltrão, o Ecomuseu possui uma infraestrutura de 504 m², com sala para exposição, espaço para acervo e pesquisa, área administrativa e auditório com 85 lugares, além do viveiro de muda (Figura 13) localizado ao lado do Ecomuseu. Além das práticas de EA, o Ecomuseu apresenta um acervo cultural sobre os povos indígenas que habitaram o sudoeste do Paraná e uma galeria de animais taxidermizados (empalhados) presentes no bioma da Mata Atlântica (Figura 16), somando um total de 46 espécies (FRANCISCO BELTRÃO, 2021).

Figura 13: Viveiro Municipal.



Figura 14: Prática de Educação Ambiental.



Fonte: Francisco Beltrão (2021).

Figura 15: Palestra no auditório.



Figura 16: Exposição dos acervos.



Fonte: Francisco Beltrão (2021).

Anteriormente, a SMMA já promovia palestras em escolas, com a finalidade de educar crianças e jovens em relação as corretas práticas ambientais.

5.1.5 Aterro Sanitário Municipal

O levantamento de dados acerca do aterro sanitário municipal, foi realizado através de visita técnica, com o acompanhamento da Engenheira Química responsável técnica pelo aterro sanitário. Não foi permitido o registro fotográfico durante o período de visita. Demais informações foram obtidas com a Engenheira após a visita técnica.

O aterro sanitário (Figura 17) recebe o resíduo sólido domiciliar da área urbana do município e também dos pontos de coleta na área rural, totalizando uma quantidade diária média de 43 toneladas. Atualmente, a balança para pesagem periódica dos resíduos encontra-se estragada, tornando mais difícil a aferição das quantidades geradas (FRANCISCO BELTRÃO, 2021; PENSO, 2021).

Figura 17: Visão panorâmica do Aterro Sanitário.



Fonte: Francisco Beltrão (2021).

O aterro sanitário está utilizando a última camada da célula ativa (Figura 18), e está estruturando uma nova célula (no mesmo terreno), com previsão para início de funcionamento em dezembro de 2021. A capacidade da nova célula poderá variar entre 1 ano e 6 meses, até 3 anos, conforme o crescimento da geração de resíduos no município, e possui uma dimensão de aproximadamente 161,00 x 53,00 metros (PENSO, 2021).

De acordo com Penso (2021), não existe uma triagem prévia dos resíduos no aterro sanitário, sendo que a área é fechada e monitorada, não havendo catadores de materiais recicláveis na localidade.

Figura 18: Preenchimento da última camada de uma célula do Aterro.



Fonte: Francisco Beltrão (2021).

O aterro tem passado por complicações no aterramento dos resíduos, segundo Penso (2021), o trator de esteira está danificado por conta de problemas mecânicos, sendo substituído por uma escavadeira, o que vem atrasando o processo de compactação e aterramento dos resíduos recebidos.

Além disso, o aterro possui dificuldade na drenagem dos gases gerados em seu interior, provenientes da decomposição dos resíduos. A célula atual, não possui uma sequência padronizada para drenar os gases, formando eventuais “bolsões” de gases que podem causar acidentes, uma vez que os gases possuem em sua composição elementos inflamáveis, como o gás metano (CH₄). Por conta disso, o aterro não pode realizar a queima do gás. Já a nova célula, está sendo projetada para desempenhar a drenagem correta dos gases, podendo haver o reaproveitamento do biogás, na geração de energia elétrica (PENSO, 2021).

Os resíduos líquidos ou chamado “chorume” gerado no aterro sanitário, são submetidos um tratamento biológico, realizado em três lagoas de biodigestão. Após o tratamento, o efluente é recirculado no aterro com o auxílio de uma bomba (PENSO, 2021).

A fim de verificar a existência de contaminação, são realizadas análises de água em cinco poços localizados a jusante e a montante das células do aterro (PENSO, 2021).

5.2 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

5.2.1 Dimensionamento da UTC

A proposta de dimensionamento para a UTC, considerou a projeção de geração de RSU para o município de Francisco Beltrão, até o ano de 2040.

Segundo SMMA (2021), a cobertura de coleta dos resíduos atende 100 % da cidade de Francisco Beltrão, com uma geração per capita de RSU de 0,75 kg.dia/habitante. Sendo necessário considerar ainda, o crescimento da geração per capita de resíduos, que têm demonstrado aumento ao passar dos anos. De acordo com dados da ABRELPE (2020), a geração per capita dos RSU no Brasil, foi de 348,3 kg.ano/hab. em 2010, para 379,2 kg.ano/hab. em 2019, representando um aumento 8,9 % em uma década. Para a região sul, o aumento foi de 258,4 para 277,0 kg.ano/hab., havendo um crescimento de 7,2 % em uma década.

Além disso, foi considerado o ano de 2019, visto que o ano de 2020 foi impactado pela pandemia do novo coronavírus, causando retrações na economia e consequentemente na geração de resíduos (CEMPRE, 2018). Para isso, utilizou-se uma geração per capita de 0,759 kg.dia/hab. para o ano de 2019, conforme dados da ABRELPE (2020). Os resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Projeção para geração de RSU até o ano de 2040.

Parâmetro	Unidade	Símbolo	2019	2020	2030	2040
População	Habitantes	P_o	91.093	92.216	99.931	105.100
Cobertura de Coleta	%	C_o	100	100	100	100
Geração Per Capita	Kg.dia/hab	G_{PC}	0,759	0,750	0,804	0,862
Geração de RSU	kg/dia	G_{RSU}	69.130,85	69.162,00	80.344,52	90.584,43

Fonte: Adaptado de IPARDES (2018); ABRELPE (2020); IBGE (2021); SMMA (2021).

Conforme os dados obtidos, a geração de RSU é de 69,13 toneladas por dia para o ano de 2019 e de 69,16 toneladas por dia para o ano de 2020, não havendo uma mudança significativa, considerando a diferença populacional e a geração per capita superior para o ano de 2019.

