

CENTRO UNIVERSITÁRIO CURITIBA

ANA PAULA CUNHA DA SILVA

**PROPOSTA DE USINA DE BIOENERGIA INSERIDO EM UM ATERRO SANITÁRIO
NO MUNICÍPIO DE MANDIRITUBA - PR**

**CURITIBA
2021**

ANA PAULA CUNHA DA SILVA

**PROPOSTA DE USINA DE BIOENERGIA INSERIDO EM UM ATERRO SANITÁRIO
NO MUNICÍPIO DE MANDIRITUBA – PR**

**Monografia apresentada como requisito
parcial à obtenção de grau de Bacharel em
Arquitetura e Urbanismo do Centro
Universitário Curitiba.**

Orientadora: Flávia Iankowski Claro Pereira

**CURITIBA
2021**

ANA PAULA CUNHA DA SILVA

**PROPOSTA DE USINA DE BIOENERGIA INSERIDO EM UM ATERRO SANITÁRIO
NO MUNICÍPIO DE MANDIRITUBA – PR**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Curitiba, pela Banca Examinadora formadas pelos professores:

Orientadora: Prof^a Msc Flávia Iankowski Claro Pereira

Prof. Membro da Banca

Prof. Membro da Banca

Curitiba, 07 de Junho de 2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha avó
MARIA DE LOURDES DE OLIVEIRA
CUNHA, que se foi, mas sempre estará
ao meu lado e continuará a me apoiar de
onde estiver.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente preciso agradecer ao meu noivo Alisson Silva da Graça, que foi de grande importância em toda minha trajetória acadêmica, bem como meus familiares e em especial minha querida prima Nataly Canestraro que muito me ajudou com as normas da ABNT neste trabalho, assim como minha tia Dulcilene Cunha que me amparou psicologicamente em todas as minhas crises este ano. Agradeço também a minha querida professora, orientadora e chefe Flávia Iankowski Claro Pereira, que não somente me ensinou (o que por si só já seria muito), mas me mostrou todos os caminhos e possibilidades que a Arquitetura possui, me ensinou a ser uma profissional e a ter ética dentro do mercado. Agradeço também aos meus amigos/familiares que fiz dentro destes 5 anos, Ana Caroline, Anne Caroline, Emilyn Lindner e Joao Antônio, vocês foram incríveis e estiveram ao meu lado nos altos e baixos que rendeu estes cinco anos. Por fim, preciso também agradecer a Carol e ao Roberto das Secretarias de Obras e Urbanismo e Secretaria de Agricultura de Mandirituba, foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

“Todos têm direito ao Meio Ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

(ART. 225 DA CONSTITUIÇÃO FEDERAL DE 1988)

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor um novo aterro sanitário no Município de Mandirituba, na Região Metropolitana de Curitiba de modo que este possa ser um complemento ao atual, e ao mesmo tempo propor a inserção de uma usina de bioenergia, que aproveitará o biogás liberado pelo aterro. Para que se cumpram tais propostas, serão apresentados estudos acerca da concepção arquitetônica de aterros e usinas, bem como as legislações que o permeiam, além de apresentar o panorama atual do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Curitiba. Também serão apresentados estudos sobre técnicas construtivas e materiais que supram as necessidades de conforto de uma edificação desta tipologia, optando-se pela construção em madeira, visto que proporciona mais limpeza e sustentabilidade, convergindo com a proposta projetual. Serão apresentados ainda três estudos de caso, sendo um sobre aterro sanitário, outro sobre usina de bioenergia e o último com foco específico em construção em madeira, de modo a subsidiar a proposta que ao final será apresentada, além de entender todos os parâmetros que se farão necessários para sua concepção. Finalmente, com base nos estudos apresentados, será apresentado um plano de ocupação para o futuro projeto, composto por um setor de aterro e outro de usina em que o produto possa ser tratado, destinado adequadamente e que seu subproduto possa ser convertido em energia renovável, de modo a se minimizar seu impacto no meio ambiente e retornar como fonte de energia a comunidade.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Resíduo Sólido Urbano. Usina de Bioenergia. Arquitetura Industrial.

ABSTRACT

This work aims to propose a new landfill in the municipality of Mandirituba, in the Metropolitan Region of Curitiba so that this can be a complement to the current one, and at the same time propose the insertion of a bioenergy plant, which will take advantage of the biogas released by the landfill. To comply with these proposals, studies will be presented on the architectural design of landfills and power plants, as well as the legislation that permeates it, in addition to presenting the current panorama of municipal solid waste management in Curitiba. Studies will also be presented on constructive techniques and materials that meet the comfort needs of a building of this typology, opting for wood construction, since it provides more cleanliness and sustainability, converging with the project proposal. Three case studies will be presented, one on landfill, another on bioenergy plants and the last with a specific focus on wood construction, in order to support the proposal that will be presented at the end, in addition to understanding all the parameters that are necessary for its conception. Finally, based on the studies presented, an occupation plan for the future project will be presented, composed of a landfill sector and another plant sector in which the product can be treated, properly destined and that its by-product can be converted into renewable energy, in order to minimize its impact on the environment and return as an energy source to the community.

Keywords: Landfill. Urban Solid Residue. Bioenergy plant. Industrial Architecture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxo de Gerenciamento.....	21
Figura 2 - Lixão a céu aberto.....	22
Figura 3 - Aterro Controlado.....	22
Figura 4 - Aterro Sanitário	23
Figura 5 - Rotas de conversão de energia	25
Figura 6 - Impermeabilização do solo.	29
Figura 7 - Esquema de cobertura de um aterro.....	30
Figura 8 - Esquema de funcionamento de um aterro sanitário.....	31
Figura 9: Corte de um poço vertical	34
Figura 10: Fluxo do Biogás em uma usina	35
Figura 11: Estrutura esquemática da conversão em energia elétrica.....	36
Figura 12: Sistema de captação e conversão do biogás em energia	36
Figura 13 - Emendas transversais e longitudinais em MLC.	37
Figura 14 - Esquema de colagem das lâminas	37
Figura 15 - Estudo de Brise-Solei.....	39
Figura 16 - Troca de Calor em paredes translúcidas.	39
Figura 17 - Troca de calor em paredes opacas.....	39
Figura 18 - Aplicação de isolante fibroso em cobertura	40
Figura 19 - Vista Aerea Aterro Fazenda Rio Grande.....	41
Figura 20 - Relação de usos da ZIS1.....	42
Figura 21 - Portaria	43
Figura 22 - Refeitório.....	43
Figura 23 - Área de convivência.....	43
Figura 24 - Biorremediação	43
Figura 25 - Balança	43
Figura 26 - Administrativo	43
Figura 27 - Implantação CGR Iguaçu - Fazenda Rio grande	43
Figura 28 - Detalhe B Seção C.....	44
Figura 29 - Detalhe B Seção D.....	44
Figura 30 - Canaleta de drenagem (corte)	45
Figura 31 - Ala bueiro (vista frontal)	45
Figura 32 - Ala bueiro (vista lateral)	45

Figura 33 - Planta de Localização (URE Maua)	46
Figura 34 - Implantação (URE-Maua)	47
Figura 35 - Volumetria (URE - Maua).....	48
Figura 36 - Vista Norte longitudinal	49
Figura 37 - Vista Oeste	49
Figura 38 - Vista Leste	49
Figura 39 - Terreo - Pilares em V	50
Figura 40 - Esquina da edificação	50
Figura 41 - Perspectiva estrutural	51
Figura 42 - Corte estrutural	51
Figura 43 - Estrutural esquemático	52
Figura 44 - Laje em CLT	52
Figura 45 - Pilar MLC	52
Figura 46 - Pilar em V	52
Figura 47 - Esquemático Megant	53
Figura 48 - Megant Tradicional.....	53
Figura 49 - Conexão metálica em madeira.	54
Figura 50 - Megant aplicado no estrutural.....	54
Figura 51 - Região Metropolitana.....	56
Figura 52 - Percurso de Curitiba - Mandirituba.....	56
Figura 53 - Estudo de Entorno	57
Figura 54 - Mapeamento dos Aterros.....	57
Figura 55 - Vista Área do terreno	58
Figura 56 - Rosa dos Ventos.....	58
Figura 57 - Carta Solar.....	58
Figura 58 - Organograma.....	61
Figura 59 - Proposta de Ocupação.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Problemas que a usina pode apresentar e a prevenções necessárias. ...	33
Tabela 2 - Tabela de Área.....	48
Tabela 3 - Quadro Comparativo	54

LISTA DE SIGLAS

ABIOGÁS – Associação Brasileira de Biogás e Biometano
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CLT - Madeira Laminada Cruzada
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONRESOL - Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos
DBO – Demanda Biológica de Oxigênio
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
FORSU – Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos
ICT – Instituição de Ciência e Tecnologia
INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
MLC - Madeira Laminada Colada
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
RSU – Residuo Solido Urbano
Sisnama – Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMMA – Secretária Municipal do Meio Ambiente
URE - Unidade de Recuperação Energética

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
2. Gerenciamento de Resíduos Sólidos	18
2.1 O que é Resíduo Sólido?.....	18
2.2 A política dos 3 R's - Reduzir, Reutilizar e Reciclar.....	19
2.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).....	20
2.4 Tipologias para disposição final de RSU.....	22
2.5 Lixiviado e seu potencial energético.....	24
2.6 Bioenergia.....	27
3. Aspectos Arquitetônicos	29
3.1 Funcionamento Operacional de um Aterro Sanitário.	29
3.2 Normativas e Legislação.	32
3.3 Usina Termoeletrica a Biogás.....	33
3.4 Madeira Laminada Colada – MLC	36
3.5 Conforto Ambiental.....	38
3.5.1 Conforto Térmico.	39
4. Estudos de Caso	41
4.1 Estre Ambiental - CGR Iguazu - Fazenda Rio grande - PR.....	41
4.1.1 Implantação	42
4.1.2 Sistemas de drenagem	44
4.2 Unidade de Recuperação Energética – URE Mauá	46
4.2.1 Implantação	47
4.2.2 Vistas, Cortes e Volumetria.....	48
4.3 WeWork 25 King - Austrália	50
4.3.1 Materiais e métodos construtivos	50
4.3.2 Conexões entre os elementos construtivos.....	53
4.4 Quadro Resumo Comparativo entre os Estudos de Caso.....	54
5. Diretrizes Projetuais.	55
5.1 Análise da Região Metropolitana de Curitiba.	55
5.2 Análise do terreno e seu entorno.	56
5.3 Organograma e Programa de Necessidades	59
5.4 Proposta de Ocupação do Terreno.	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65
ANEXOS	722

INTRODUÇÃO

Dados disponibilizados pelo Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba (2017, p. 29), mostram que no ano de 2013 foram geradas uma média de 2.020 toneladas de lixo por dia, destes, 1.685 toneladas eram referentes a resíduos domiciliares da coleta convencional. Deve-se levar em consideração que neste período a população de Curitiba correspondia a 1.848.946 habitantes (IPPUC, 2015), desta forma estimasse que a geração per capita de 1,09 kg/hab/dia.

Sobre o destino final desses resíduos, a Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define em seu Art 3º parágrafo VII :

“Destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.” (PNRS, 2010).

Até o ano de 2010, o lixo coletado de Curitiba, era enviado ao aterro sanitário de Curitiba conhecido como Aterro do Caximba (SMMA, Curitiba), mas que encerrou as atividades de recebimento de resíduos e, então, os municípios passam a enviar seus resíduos a empresas particulares como a Estre Ambiental SA (localizada na Fazenda Rio Grande), e Essencis Soluções Ambientais SA (no bairro CIC). Estas possuem contratos por meio de credenciamento ao Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos – CONRESOL.

Segundo o site da prefeitura de Curitiba, durante seu período de funcionamento (até o ano de 2010), o aterro do Caximba recebia em média 2.400 toneladas de lixo por dia (oriundos de Curitiba e região metropoli oriundos de Curitiba e parte da sua região metropolitana), e até o final de sua vida útil que se iniciou em 1989 recebeu mais de 12 milhões de toneladas de resíduos. Todo esse material foi disposto diariamente em camadas de terra, de modo que seu subproduto gerado (churume composto por gás metano e outros gases poluentes), fosse retirado do meio ambiente, tendo assim o menor impacto possível, isso acontece a partir de drenos que

encaminham o biogás¹ até estações de tratamento para que ocorra a queima do mesmo.

Um problema que acompanha os aterros desde sua concepção até mesmo após o encerramento de suas atividades, é a liberação de lixiviados² (chorume), fazendo com que, mesmo após o fechamento do aterro, seja necessário o acompanhamento da liberação de fluidos tanto na atmosfera quanto no lençol freático. Mesmo com a drenagem do lixiviado, e queima dos gases poluentes ao final do processo de aterro, ainda há uma pequena parcela de gás metano que é incorporada a atmosfera. Os aterros sanitários são responsáveis por cerca de 5 a 6% das emissões de gás metano (Kreileman & Bowman, 1994), apesar da afirmação ser longínqua, percebe-se que por mais que até o presente momento os aterros sanitários sejam a forma de destinação final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) mais “ambientalmente correta” ainda causa prejuízo ao meio ambiente, além da possibilidade eminente de danos ambientais.

Com base no exposto, Como minimizar a quantidade de resíduos depositados em aterros e principalmente diminuir o impacto do lixiviado no meio ambiente? Seria possível aproveitar o “lixo” como potencial energético?

Muitos países da Europa utilizam o RSU, para gerar energia através de Usinas de Bioenergia, em especial, há o caso da Alemanha que concentra mais de 8 mil usinas de Bioenergia em seu território (DRUMOND, 2020), estes locais possuem poucos recursos naturais como potencial energético (principalmente hidroelétricos, que é o principal recurso brasileiro) e necessitam de fontes alternativas de geração de energia. A usina de biogás se mostra como uma excelente fonte de energia renovável, já que faz a extração da biomassa (matéria orgânica podendo ser tanto de origem vegetal ou animal, cuja decomposição é capaz de produzir energia) a partir de chorume, lodo de esgoto e etc.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos, cita em seu plano de 2012 a importância da utilização do biogás como fonte energética renovável:

“No que tange ao aproveitamento de biogás para produção de energia no Brasil, vemos que esse ainda é incipiente no país PNUD *et al* (2010) estimou a produção de energia potencial em 56 municípios no país, considerando a

¹ Gás inflamável composto mistura de dióxido de carbono e metano, oriundos da fermentação de matérias orgânicas.