Para os anos de 2030 e 2040, a geração de RSU é estimada em 80,34 e 90,58 toneladas por dia, respectivamente. O que apresenta um salto de mais de 10 toneladas por dia de RSU entre as décadas.

A partir da perspectiva de geração do RSU, calculou-se a quantidade de resíduo sólido orgânico (matéria orgânica) gerado. Considerando que a parcela de matéria orgânica presente no RSU do município corresponde a 44,9 %, e que 85% desse valor pode ser recuperado, ou seja, ser encaminhado para compostagem (BRASIL, 2015; SMMA, 2021).

Para encontrar o volume de matéria orgânica, utilizou-se uma massa específica de 800 kg/m³, para resíduo orgânico compactado (QUARESMA, 1998).

Seguindo do volume de matéria orgânica diária (Tabela 4), é necessário a mistura de uma fonte de Carbono ou material estruturante seco, para que a relação Carbono e Nitrogênio (C/N) fique em uma faixa desejável.

Tabela 4: Determinação do volume total da mistura para o pátio de compostagem.

Parâmetro	Unidade	Símbolo	2019	2020	2030	2040
Geração de RSU	kg/dia	G_{RSU}	69.130,85	69.162,00	80.344,52	90.584,43
Composição de MO	%	MO_{RSU}	44,90	44,90	44,90	44,90
Parcela recuperada	%	MO_{Rec}	85,00	85,00	85,00	85,00
Matéria Orgânica	kg/dia	MO	26.442,55	26.454,47	30.731,78	34.648,54
Massa Específica de MO	kg/m ³	MO_{Esp}	800	800	800	800
Volume de MO	m ³ /dia	V_{MO}	33,05	33,07	38,41	43,31
Proporção de poda/MO	%	P_P	40,00	40,00	40,00	40,00
Volume de Poda	m ³ /dia	V_P	13,22	13,23	15,37	17,32
Volume Total da mistura	m ³ /dia	V_T	46,27	46,30	53,78	60,63

Fonte: Adaptado de PEREIRA NETO (1996); QUARESMA (1998); BRASIL (2015); SMMA (2021).

Via de regra, uma relação de C/N ideal fica entre 20/1 e 35/1, porém, pode variar durante o processo de compostagem. Dessa forma, a relação C/N funciona como um indicador da biodegradabilidade do processo, diminuindo a proporção de C/N no processo de maturação até que o composto seja maturado (PEREIRA NETO, 1996; BRASIL, 2015; SOUZA et al., 2020).

Normalmente, a mistura deve conter maior proporção de uma fonte de carbono seco (material fibroso, folhas, palhas e etc.). Porém, na compostagem de resíduos orgânicos heterogêneos, como é o caso de resíduos orgânicos provenientes da fração do resíduo urbano, não existe a necessidade em adicionar materiais auxiliares, visto que a relação C/N destes materiais já se encontram dentro da faixa ótima. Apesar disso, a sua adição pode auxiliar no processo, e na maioria dos casos é feito a adição em uma determinada proporção (PEREIRA NETO, 1996; PARANÁ, 2013).

Como fonte de Carbono para a mistura do resíduo orgânico, considerou-se a poda de árvores realizadas no município, sendo necessário adicionar um volume de poda para cada três volumes de matéria orgânica. Para o dimensionamento do pátio de compostagem, foi considerado uma proporção de 40 % de poda em relação ao volume de matéria orgânica, ou seja, para cada 100 litros de resíduo orgânico, adiciona-se 40 litros de poda (PEREIRA NETO, 1996; BRASIL, 2015).

De acordo com os resultados obtidos, a geração de matéria orgânica para o ano de 2019 e 2020 ficou em 26,44 e 26,45 toneladas por dia, respectivamente. Sendo que para o ano de 2040, considerando uma população de 105.100 habitantes, a geração de material orgânico recuperado é estimada em torno de 34,65 toneladas por

dia, o que representa numa taxa de recuperação da parcela orgânica de aproximadamente 330 g.dia/hab.

Sendo assim, a UTC deve ser dimensionada considerando que irá receber um volume diário de 43,31 m³ de matéria orgânica. Considerando a proporção de poda necessária na mistura, o volume é totalizado em 60,63 m³/dia para o ano de 2040.

As leiras de compostagem com dimensões de 1,50 metros de altura e 3,00 metros de base, apresentam uma área de seção transversal de 2,25 m², e um comprimento de 40,00 metros, formando uma leira com formato prismático semelhante ao exemplo da Figura 19. Possuindo uma capacidade de armazenar um volume de 90 m³, ocupando uma área de 120,00 m², por leira (BRASIL, 2015).

Figura 19: Leiras de compostagem em formato prismático.



Fonte: Ecomark, Indústria e Comércio de Fertilizantes Especiais.

O resíduo orgânico submetido ao processo de compostagem, geralmente é maturado em torno de 90 e 120 dias. Iniciando-se pela fase de biodegradação do composto, com uma duração que pode variar entre 30 e 90 dias, passando para a fase de maturação, onde o composto é estabilizado em um período de 15 a 50 dias. Para calcular a quantidade de leiras necessárias, foi considerado um período total de compostagem de 100 dias (PEREIRA NETO, 1996; MASSUKADO, 2008; BRASIL, 2015).

Dessa forma, a quantidade de leiras formadas ao longo dos 100 dias de compostagem, seria de aproximadamente 51 leiras para os anos de 2019 e 2020. Esta quantidade cresce para cerca de 60 leiras no ano de 2030 e 67 leiras para o ano de 2040 (Tabela 5).

Tabela 5: Dimensionamento das leiras para o pátio de compostagem.

Parâmetro	Unidade	Símbolo	2019	2020	2030	2040
Base da Leira	m	b	3,00	3,00	3,00	3,00
Altura da Leira	m	h	1,50	1,50	1,50	1,50
Área Seção Leira	m ²	At_L	2,25	2,25	2,25	2,25
Comprimento da leira	m	C_L	40,00	40,00	40,00	40,00
Volume por Leira	m ³	V_L	90,00	90,00	90,00	90,00
Tempo de Compostagem	dias	T_C	100,00	100,00	100,00	100,00
Quantidade de Leiras	Adimensional	Q_L	51,42	51,44	59,76	67,37

Fonte: Adaptado de PEREIRA NETO (1996); MASSUKADO (2008); BRASIL (2015).

De acordo com a quantidade de leiras necessárias, obtêm-se a área útil para o pátio de compostagem, considerando uma área de 120 m² por leira. A partir disso, a área ocupada pelas leiras de compostagem é dobrada, buscando respeitar um espaço para manobra de maquinários e fluxo de pessoas. Por fim, para a área calculada adiciona-se um fator de segurança de 15 % (PEREIRA NETO, 1996; BRASIL, 2015).

A área total para o pátio de compostagem é estimada em 13.265,35 m² e 13.271,32 m² para os anos de 2019 e 2020, respectivamente. Sendo assim, estes valores representam a área que o pátio de compostagem exigiria atualmente. Porém, para dimensionar o pátio de compostagem considerando a demanda futura, o pátio deverá ser projetado a partir da área encontrada para o ano de 2040. Dessa forma, conforme indicado na Tabela 6, a área necessária para o pátio de compostagem é de 17.382,02 m².

Tabela 6: Dimensionamento da área do pátio de compostagem.

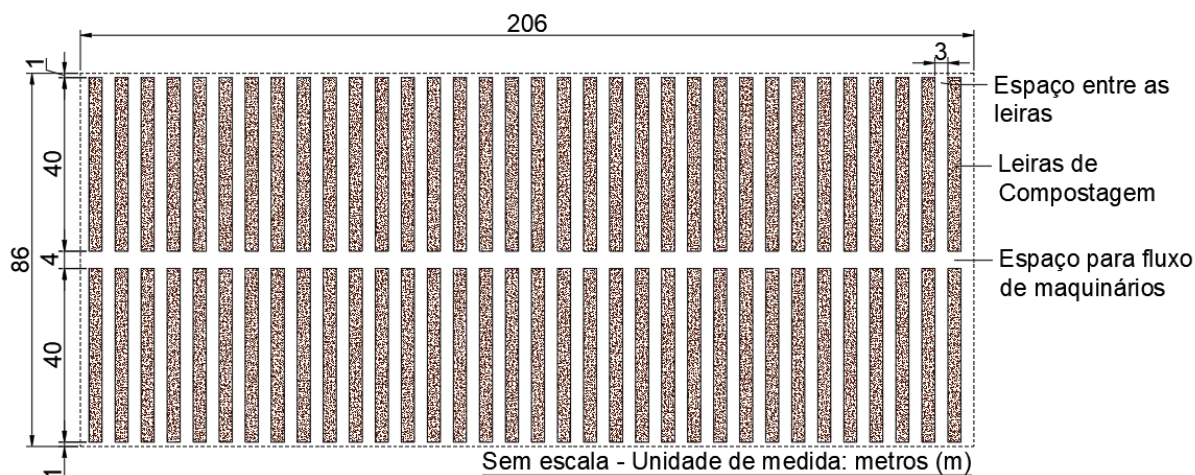
Parâmetro	Unidade	Símbolo	2019	2020	2030	2040
Área Útil	m ²	A_u	6.169,93	6.172,71	7.170,75	8.084,66
Espaço para manobra	%	A_m	100,00	100,00	100,00	100,00
Fator de Segurança	%	F_s	15,00	15,00	15,00	15,00
Área Total do Pátio de Compostagem	m ²	A_{pc}	13.265,35	13.271,32	15.417,11	17.382,02
Largura do Pátio	m	L_p	86,00	86,00	86,00	86,00
Comprimento do Pátio	m	C_p	154,25	154,32	179,27	202,12

Fonte: Adaptado de PEREIRA NETO (1996); BRASIL (2015).

Portanto, o pátio de compostagem deve possuir uma dimensão mínima estimada em 86,00 x 202,12 metros.

Conforme a Figura 20, o pátio de compostagem foi dimensionado com uma área de 86 x 206 metros, possuindo 2 linhas e 34 colunas de leiras, que totalizam em uma capacidade de 68 leiras para o pátio de compostagem.

Figura 20: Planta do pátio de compostagem.



Fonte: Autoria Própria.

A largura do pátio de compostagem foi dimensionada respeitando uma distância de 4 metros entre as fileiras de leiras, para o fluxo de maquinários e de pessoas, 3 metros entre a lateral das leiras e 1 metro da borda do pátio.

5.2.2 Dimensionamento do galpão de triagem

No dimensionamento do galpão de triagem, a área destinada para armazenagem e peneiramento do composto maturado, considerou um tempo de armazenagem de até 15 dias, uma altura de armazenagem do composto de 1,5 metros

e o dobro da área para fluxo de pessoas e maquinários. Obtendo os resultados, conforme a Tabela 7 (PEREIRA NETO, 1996; PARANÁ, 2013; BRASIL, 2015).

Tabela 7: Dimensionamento da área para armazenagem e peneiramento do composto maturado.

Parâmetro	Unidade	Símbolo	2019	2020	2030	2040
Tempo de armazenagem	dias	T_a	15,00	15,00	15,00	15,00
Volume de composto maturado	m ³	V_{cm}	208,24	208,33	242,01	272,86
Altura para armazenagem	m	h_a	1,50	1,50	1,50	1,50
Espaço para manobra	%	A_m	100,00	100,00	100,00	100,00
Área para armazenagem	m ²	A_a	277,65	277,77	322,68	363,81

Fonte: Adaptado de PEREIRA NETO (1996); PARANÁ (2013); BRASIL (2015).

Para a área de armazenagem e peneiramento do composto maturado, deve-se reservar uma área mínima de 363,81 m², para o ano de 2040. Já em relação aos setores de administrativo, vestiário, almoxarifado e banheiros, de acordo com Pereira Neto (1996) e o Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (PARANÁ, 2013), deve-se considerar as áreas apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Área de infraestruturas da UTC.