² Líquido poluente, de cor escura e odor forte, também conhecido com chorume ou percolado.

vazão de biogás no decênio 2010/2020. O resultado foi que há a possibilidade de se ter uma capacidade instalada de geração de 311 MW, o que, segundo o estudo 'poderia abastecer uma população de 5,6 milhões de habitantes e equivale a praticamente a cidade do Rio de Janeiro' e 'tal potência representa a abundância do combustível biogás, renovável e subproduto do modo de vida atual'.(PNRS, Brasília, agosto de 2012 p. 18).

E ainda como complemento, orienta-se a implementação de aproveitamento do biogás em aterros sanitários como forma de minimizar os impactos causados pelo excesso de resíduos no meio ambiente:

“Apesar de a viabilidade técnica e econômica da implantação de aterros dotados de um sistema de geração de energia proveniente do gás de aterro depender de uma quantidade mínima de resíduos aterrados, o incentivo à criação de gestões compartilhadas dos resíduos de vários municípios, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos, deverá causar um ganho de escala que viabilize não só o aproveitamento de resíduos recicláveis de pequenos municípios, como também a emissão do gás de aterro como fonte de energia.”. (PNRS, Brasília, agosto de 2012 p. 18).

Com base no exposto, esta monografia tem a finalidade de propor um projeto de uma usina de biogás, capaz de gerar energia a partir da biomassa³ proveniente dos aterros sanitários. Desta forma, junto ao projeto da usina será proposto também o projeto de um aterro sanitário no Município de Mandirituba, que será responsável pelo recebimento dos resíduos da região Metropolitana de Curitiba como complemento ao atual aterro sanitário.

Como forma de complementar o objetivo principal, foram estabelecidos objetivos específicos a serem cumpridos no decorrer da monografia, de modo a nortear o projeto final. Sendo eles:

- Compreender o gerenciamento, destino final de resíduos sólidos e saneamento;
- Compreender como o “lixo” pode ser considerado um potencial energético;
- Estudar a concepção de usinas de bioenergia, bem como toda a legislação que

³ Matéria-prima para produção de energia a partir de matéria orgânica.

o permeiam;

- Estudar sobre o funcionamento, fluxos e setores de um aterro sanitário;
- Analisar a inserção geográfica do aterro, considerando toda a logística envolvida;
- Buscar por materiais e técnicas construtivas que reforcem a busca pela sustentabilidade e eficiência energética;
- Realizar estudos de casos que propiciem o conhecimento acerca dos temas a serem propostos;

A metodologia do trabalho se fará por pesquisa exploratória, tendo em vista que o tema de pesquisa é pouco explorado na arquitetura, necessitando então, de um grande estudo acerca dos detalhes que permeiam tanto o projeto da usina e do aterro sanitário, quanto de todo o gerenciamento de RSU. Será necessário também os estudos de caso que basearão as propostas projetuais. Estes serão apresentados em escala regional, nacional e internacional, sendo responsável por justificar na prática a fundamentação teórica.

O estudo se inicia pelas referências bibliográficas que irão contextualizar os processos de gerenciamento de resíduos sólidos e todo o impacto que ele causa dentro do saneamento básico, desde sua definição, princípios de reciclagem, políticas nacionais aplicadas para o gerenciamento e destinação adequada de resíduos, além de abordar sobre a periculosidades do lixiviado e seu potencial energético.

Assim que o tema principal de pesquisa (RSU dentro do saneamento) esteja contextualizado, deverá ser abordado o papel da arquitetura neste contexto, como o funcionamento e os aspectos arquitetônicos de um aterro sanitário e uma usina, legislações e conselhos pertinentes, além das escolhas de materiais, técnicas construtivas e técnicas de conforto ambiental a serem propostas para o projeto.

Na sequência, serão apresentados estudos de caso afim de embasar a pesquisa e os capítulos seguintes, estes estudos deverão ocorrer em três esferas: regional, nacional e internacional. E por fim no último capítulo será apresentado o terreno escolhido para inserção do projeto, bem como o estudo de seu entorno, concepção regional, além do croqui da proposta de ocupação do lote.

2. Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O referencial teórico a seguir, será de suma importância para explicar sobre assuntos que envolvem todo o gerenciamento de resíduos sólidos, desde a definição do próprio, classificações, políticas de gerenciamento, os caminhos que serão percorridos até chegar ao descarte final e como este pode ser aproveitado como potencial energético para as Usinas de Bioenergia.

2.1 O que é Resíduo Sólido?

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, resíduos sólidos são definidos como “todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade” (PNRS, 2010, Art 3º), (não significa necessariamente que este subproduto não tenha mais serventia à sociedade após o fim de seu uso primário), suas origens variam desde o setor industrial, agropecuários, hospitalar, domiciliar, comercial e etc ((PNRS, 2010, Art 1º),. Ou seja, praticamente todos os setores de uma sociedade são geradores de resíduos podendo ser primários ou não, desta forma, um fator que tem gerado preocupação, é o descarte adequado, tanto que desde 1998 há leis específicas referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Segundo a NBR ISO 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são classificados por critérios de periculosidade, dividindo-se por três classes:

- Classe I – Resíduos perigosos;

De modo geral, considerados perigosos por possuírem características que podem pôr em risco aqueles que os manuseiam a partir de um contato direto com o produto. Mas, para isso, é necessário que o mesmo apresente pelo menos uma das características seguintes: inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e/ou patogenicidade.

- Classe IIA – Resíduos não inertes e não perigosos;

Estes não apresentam características dos resíduos perigosos, entretanto, podem apresentar riscos a seres humanos ou mesmo ao meio ambiente, mesmo que estes sejam biodegradáveis, combustíveis ou solúveis em água. Necessitando, assim, de cautela quanto ao seu manejo e destinação.

- Classe IIB – Resíduos inertes;

Resíduos inertes são insolúveis, não inflamável e não possuem a característica de reação química ou física, sendo assim diferentes dos de classe I. Por não apresentarem fatores diretos de impotabilidade da água, costumam ser destinados aos aterros sanitários quando não reciclados, desta forma tendem a ser Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): resíduos domiciliares (vidros, latas, isopor, madeiras, alguns tipos de plásticos), resíduos comerciais (vidros, latas, isopor, madeiras, areia, sucatas de ferro) e resíduos industriais (produzidos a partir dos processos produtivos industriais e em suas instalações).

2.2 A política dos 3 R's - Reduzir, Reutilizar e Reciclar

Visando promover a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente, em 1992 no Rio de Janeiro durante a Conferência da Terra (5º Programa Europeu para o Ambiente e Desenvolvimento), foi citado um conjunto de ações denominado “Política dos 3R's” que tem, por objetivo, elencar de forma prioritária ações que minimizem os impactos causados pelo excesso de resíduos gerados. Dessa forma, o grau de importância segue-se pela redução, seguida pela reutilização e por fim a reciclagem.