Local	Área (m ²)
Administrativo	70
Vestiário	100
Almoxarifado	50
Banheiros	14

Fonte: PEREIRA NETO (1996); PARANÁ (2013).

Dessa forma, as áreas do administrativo, vestiário, almoxarifado e banheiros, resultam em 234 m². Somados a área para armazenagem e peneiramento, tem-se uma área mínima de 597,81 m².

A partir disso, o galpão de triagem utilizou como base os portes de galpões, conforme a Tabela 9. Apresentando quatro opções de galpões adotados, para a concessão de recursos aos municípios (BRASIL, 2010).

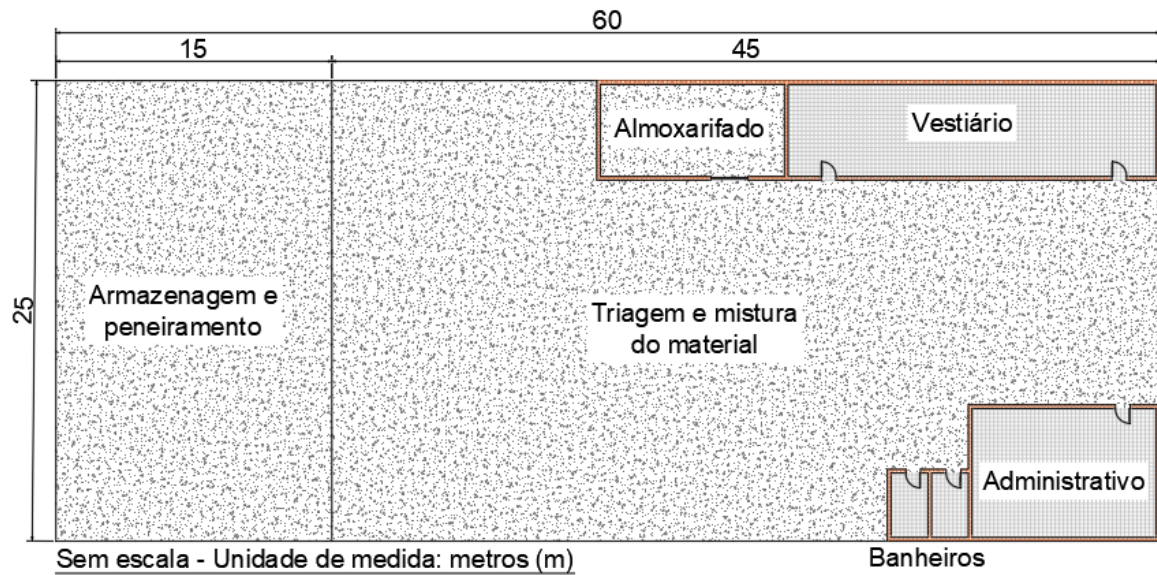
Tabela 9: Porte dos galpões.

Itens	Galpão			
	Pequeno	Médio	Grande	Muito Grande
m ² edificadas	300	600	1.200	1.500

Fonte: Adaptado de BRASIL (2008); PARANÁ (2013).

Considerando um galpão de 1.500 m², com dimensões de 25 x 60 metros (Figura 21), restam cerca de 900 m² de área destinada para recepção, triagem e mistura dos resíduos.

Figura 21: Planta do galpão.



Fonte: Autoria Própria.

Em relação aos equipamentos e maquinários necessários, foi considerado o Manual de Gerenciamento Integrado da CEMPRE (2018), indicando para uma UTC que recebe cerca de 50 toneladas por dia de RSU, os seguintes equipamentos, conforme a Tabela 10.

Tabela 10: Equipamentos e maquinários para UTC.

Setor	Equipamento ou maquinário	Função
Recepção dos resíduos	01 Balança rodoviária	Pesagem do resíduo encaminhado para UTC
	02 Moegas ou Tremonhas	Alimentação da esteira de triagem
Triagem e mistura	02 Esteiras de triagem	Movimentação dos resíduos para seleção (triagem)
	02 Eletroímãs	Capturar materiais metálicos existentes na massa de resíduos
	01 Triturador	Triturar os resíduos orgânicos, afim de diminuir sua granulometria
Armazenagem e peneiramento	01 Peneira	Peneirar o composto já maturado
Pátio de compostagem	01 Caminhão	Transportar os resíduos e o material compostado
	02 Tratores	Realizar a mistura do material e transportar o revolvedor de leiras
	02 Revolvedores de leiras	Revolver as leiras de compostagem

Fonte: Adaptado de CEMPRE (2018).

Para a operação da UTC, são necessários as seguintes quantidades de funcionários por função, conforme a Tabela 11 (CEMPRE, 2018).

Tabela 11: Quantidade de funcionários para UTC.

Cargo	Quantidade
Gerente	1
Administrativos	3
Técnicos de nível médio	1 a 2
Motoristas	2
Operador de máquina	2 a 3
Mão-de-obra não qualificada	40 a 50

Fonte: CEMPRE (2018).

Para operação das estruturas (galpão e pátio de compostagem), são necessários cerca de 50 a 60 funcionários, sendo pelo menos 40 funcionários destinados a recepção e triagem dos resíduos (CEMPRE, 2018).

Por se tratar de uma UTC de grande porte, alguns equipamentos e maquinários passam a ser viáveis e interessantes para a operação, principalmente se tratando do pátio de compostagem. Podendo contar com dois tratores e dois revolvedores de leiras para a operação do pátio (CEMPRE, 2018).

Na Figura 22, pode-se observar um exemplo de um trator transportando um revolvedor de leiras em um pátio de compostagem, com a finalidade de revirar a composteira de forma mais prática e rápida.

Figura 22: Exemplo de trator operando com um revolvedor de leiras.