Segundo GOUVEIA, RODRIGUES, ROCHA, SOUZA e SILVA (2017, p. 13), em seu estudo “Aplicação da política dos 3R's, em conjunto com a tríade da sustentabilidade, para incentivar a redução de resíduos sólidos em Serra Branca-PB”.

“Há uma significativa contribuição para o meio ambiente quando se reduz, reutiliza e recicla vidros, plásticos, metais, papéis, etc., ou se compra esses produtos reciclados, pois são materiais que deixam de ir para os aterros sanitários ou para a natureza (rios, lagos, mar, solo, florestas), minimizando a poluição. Além de contribuir para o meio ambiente, os três R's acabam colaborando em outros aspectos, como o econômico e o social”. (GOUVEIA, RODRIGUES, ROCHA, SOUZA e SILVA 2017 p. 13).

Reduzir vem em primeiro lugar, pois cabe a sociedade reduzir o consumismo de produtos não essenciais para que haja redução de exploração de recursos naturais, e conseqüentemente, menos resíduos é descartado na natureza, diminuindo a poluição e ao impacto negativo ao meio ambiente. Deve-se englobar tanto a utilização

quanto o racionamento de recursos, sejam eles naturais ou não, como água, energia e combustíveis.

Consumo consciente consiste em priorizar produtos não descartáveis, como por exemplo: copos de vidro ao invés de plástico, guardanapos de pano ao invés de papel, utilizar as sacolas de pano para ir às compras, entre outros.

Em seguida, a próxima medida a ser tomada a partir do momento em que o produto foi consumido é “Reutilizar”. A reutilização contribui para a economia de recursos, pois reutilizar um produto significa dar uma nova função a qual fora idealizado. Com o uso da criatividade, é possível atribuir novos usos a um material prolongando sua vida útil, por exemplo borracha de pneu para fazer asfalto, isopor no concreto, gesso da construção para adubos na agricultura, alumínio para misturar em telhas e etc.

E por fim a reciclagem, quando não se é mais possível reutilizar determinado material, antes que este seja descartado deve-se buscar por formas de reciclá-lo, consiste em transformar um produto em algo novo ou até mesmo em matéria prima para diversos fins, desta forma evita-se a extração desnecessária por matéria-prima na natureza causando um menor impacto. Os principais materiais a serem reciclados são alumínio, papel, plástico e vidro, porém não significa que são os únicos, necessitando, então, de coleta seletiva para melhor aproveitamento.

2.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A PNRS foi definida através da Lei nº 12.305/10, foi criada com o intuito de disponibilizar diretrizes para melhorar ou mesmo criar um gerenciamento de resíduos sólidos (AMAURI, 2019). Esta lei abrange desde resíduos domiciliares, industriais, construção civil e até mesmo com maior nível de periculosidade (Classe I), - exceto pelos resíduos radioativos que possuem sua legislação própria, LEI No 10.308. O fluxo de prioridade quanto à gestão de resíduos é melhor descrita no Capítulo I (Disposições Preliminares), Art. 9º "Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada aos rejeitos" (Brasil, 2010).

Essa política estabelece planos que reduzem a quantidade de lixo desde o

consumo até a forma com que esses dejetos são destinados, exigindo transparência por parte do setor público e o privado no que tange o gerenciamento dos resíduos (AMAURI,2019) . Assim, cabe ao governo e aos setores produtivos firmarem um acordo de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, onde o governo é responsável pela coleta e destinação correta dos RSU, implementação de programas de incentivo a reciclagem, educação ambiental e fiscalização, e o setor privado além de políticas internas comprometem-se com a “Logística reversa”, que propõe retornar o máximo de resíduos para reaproveitá-los.

Figura 1 - Fluxo de Gerenciamento.



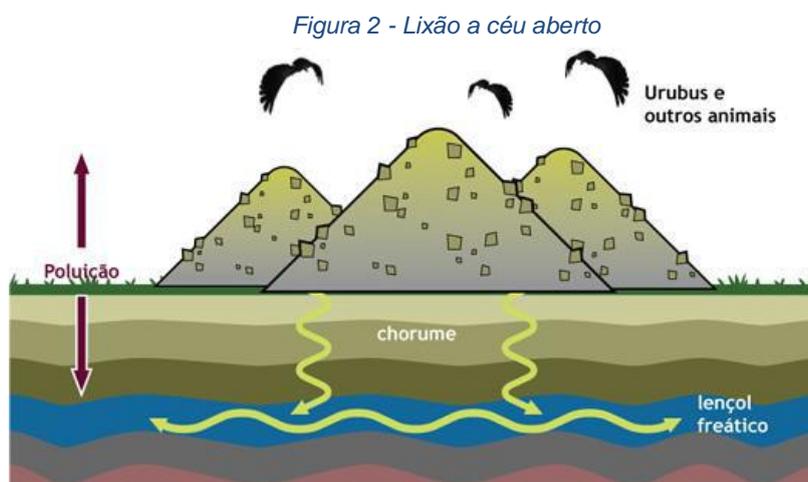
Fonte:Terra Ambiental (2020).

No Art. 8º da PNRS são descritas ações que têm a intenção de estabelecer instrumentos que permitam aos responsáveis se adequar aos propósitos da legislação. Ao todo são listadas dezenove ações que vão desde incentivo a pesquisas científicas, planos de resíduos sólidos, desenvolvimento de cooperativas, educação ambiental, incentivos fiscais, financeiros e creditícios, à monitoramento e fiscalização sanitária.

Entretanto, para embasamento, esta monografia destaca-se o Art. 16º Planos Estaduais de Resíduos Sólidos, parágrafo V que referem-se as “metas para extensão dos lixões, metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis”, já no Art. 3º VIII, enfatiza-se que os aterros são a melhor alternativa para destinação de rejeitos, “disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

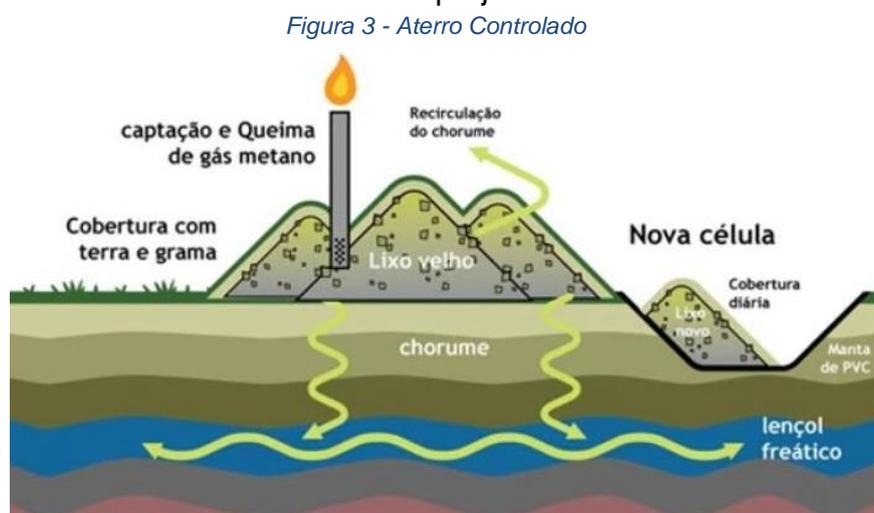
2.4 Tipologias para disposição final de RSU.

Há 3 tipologias principais para a destinação controlada de RSU em um município: lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Usa-se o termo “controlado” pois grande parte do lixo gerado acaba em ruas, sarjetas, rios, vazios urbanos, e outros.



Fonte: Gonçalves, Viasolo (2013).

Caracteriza-se como lixão (Figura 2), o local onde simplesmente ocorre a descarga direta de resíduos no solo a céu aberto, sem qualquer tratamento, técnica ou controle. (Bosco, 2008). Segundo Rodrigues (2008), “[...]um dos graves problemas dos lixões é a constante queima de resíduos, que tem o objetivo de diminuir seu volume. Esta queima gera gases tóxicos que poluem o ar, constituindo um risco para a população vizinha. [...]”, além do prejuízo hidro geológico, já que a terra se torna improdutiva por causa da poluição do lençol freático. Percebe-se, então, que a descarga de resíduos em lixões é o mais prejudicial.



Fonte: Gonçalves, Viasolo (2013).

Aterros controlados (Figura 3) por sua vez, recebem diariamente uma camada de terra por cima do lixo depositado, de forma que minimiza os maus odores já que o lixo não fica exposto a céu aberto como nos lixões. Além disso, é feita a recirculação do chorume (subproduto dos resíduos sólidos), pois, quando coletado, é direcionado ao topo da pilha de lixo, mesmo não havendo um tratamento adequado do chorume. Essa estratégia diminui a absorção pela terra e lençol freático.

Apesar de serem regulamentados no Brasil (NBR 8849,1985), os aterros controlados ainda causam um alto impacto ambiental e mesmo sendo menos prejudiciais que os lixões ainda não são a melhor opção.

Figura 4 - Aterro Sanitário



Fonte: Gonçalves, Viasolo (2013).

Por fim, os aterros sanitários (Figura 4) são os que apresentam melhores estratégias para uma destinação ambientalmente correta de resíduos, já que possuem impermeabilidade do solo impedindo que ocorra a contaminação do solo e, como ocorre nos aterros controlados, os aterros sanitários também recebem camadas diárias de terra sobre o lixo depositado.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2012, faz algumas recomendações quanto a implementações de aterros sanitários nos municípios como forma de destinação ambientalmente correta, responsabilizando-os pelo gerenciamento dos resíduos sólidos do início ao fim:

“Paralelamente à erradicação dos lixões, deve-se também instituir mecanismos que incentivem os municípios que dispõem seus resíduos em aterros controlados a construir

aterros sanitários ou, então, também partir para a opção dos consórcios públicos, via implantação de aterros sanitários, para solucionar a questão, via implantação de aterros sanitários ou formas ambientalmente adequadas de destinação final.”. (PNRS, Brasília, agosto de 2012 p. 19).

Segundo Albuquerque (2011, p. 315): “[...]Um aterro sanitário é definido como aterro de resíduos sólidos urbanos, ou seja, adequado para a recepção de resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios.[...]”. Conforme a ABNT NBR 8419/1992 os aterros sanitários se diferenciam dos lixões ou dos aterros controlados por terem a base do solo impermeabilizado:

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”. (ABNT, 1992, p.1).

2.5 Lixiviado e seu potencial energético.

Lixiviado, líquido percolado ou chorume são as formas de nomear o subproduto líquido oriundo da decomposição de resíduos. Tende a ter uma coloração escura e forte odor além de ser extremamente poluente quando entra em contato com o solo ou até mesmo com o ar, já que libera gases tóxicos por possuir alta demanda biológica de oxigênio (DBO).

A produção do lixiviado nos aterros acontece a partir de fatores climáticos (precipitação pluviométrica, evapotranspiração e temperatura), que sofrem a influência das camadas de cobertura do aterro que aumentam a umidade no interior das células (Moravia, 2010, p13). Estes fatores contribuem para a digestão por exoenzimas que produzem microorganismos envolvidos na degradação biológica, que se combinam com a água provenientes da infiltração das chuvas no aterro, desta forma a função dessas exoenzimas é dissolver a matéria orgânica.

Segundo Barros (1984 apud Oliveira, 2011), quando puro, o chorume mesmo que em menor concentração, apresenta-se mais poluente do que o próprio esgoto, enquanto o DBO varia entre 9.400 a 20.000 mg/L um esgoto doméstico de uso comum apresenta em média 200 a 300 mg/L. Percebe-se então que o lixiviado pode ser até 100 (cem) vezes mais poluentes do que o próprio esgoto, provando-se motivo de grande preocupação e estudos quanto a uma melhor forma de utilização e tratamento, de modo que este não cause maior contaminação ao meio ambiente.

Entretanto, esta mistura de gases poluente também geram o biogás, que é composta por gás metano (CH_4), gás carbônico (CO_2) e gás sulfídrico (H_2S) que aliados a umidade existente no interior do aterro produzem o biogás. Esse, por sua vez, pode ser de baixo, médio ou alto teores, sendo coletado por tubulações onde será conduzido e/ou processado e aproveitado (Barros, 2013), podendo ser convertido em diversas formas de energia útil, tais como térmica para aquecimento de água, ar ou ambiente e eletricidade a partir de tecnologias como microturbinas, motores a pistão, turbinas a gás e vapor, bem como sistemas de ciclo combinado para potências superiores a 10 MW (CRA, 2004).

No momento existem duas alternativas que mostram-se viáveis para a conversão de RSU em energia elétrica, sendo elas por processo biológico ou processo térmico.

Figura 5 - Rotas de conversão de energia



Fonte: Adaptado de (ABRELPE, 2012)

Os processos biológicos (biodigestor controlada e aterro sanitário), ocorrem a partir da digestão anaeróbica presentes nos RSU e possuem como resultado final o biogás, o que os difere é a metodologia utilizada em que o primeiro necessita de

biodigestores que controlam a produção de gás e já no segundo, este processo ocorre de forma natural (Garcia, 2018). Já o processo térmico que é o mais difundido mundialmente (principalmente Mass Burning) caracteriza-se pela queima dos resíduos por caldeiras e fornalha, gerando vapor ou eletricidade (ABRELPE, 2012), sua principal vantagem é a diminuição do volume de RSU, porém, ainda ocorre um alto nível de poluição a partir da queima, além de não haver o aproveitamento do chorume.