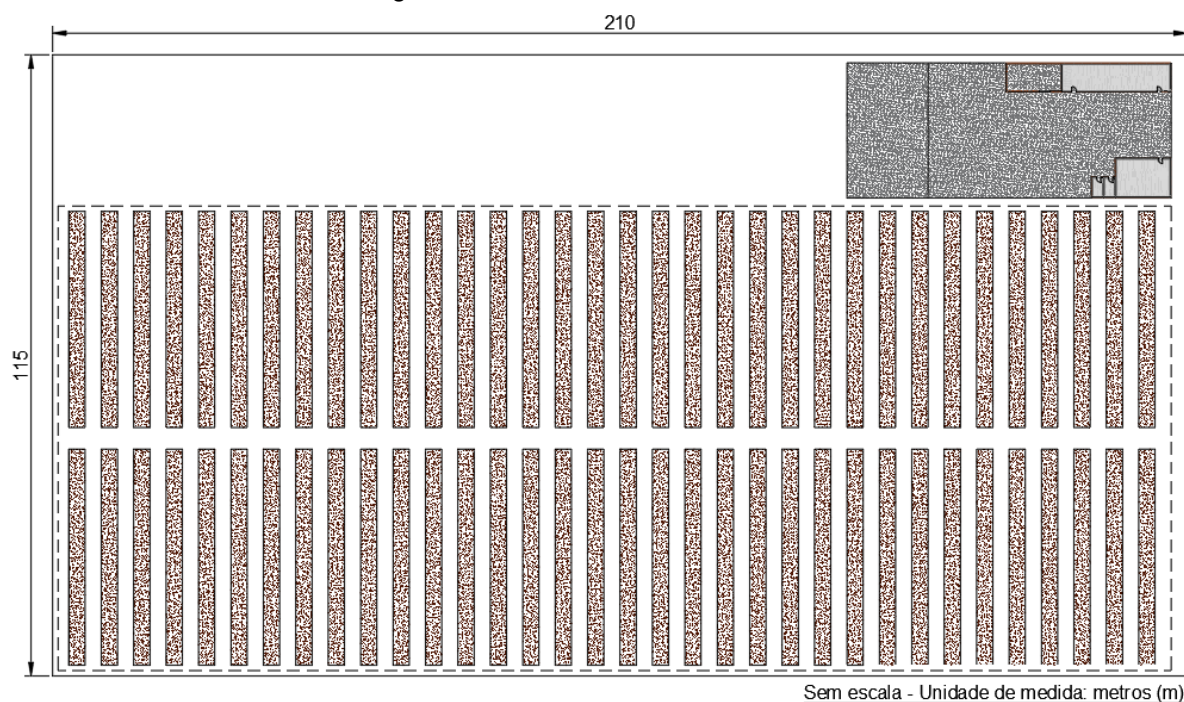
Fonte: Máquina Solo.

Vale ressaltar que, é necessária uma garagem para armazenar tais equipamentos e maquinários. Além de fazer um *layout* para alocar os equipamentos e maquinários dentro das estruturas da UTC.

5.2.3 Implantação da UTC

Conforme os resultados encontrados, a área total do pátio de compostagem (17.382,02 m²) junto a área do galpão de triagem (1.500 m²), somam 18.832,02 m². Considerando uma área de 115 x 210 metros, conforme demonstrado na Figura 23, a área total necessária para a UTC é estimada em 24.150 m².

Figura 23: Planta da área total da UTC.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Guia de Compostagem (BRASIL, 2015), uma UTC de grande porte para municípios com mais de 100 mil habitantes (50 t a 200 t/dia), requerem uma área que varia entre 15 e 50 mil metros quadrados. Demonstrando conformidade com o resultado encontrado.

Com a instalação de uma UTC, o município pode ter benefícios diretos através da geração de empregos, menor impacto ambiental, redução dos custos operacionais do aterro sanitário, aumento a vida útil do aterro e a produção de composto orgânico (CEMPRE, 2018).

O município de Francisco Beltrão adotou recentemente, uma solução de curto prazo para a destinação final dos resíduos sólidos, implantando uma nova célula que poderá receber resíduos por até 3 anos. Ou seja, até o ano de 2025, o município precisará adquirir uma nova área e estruturar uma nova célula ou um novo aterro sanitário (PENSO, 2021).

No PMGIRS de Francisco Beltrão, elaborado no ano de 2012, já havia interesse do município em implantar uma central de compostagem, com o objetivo de tratar resíduos de podas e resíduos orgânicos domiciliares, para produzir composto orgânico e utilizá-lo em áreas paisagísticas (canteiros, praças e parques) do município. Podendo gerar economias ao município, utilizando o adubo orgânico como insumos para o solo.

O pátio de compostagem seria construído na área do aterro sanitário, aproveitando espaço e os maquinários para operação da central de compostagem. O pátio deveria ser implantado até agosto de 2013, porém não teve êxito (FRANCISCO BELTRÃO, 2012).

Segundo o BNDES (2015), um aterro sanitário possui em média uma vida útil de vinte anos (com aproximadamente quatro anos por célula). Estimando-se em um custo de implantação de 5,13 milhões de reais para um aterro com capacidade de até 100 t/dia, totalizando em um custo aproximado de 52,44 milhões de reais ao longo de sua vida útil.

Conforme os resultados obtidos, com uma UTC em Francisco Beltrão realizando o tratamento dos resíduos orgânicos em uma taxa de recuperação de 85 %, atualmente, seria possível processar cerca de 26,45 ton/dia de matéria orgânica. Visto que a geração de RSU é em torno de 69,16 ton/dia, a UTC possui a capacidade de diminuir 38,25 % do RSU encaminhado para aterro, aumentando a vida útil significativamente.

Apesar da UTC não poder ser considerada como algo lucrativo, normalmente, visto os benefícios que a usina pode proporcionar, existe a viabilidade em sua implantação quando bem gerida (IBAM, 2001; CEMPRE, 2019).

5.3 ESTRATÉGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

De acordo com a situação identificada no município, a população apresenta pouca preocupação com a separação e a destinação adequada de seus resíduos, misturando materiais recicláveis com orgânicos/rejeitos, além de promover a deposição de resíduos de forma inadequada (ruas, calçadas, em solo, etc.).