Portanto, percebe-se que a melhor alternativa para aproveitamento do lixiviado presente nos aterros é o uso do processo biológico a partir de biodigestores, podendo ser preferencialmente por motogerador. O motogerador é um motor de combustão interna (MCI), acoplado a um gerador elétrico, semelhante ao utilizado pelos motores de automóveis. Neste caso, são realizadas modificações para que o motor funcione usando biogás como combustível, queimando no interior do pistão e, assim, o movimentando, conseqüentemente, o movimento do pistão é transformado em potência elétrica pelo gerador (Garcia, 2018). Conforme o estudo teórico realizado pela engenheira Garcia na Universidade Federal de Integração Latino-Americano (UNILA) em 2018, com base no aterro sanitário de Foz do Iguaçu, quantidade de energia produzida por motogerador apresentou uma capacidade de geração de 1.327,95 kWh/dia, suprimindo a energia de aproximadamente 253 residências.

Contudo, outro estudo realizado por Silva em 2019 na Universidade de Natal - RN, acerca de um possível projeto de aproveitamento de biogás em aterro sanitário em Natal, é possível obter um significativo resultado energético a partir da extração do lixiviado dos aterros:

“A vazão de metano, a potência e a energia disponível apresentaram uma média anual de, aproximadamente, 23,5 milhões de m³, 19,9 mil kW e 174,2 mil kWh, respectivamente. Podendo ser produzida uma quantidade de energia elétrica suficiente para abastecer uma média de 118.302 habitantes entre os anos de 2020 e 2065, caso houvesse a implementação de um sistema a partir desse ano. [...]”. (SILVA, 2019, p. 52).

O Brasil possui um grande potencial de crescimento em relação ao potencial de geração de energia a partir de saneamento como fonte alternativa de energia renovável (BRASIL, 2010). Portanto, é necessário que haja incentivos tecnológicos e

financeiros afim de alavancar essa matriz de energia limpa e renovável dentro do mercado energético brasileiro.

2.6 Bioenergia.

A bioenergia é uma tipologia de energia renovável uma vez que minimiza a utilização de energia de combustíveis fósseis, e que se utiliza do biogás e como já mencionado anteriormente, pode gerar eletricidade, calor ou combustível (GOLDEMBERG, 2008). Se considera energia limpa e renovável pelo fato de ser uma das opções que geram menos impactos ao meio ambiente, além de solucionar os problemas do lixo nos aterros sanitários, como é proposto nessa monografia.

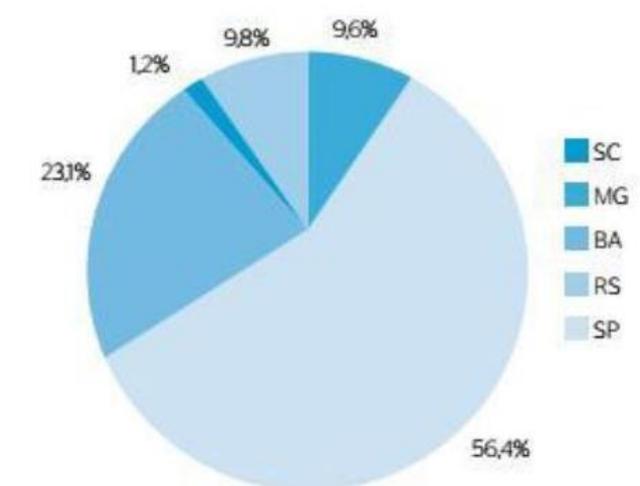
Segundo Nobrega do ICT (Instituição de Ciência e Tecnologia), a principal razão para o aumento do uso do biogás, é a capacidade de tornar o que antes era um passivo ambiental, em ativo energético (NOBREGA, 2019).

A produção de energia elétrica a partir do biogás cresceu 14% em 2017 comparado ao ano de 2016, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Isso se deu a um aumento de mais 35 usinas instaladas no país, conforme dados disponibilizados pela Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABIOGÁS), este aumento por si só é responsável por abastecer 470 mil pessoas. No entanto, o biogás representa apenas 0,0817% da matriz energética brasileira, considerando que 115 mil GWh deixam de ser gerados com o não aproveitamento do biogás, isso significa em números gerais que em 2016, 25% da energia consumida no país poderia ser proveniente do biogás (considerando os rejeitos urbanos, agropecuários e outros).

O Estado de São Paulo é o líder na produção de bioenergia no país, em 2006, a bioenergia era responsável por 28,6% da oferta total de energia no estado (SSE, 2007), destas, apenas 3% vinham do aproveitamento do lixo, sendo a principal origem o aproveitamento dos produtos de cana-de-açúcar (Etanol).

Mesmo assim, segundo Silva (2019 apud Giansante, 2017) 56,4% de toda a energia gerada a partir de usinas termoelétricas que fazem o aproveitamento do biogás, se encontram no Estado de São Paulo, conforme pode-se verificar na Figura 5.

Figura 6: Distribuição da energia elétrica gerada nas usinas termoelétricas



Fonte: GIANSANTE (2017)

Em Minas do Leão (RS), temos o exemplo da usina Biotérmica Recreio, administrada pelo Grupo Solvi e Copelmi Mineração, que iniciou suas atividades em 2015, com um investimento de R\$ 28.737.130 (BRASIL, 2014). A usina é capaz de produzir 8,5 MW (Megawatt) de energia elétrica, a qual é encaminhada à Subestação Elevadora Areal, da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D). A Biotérmica Recreio, recolhe o biogás do aterro sanitário da Central de Resíduos do Recreio (CRR), que em 23 anos recebeu 23 milhões de toneladas de RSU (Silva, 2019).

Pode-se comprovar então a relevância na utilização do biogás para o governo e para a população, pois a partir do seu aproveitamento energético pode-se causar impactos econômicos e ambientais positivos, além de diminuir a sobrecarga das concessionárias de energia elétrica.

3. Aspectos Arquitetônicos

Este capítulo tem o objetivo de estudar todos os aspectos arquitetônicos que estão envolvidos no projeto de uma Usina de Biogás e de um Aterro Sanitário, para tal e necessário obter conhecimento acerca de tecnologias e materiais construtivos a serem utilizados na edificação, técnicas para melhor desempenho térmico e as normativas e legislações que fundamentam os projetos, além de entender o funcionamento, setorização, fluxos e instalações de apoio.

3.1 Funcionamento Operacional de um Aterro Sanitário.

Segundo a norma ABNT NBR 8419/1992, a vida útil de um aterro deve ser de no mínimo dez anos para que este seja considerado um projeto eficiente, pois após o encerramento de suas atividades, ainda será necessário o monitoramento de produção de chorume e gases tóxicos que podem comprometer o bioma ao redor, desta forma recomenda-se, também, que o aterro seja alocado distante dos centros urbanos. Entretanto, deve-se ter em mente que a distância não deve grande o suficiente que impacte o transporte dos resíduos até seu destino.

Existem distintas classificações de aterros sanitários, e eles se diferenciam pela técnica de operação com que o material é depositado, podendo ser de superfície - quando os resíduos são alocados em uma superfície plana, podem também ser dispostos em trincheiras ou rampas, ou aterros de depressões em que os resíduos são dispostos aproveitando a topografia do terreno, tais como depressões, lagoas, mangues ou pedreiras extintas (PORTELLA e RIBEIRO, 2014).

Figura 6 - Impermeabilização do solo.