Atualmente a prefeitura municipal inaugurou o Ecomuseu Jorge Baleeiro de Lacerda, sendo uma nova medida para promover ações de EA por meio de palestras ao ar livre, ensinamentos de cunho ambiental e ecológico (FRANCISCO BELTRÃO, 2021). Porém, as ações de EA de grande alcance, estão limitadas as divulgações na imprensa em geral (rádio e jornal local) e postagens na página da prefeitura municipal, além do número de *whatsapp* da SMMA para facilitar o contato (RIGO, 2021).

Uma ferramenta que têm provado ser uma excelente ferramenta de gestão são as TIC's, algo pouco utilizado no município de Francisco Beltrão. As TIC's possibilitam

uma disseminação de informações populares de forma mais igualitária e acessível, em especial com o uso de *smartphones* (ALVES, 2019).

De acordo com Castells (2015), a propagação de informações via internet conta com um baixo investimento, dando autonomia aos usuários e conseguindo levar a informação com extrema velocidade. Os *smartphones* por sua vez, têm sido um dos aparelhos mais utilizados para acesso à internet, com um número crescente de usuários.

Sendo assim, os aplicativos para *smartphones* (aplicativo *mobile*) tornam-se um excelente veículo para divulgação de informações referente a EA e a gestão dos RSU. Abrangendo um número maior de pessoas com informações atualizadas sobre problemas existentes acerca dos RSU, maior facilidade na comunicação (reclamações). Além disso, os aplicativos podem disponibilizar, conteúdos e instruções sobre a segregação adequada dos resíduos, aonde destiná-los e ainda promovendo um maior controle fiscal por parte da prefeitura municipal.

Garantindo um compartilhamento destas informações de maneira mais ampla, é possível a partir da compreensão e da conscientização coletiva, que as pessoas criem hábitos para separar e destinar corretamente seus resíduos. De forma que, quando o hábito é formado, se torna muito mais fácil realizar essas atividades, entrando na rotina das pessoas e não exigindo grande esforço por parte do indivíduo, agindo de forma “automática” e assim, criando responsabilidade pelo seu resíduo (DUHIGG, 2012).

O papel da educação ambiental proporciona um melhor grau de triagem dos RSU, havendo uma menor destinação de materiais recicláveis para o aterro sanitário, tornando mais fácil a triagem dos resíduos na UTC. Além disso, o trabalho com a EA também impacta na limpeza pública, mantendo as ruas mais limpas e evitando outros impactos como a contaminação de resíduos no solo, poluição de cursos hídricos, transmissão de vetores (doenças), entupimento de canais de drenagem, inundações e entre outros (CEMPRE, 2019).

6 CONCLUSÃO

Na caracterização do RSU, identificou-se que o município conta com um sistema de coleta seletiva, havendo adversidades com a existência de coletas informais e uma segregação inadequada por parte da população. Como resultado, têm-se uma grande quantidade de rejeitos enviados para a triagem nas cooperativas (cerca de 28 %) e um grande volume de material reciclável encaminhado para o aterro sanitário municipal.

Apesar disso, o município possui um sistema de gestão para os RSU, por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, que têm realizado mudanças no sistema de coleta seletiva. Expandindo a responsabilidade da coleta seletiva, que antes era realizada por uma associação/cooperativa, para quatro entidades.

Constatou-se que o município gera atualmente cerca de 26,45 toneladas de matéria orgânica por dia, passando para 34,65 toneladas para o ano de 2040. O que resultou em um volume de 43,31 m³/dia de material orgânico a ser processado na UTC no ano de 2040.

Em relação ao dimensionamento da UTC, o município precisaria dispor de uma área de 24.150 m², contando com um número de funcionários que pode variar entre 50 e 60 de trabalhadores, já considerando a geração de RSU para o ano de 2040. Além de realizar a aquisição de maquinários e equipamentos para operação da usina.

Com a implantação da UTC, o município pode gerar economias interessantes através do uso do composto orgânico gerado, além de diminuir significativamente os RSU encaminhados para o aterro sanitário. Com isso, é possível proporcionar um excelente resultado para o longo prazo.

Todavia, para a implantação da UTC recomenda-se realizar o levantamento de custos de forma detalhada, buscando a viabilidade econômica para a usina.

As ações de educação ambiental identificadas, limitam-se em divulgações na imprensa em geral (rádio e jornal local) e no contato através do número de *whats app* da SMMA. Observando-se a necessidade do fortalecimento das ações de EA, foi proposto como estratégia de EA a utilização de TIC's. Visto que esta ferramenta pode proporcionar enorme agilidade em disseminar as informações relevantes para melhoria da gestão dos RSU e promoção da EA. Através das TIC's a população pode melhorar as noções de EA e realizar mudanças por meio de um melhor grau de triagem dos resíduos, correta deposição e destinação dos resíduos.

Vale ressaltar a necessidade em realizar estudos para a implantação da ferramenta de TIC, verificando a melhor forma de uso e a viabilidade da mesma.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Av. Paulista, 807 - 2º andar - Cj. 207 CEP 01311-915 - São Paulo – SP. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 22 mar. 2021.

ANJOS, A. M. R.; PENNA, L. F. R.; AMORIM, R. P.; BARONY, F. J. A.; COSTA, G. S. **Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso na Usina de Triagem e Compostagem – UTC - de Tarumirim – MG**. 1º ConReSol, Gramado, jun. 2018. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2018/IV-027.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2021.

ALBUQUERQUE, L. R., SILVA S.F. **Programa Recicla Tibagi**. Prefeitura Municipal de Tibagi, outubro de 2011.

ALVES, B. L. P. **Proposta de Aplicativo Mobile para o Auxílio da Participação Popular na Gestão Urbana**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, 2019.