Fonte: Toninho Tavares/Agência Brasília (2016)

O que diferencia os aterros sanitários das demais tipologias, é justamente ser uma obra de engenharia e possuir diversos critérios para sua concepção, começando pela criação das células de lixo para receber os resíduos, este deve ser impermeabilizado com manta de polietileno de alta densidade (Figura 6), texturizadas nas duas faces e com espessura de dois centímetros, as mantas protegem o solo que receberá os resíduos e evita a contaminação do solo. O revestimento de fundo tem a função de reduzir o transporte de poluentes para o subsolo e água subterrânea. (Bosco, 2008; Gomes, 2009; Lange et al., 2008; Oliveira, Prim, Castilhos Júnior, 2002; Pereira Neto, 2007a; Switzenbau, 2005).

As células de lixo, devem obedecer a regra de 1:3, onde 1, é a altura do talude e 3, é área onde serão depositados os resíduos. É importante também que a lateral seja inclinada de forma que criem taludes - assim evita que haja desmoronamentos - , recomenda-se que ao redor das células sejam trabalhados com vegetação para que não corra o assoreamento do solo. Em seguida, são depositados diariamente camadas de pilha de resíduos, seguidos por uma camada de 15 a 20 centímetros de terra misturados a outros material disponível como forração ou saibro (Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER), compactados de modo que diminua o volume total, camadas intermediárias de solo são colocadas na parte superior e lados expostos do resíduo compactado. (Switzenbaum, 2005). Segundo Gomes e Martins (2003), as coberturas intermediárias ajudam a minimizar os efeitos dos odores e da proliferação de vetores.

Figura 7 - Esquema de cobertura de um aterro.

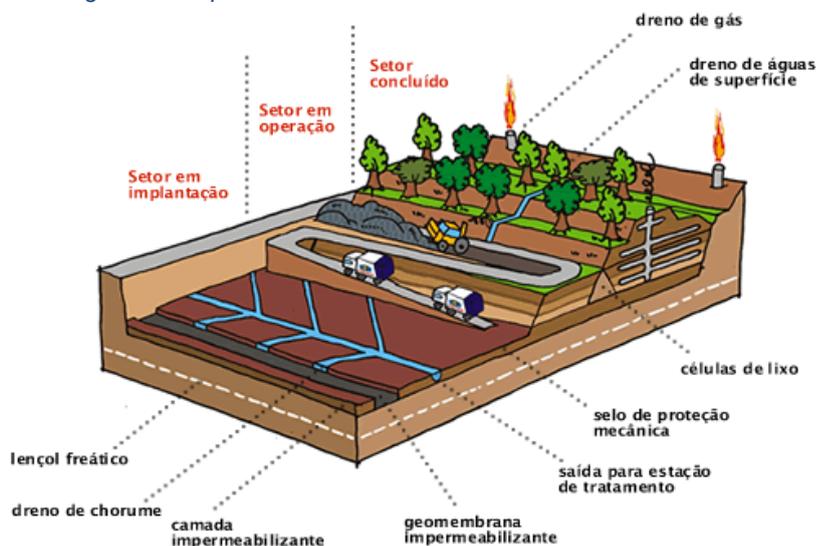


Fonte: Cartilha CONDER (2019).

E, por fim, quando encerra-se a capacidade da célula de receber mais material, procede-se a cobertura final com 60 cm de espessura (sobre as superfícies que ficarão

expostas permanentemente e taludes) (Figura 8). É recomendado que ao final plante-se grama e outras vegetações nos taludes definitivos e platôs, prevenindo do assoreamento do solo (CONDER, 2019).

Figura 8 - Esquema de funcionamento de um aterro sanitário



Fonte: Google imagens.

O interior das células deve possuir um sistema de drenagem de águas pluviais, protegendo de infiltrações oriundas de chuva no interior do aterro, que causa acúmulo de carga hidráulica sobre o solo. (Bosco, 2008; Heier e Stegmann, 2005; Lange *et al.*, 2008; Switzenbaum, 2005), impedindo assim o contato direto da água com os RSU, e como consequência diminuindo o volume de efluentes a serem tratados. Pereira Neto (2007a) afirma que a drenagem do chorume pode ser feita através de tubos de PVC, concreto ou barro e drenos de brita nº 1 e nº 2, segundo o autor, o método mais utilizado é o “espinha de peixe”.

Para o sistema de drenagem de gases de aterros, são utilizados tanto drenos verticais quanto horizontais, possibilitando a coleta do biogás (constituído por metano, CO₂) até a atmosfera, este pode ser queimado ou utilizado como forma de energia conforme será citado futuramente. Segundo Demarco (2019, p. 7) cita em sua proposta de aterro no Município de Mostarda – RS:

“Os drenos verticais de gás são os mais utilizados, sendo que, nesse caso, sempre são interligados com os drenos horizontais de lixiviados. Para dimensionar o dreno vertical, podem-se utilizar equações de fluxo de fluidos (neste caso um gás) em meios porosos (brita) ou mesmo em tubulações. Porém, normalmente, adotase um dimensionamento empírico do sistema vertical de drenos. Assim, os drenos verticais possuem diâmetros que variam de 50 cm a 100 cm, sendo

preenchidos com rocha brita 3, 4 ou 5. Aterros maiores e de maior altura podem possuir drenos verticais de até 150 cm de diâmetro.[...]”. (DEMARCO, AFONSO, 2019 p. 7).

O bom funcionamento do sistema de drenagem interna de percolados e de gases é fundamental para a estabilidade do aterro sanitário.

As formas de se tratar o chorume retirado pelos drenos é semelhante com as utilizadas na revitalização de rios e tratamento de esgoto e consiste em: lagoas anaeróbias, facultativas, reatores, digestores, etc. No caso de aterros, prioriza-se pelo uso de lagoas anaeróbias e facultativas, onde ocorre a remoção da matéria orgânica do chorume, pela ação das bactérias e após o tempo de detenção o líquido deve estar em condições de ser lançado nos corpos d’água sem que corra o risco de contaminar o meio ambiente.

Deve ser previsto tratamento do lixiviado, a fim de satisfazer as concentrações limitantes para o efluente. (Bosco, 2008; Gomes, 2009; Gomes e Martins, 2003; Heier e Stegmann, 2005; Lange et al., 2008; Pereira Neto, 2007a; Russo, 2003).

3.2 Normativas e Legislação.

Conforme já mencionado, os aterros sanitários seguem normas restritivas que orientam desde sua concepção, logística de funcionamento e acompanhamento pós funcionamento, a que representa maior relevância é a ABNT NBR 8419/1992 versão corrigida de 1996 que trata de apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento e ABNT NBR 13896/1997 referente a aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação, esta será recorrente durante toda a monografia.

E, por fim, a Lei 11.107/2005 e a Resolução 404/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e CEMA 094/2014 trata de normas gerais de contratação de consórcios públicos, e estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

Além do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, que licencia aterros sanitários, e de outras infraestruturas e instalações operacionais integrantes do serviço público de limpeza urbana, e de manejo de resíduos sólidos pelo órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), conforme orientado

pelo PNRS Art. 18°.