ARAÚJO, A. B. A.; MOURA, D. J. S.; JERÔNIMO, C. E. M. **As novas tecnologias de informação, comunicação e a educação ambiental**. Revista Monografias Ambientais – REMOA. v.14, n.3, mai-ago. 2014, p.3278-3288. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/download/13057/pdf>. Acesso em 16 nov. 2021.

BALBINOTTI, E. C. **Rejeitos na triagem de resíduos da coleta seletiva no município de Francisco Beltrão-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Francisco Beltrão, 2019.

BARATTO, D. S.; ROBAINA, L. E. S.; GODOY, M. B. R. B. **Os resíduos sólidos e a abordagem geográfica: um estudo de caso em municípios de pequeno porte**. Geosul, Florianópolis, v. 27, n. 54, p 99-115, jul./dez. 2012. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2012v27n54p99>.

Acesso em: 12 abr. 2021.

BERTICELLI, R.; KORF, E. P. **Diretrizes para Elaboração de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Revista de Engenharia Civil IMED, 3(1): 19-24, jan./jun. 2016.

BITANTE, A. P. DE FARIA, A. C.; GASPAR, M. A.; PASCUAL, J. V. I.; DONAIRE, D. A. **Impactos da tecnologia da informação e comunicação na aprendizagem dos alunos em escolas públicas de São Caetano do Sul (SP)**. Holos, Natal-RN, v. 8, p. 281 – 302, 2016.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Estimativa de investimentos em aterros sanitários para o atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019**. Saneamento Ambiental. p. 43-92.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BUENO, R. L.; ARRUDA, R. A. **Educação Ambiental**. Revista Eventos Pedagógicos, v.4, n.2, p. 182 - 190, ago./dez. 2013.

BRANDALISE, M. A. T. **Tecnologias de Informação e Comunicação nas escolas públicas paranaenses: avaliação de uma política educacional em ação**. Educ. rev., Belo Horizonte-MG, v. 35, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-46982019-000100412&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 de nov. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9795, 27 de abril de 1999. **Institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências**. Brasília, 27 de abril de 1999. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 27 abr. 2021.

BRASIL. **Manual da coleta seletiva - Elementos para organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem**. MCIDADES/SNSA – Ministério das

Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, nov. 2008.

Disponível em:

http://www.ambientesquimicos.eq.ufrj.br/Nosso_ambito_2_files/2008MC-MMA-Organiza%C2%8D%C2%8BodaColetaSeletivaeProjetodosGalpoesdeTriagem.pdf.

Acesso em: 29 abr. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 22 abr. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual para Implantação de Compostagem e Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos**. Projeto internacional de cooperação técnica para a melhoria da gestão ambiental urbana no Brasil. Brasília-DF, out. 2010. 75 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Orientações Técnicas para Elaboração de Propostas para o Programa de Resíduos Sólidos**. Brasília-DF: Funasa, 2014. 44 p.

BRASIL. **Guia de Compostagem**. Brasília: WWF – Brasil, 2015. 104 p. ISBN: 978.85.5574.008.4.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2019. 187 p. Disponível em:

<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABblica.pdf>.

Acesso em: 22 mar. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Painel dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Sistema Nacional de Informações sobre Gestão dos Resíduos Sólidos –SINIR. 2020. Disponível em: <https://sinir.gov.br/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CARDOZO, R.; MURAROLLI, P. L. **Tecnologia da informação verde: sustentabilidade tecnológica. O avanço da tecnologia em relação ao meio**

ambiente: tecnologia e sustentabilidade. Perspectivas em Ciências Tecnológicas, Pirassununga-SP, v. 4, n.4, p. 148 – 165, 2015.

CASTELLS, M. **Introdução: Redes Digitais e a Cultura da Autonomia.** In: O poder da comunicação. São Paulo: Paz e Terra, 2015. P. 29-57.

CEMBRANEL, A. S.; FRANCISCHETT, M. N.; RODRIGUES, C. R. **Educação Ambiental com Estudantes e Famílias na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Revista Brasileira de Educação Ambiental, São Paulo, vol. 14, n. 1: 171-185, 2019.

CEMPRE, **Guia da coleta seletiva de lixo.** texto e coordenação André Vilhena; ilustrações Sandro Falsetti – 2. ed. - São Paulo: CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2014.

CEMPRE, **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. 316 p. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018.

CEMPRE, **Pesquisa Ciclosoft 2018 – Radiografando a Coleta Seletiva.** Ciclosoft, 2018. Disponível em: <https://cempre.org.br/pesquisa-ciclosoft/>. Acesso em: 29 abr. 2021. 24 p.

CEMPRE, **Review 2019.** Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/CEMPRE-Review2019.pdf>. Rua Urussuí, 300, cj. 31A, Itaim Bibi, São Paulo-SP. Acesso em: 07 abr. 2021.

DANIELA, L.; VISVIZI, A.; GUTIÉRREZ-BRAOJOS, C.; LYTRAS, M. D. **Educação Superior Sustentável e Aprendizagem Aprimorada por Tecnologia (TEL).** Sustentabilidade 2018, 10, 3883.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental: princípios e práticas.** 1. ed. GAYA, 1992. 399 p.

DUHIGG, C. **O poder do hábito: Por que fazemos o que fazemos na vida e nos negócios.** 1ª ed. Rio de Janeiro-RJ: Objetiva, 2012. 408p.

ECOMARK. Indústria e Comércio de Fertilizantes Especiais. **Tratamento de Resíduos Orgânicos – Compostagem**. Disponível em: <https://ecomark.com.br/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

FADINI, P. S.; FADINI A. A. B. **Lixo: desafios e compromissos**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. Edição especial – Maio 2001. Disponível em: Lixo: Desafios e Compromissos (sbq.org.br). Acesso em: 14 abr. 2021.

FELICORI, T. C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B., BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C. **Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais**. Eng. Sanit. Ambient. Minas Gerais, v.21, n.3, p. 547-560, jul/set 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016146258.

FERDIN, G. A. M.; OSCO, L. P.; RIGOLIN, I. M. **A contaminação em solos provocada pela disposição de resíduos sólidos no município de Pirapozinho (SP)**. Colloquium Exactarum, v. 7, n.3 , p. 01 –11, jul-set. 2015. DOI: 10.5747/ce.2015.v07.n3.e123.

FERREIRA, J.A. **Resíduos sólidos: perspectivas atuais**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

FRANCISCO BELTRÃO. **Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. PMGIRS. Programa Cidade Limpa. Município de Francisco Beltrão, 2012.

FRANCISCO BELTRÃO. **Conteúdos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente**. Município de Francisco Beltrão, 2021. Disponível em: <https://www.franciscobeltrao.pr.gov.br/secretarias/meio-ambiente/secretaria-de-meio-ambiente/>. Acesso em: 24 set. 2021.

FRANCISCO BELTRÃO. **Chamamento Público N° 019/2021**. Município de Francisco Beltrão, 33 p., 2021.

GARRÉ, S. O.; LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A. S.; GADOTTI, G. I.; NAVROSKI, R. **Análise econômica para implantação de uma usina de compostagem de resíduo orgânico urbano**. Revista ESPACIOS, v. 38, n. 17, 2017.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. Portaria nº 155/2013. **Estabelece condições e critérios e dá outras providências, para o licenciamento ambiental de barracões para triagem de resíduos sólidos urbanos não perigosos**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=255125>. Acesso em: 29 abr. 2021.

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2001. 200 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/francisco-beltrao.html>. Acesso em: 27 abr. 2021.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Projeção da população dos municípios do Paraná para o período 2018 a 2040**. Governo do Estado do Paraná, 2018. Disponível em: http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2019-09/nota_tecnica_populacao_projetada.pdf. Acesso em: 27 abr. 2021.

NEWTON, I. **Carta de Newton para Robert Hooke**. 5 de fevereiro de 1676.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo (Procam-USP). São Paulo: Estudos avançados, p. 136-155, fev. 2011.

JULIATTO, D. L.; CALVO, M. J.; CARDOSO, T. E. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para Instituições Públicas de Ensino Superior**. Revista Gestão Universitária na América Latina – GUAL. Florianópolis - SC, vol. 4, n. 3, p. 170-193, set./dez., 2011.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES S. L. F. D.; JAYO M. **Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: uma análise sobre**

o uso de TIC no acesso à informação governamental. urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana vol.10 no.1 Curitiba jan./abr. 2018. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.ao10>. Acesso em: 05 mai. 2021.

LEITÃO, A. **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI.** Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting. vol. 1, n. 2, p. 149-171, set. 2015. Disponível em <http://u3isjournal.isvouga.pt/index.php/PJFMA>. Acesso em: 09 abr. 2021.

COSTA, A. M.; MANCINI, S. D.; HAMADA J. **Perfil de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios no Estado de São Paulo, Brasil.** Revista DAE, São Paulo, v. 67, p. 95 – 109, jan.-mar. 2019. DOI: 10.4322/dae.2019.008.

MÁQUINA SOLO. **Compostadores (Revolvedor de Leiras).** Disponível em:
<https://maquinasolo.com.br/compostadores-revolvedor-de-leiras/>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MASSUKADO, L.M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares.** 2008. 2-3p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MELO, V. S. **Requisitos para a implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem no Município de Telêmaco Borba-Pr.** Curitiba. UTFPR, 2011. 63 p.

PARANÁ. Ministério Público do Estado do Paraná/Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos.** Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico, 2ª Ed. Curitiba – PR, nov. 2013.

PARANÁ. Ministério Público do Estado do Paraná/Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos.** Apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos, 2ª Ed. Curitiba – PR, nov. 2013.

PENSO, N. S. T. **Visita técnica ao aterro sanitário municipal de Francisco Beltrão**. [Entrevista concedida a] Gabriel Gustavo Galon. Francisco Beltrão, 2021.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

QUARESMA, J. B. **Diagnóstico do Resíduos Sólidos da Cidade de Monte Alegre**. Belém-PA: CPRM/Primaz, p. 8, 1998.

RIGO, V. **Análise do processo de gerenciamento de resíduos sólidos no município de Francisco Beltrão/PR a partir da década de 1970**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Francisco Beltrão, 2014.

RIGO, V. **Caracterização do RSU do município de Francisco Beltrão**. Diretor da Secretaria Municipal de Meio Ambiente. [Entrevista Concedida a] Gabriel Gustavo Galon. Francisco Beltrão, 2021.

SILVA, C. L.; FUGII, G. M.; SANTOYO, A. H.; BASSI, N. S.; VASCONCELOS, M. C. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Capitais Brasileiras Alternativas para um Modelo de Gestão**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 33, p. 118-132, set. 2014. ISSN eletrônico 2176-9478.

SMMA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Lista de PEVs – Latitudes e Longitudes**. Município de Francisco Beltrão, 2021.

SMMA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Composição Gravimétrica dos Resíduos**. Município de Francisco Beltrão, 18 p., 2021.

SOUZA, L. A.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C.; PAIVA, W. M. L. **Análise dos Principais Parâmetros que Influenciam a Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 8, n. 3, p. 194-212, 2020.

TIENEN, Y. M. S. V. **Avaliação da Compostagem e Vermicompostagem para Biodegradação da Matéria Orgânica**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 7, p. 46833-48639, jun.-jul. 2020. Disponível em:

<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/13204/11100>. Acesso em: 05 mai. 2021.

TOFFOLO, G.; FRANCISCHETT, M.N. **Educação ambiental: na perspectiva da pesquisa qualitativa**. Cascavel, PR: Editora da Unioeste, 2012.

ZAGO, V. C. P.; BARROS R. T. V. **Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade**. Eng. Sanit. Ambient. Rio de Janeiro, v.24, n.2, p. 219-228, mar/abr 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019181376.

ZUIN, A. A. S. **O plano nacional de educação e as Tecnologias da Informação e Comunicação**. Educ. Soc., Campinas-SP, v. 31, n. 112, p. 961-980, jul-set. 2010.