Já para as usinas de biogás, até o presente momento não existem normativas da ABNT específicas para tal, desta forma, utiliza-se a Portaria 3.214, 1978 referentes a segurança do trabalho. Tratando-se de um local de alta periculosidade, deve-se minimizar perigos como intoxicação, escape de substâncias tóxicas e até mesmo explosões (PROBIOGAS, 2015), e para os espaços arquitetônicos que serão espaços de trabalho, serão utilizadas normas como NBR 9050 e outras de ergonomia e conforto.

Tabela 1 - Problemas que a usina pode apresentar e a prevenções necessárias.

POSSIBILIDADE DE PERIGO	PREVENÇÃO
Explosão	Uso de tubulações com qualidade e de acordo com as especificações, monitoramento e inspeções constantes e sinalizações adequadas nas áreas de geração e armazenamento de gases, treinamento constante.
Formação de espuma	Dimensionamento de tanques e digestores, abertura de emergência no topo do digestor, sensores de espumas, monitoramento.
Vazamento de substratos	Prever uma bacia de contenção para emergências e barreiras de proteção.
Entupimento das tubulações	Dimensionamento dos equipamentos e das tubulações conforme o tipo de substratos. Monitoramento e manutenção conforme especificações.
Problemas de pressão (válvulas)	Válvulas específicas conforme as especificações de projeto.
Intoxicação	Treinamento e manipulação adequada dos equipamentos.
Higiene e limpeza	Treinamento, sinalização, áreas para higienização do staff, áreas para limpeza de equipamentos, controle sanitário e separação das linhas negras e brancas.
Segurança de trabalho	Treinamento, auditorias e monitoramento constante.
Problemas de operação	Softwares e hardwares adequados, treinamento do staff.
Acesso de pessoas não autorizadas	Monitoramento por câmeras, área protegida por cercas, sinalização adequada.
Vandalismo ou sabotagem	Monitoramento por câmeras, área protegida por cercas, sinalização adequada.

Fonte: Zimmermann, 2014.

3.3 Usina Termoelétrica a Biogás.

A usina termoelétrica a biogás será a principal responsável pela geração de energia, ela capta o biogás em poços de aterros sanitários (ou outras fontes de biomassa) a partir de drenos. E por meio de motores a combustão de alta

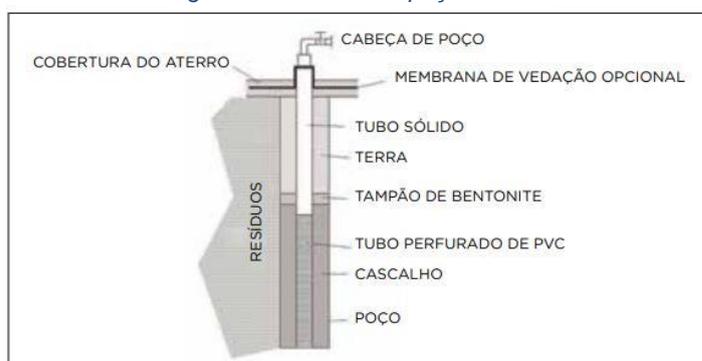
performance, o biogás é queimado gerando a elétrica (CARVALHO, TAVARES, SANTOS 2019 p. 19). O gás excedente que não pode ser convertido em energia é queimado em Flare⁴, essa queima transforma o gás metano em dióxido de carbono (CO₂), que é 23 vezes menos poluente, o que contribui significativamente para a diminuição do efeito estufa.

Filipe Barone, Diretor da Liberum Energia discorre sobre os efeitos positivos do aproveitamento biogás para o meio ambiente:

“Após a destinação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nos Aterros Sanitários, ocorre a decomposição dos resíduos orgânicos e é originado o gás utilizado para a geração de energia renovável: o Biogás. Composto por mais de 50% de gás Metano (CH₄), sua transformação em energia elétrica, por meio da queima e produção de dióxido carbônico (CO₂), minimiza o aumento do efeito estufa e promove a valorização sustentável dos gases gerados no aterro.”. (MARCA AMBIENTAL, 2020).

O processo da coleta pode ocorrer de duas formas: uma chamada de coleta vertical, que capta o biogás a partir dos poços de tratamento de chorume dos aterros sanitários, e outro chamado “coleta horizontal”, que são os próprios drenos (Carvalho, 2019). Esses poços são instalados por cima das membranas inferiores do aterro, onde o RSU é depositado ao redor dos poços, que podem ser alongados se o operador decidir aumentar o nível de resíduos dentro do aterro (DUDEK *et al.*, 2010). Os poços são preenchidos por uma tubulação por onde passa o gás, sendo o espaço entre está e as paredes do buraco preenchido por cascalho (Carvalho, 2019).

Figura 9: Corte de um poço vertical



Fonte: EPA (2010).

O material utilizado para condução de substratos e água são canos em aço ou

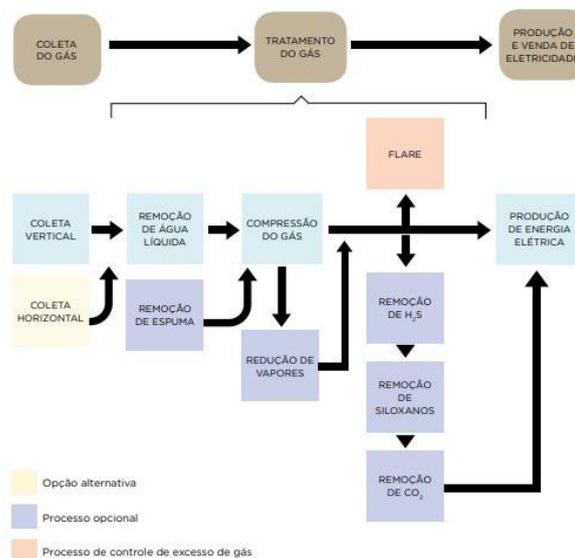
⁴ São basicamente queimadores, equipamentos responsáveis pela queima do biogás residual.

em PE (tubos de poliuretano com resistência a ultravioleta), e para a condução de biogás são indicados os de aço inox ou PE, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (Pro biogás, 2015). Os drenos verticais têm um raio de influência de 30 a 40 metros, sendo necessários, em média, 10 drenos por hectare (ICLEI-BRASIL, 2009).

Uma vez coletado, o gás passa por um processo de tratamento que ocorre em algumas etapas, que consistem em remover a água presente, e comprimir o gás para a produção da energia elétrica. Em alguns casos, outros processos podem ser incluídos como: remoção de espuma, redução de vapores, remoção do ácido sulfídrico (H₂S), controle dos siloxanos e remoção de CO₂ (Carvalho, 2019).

Há três tecnologias principais para a conversão do biogás em eletricidade: motores de combustão interna, turbinas a gás e microturbinas, sendo os motores por combustão o mais utilizado, representando mais de 70% de todos os projetos de biogás de aterros sanitários (Carvalho, 2019). Seu custo baixo, fácil adaptação aos aterros e eficiência relativamente elevada, de 25% a 35%, os tornam a tecnologia de escolha em plantas de capacidade instalada entre 0,8 MW e 3 MW (EPA, 2010).

Figura 10: Fluxo do Biogás em uma usina



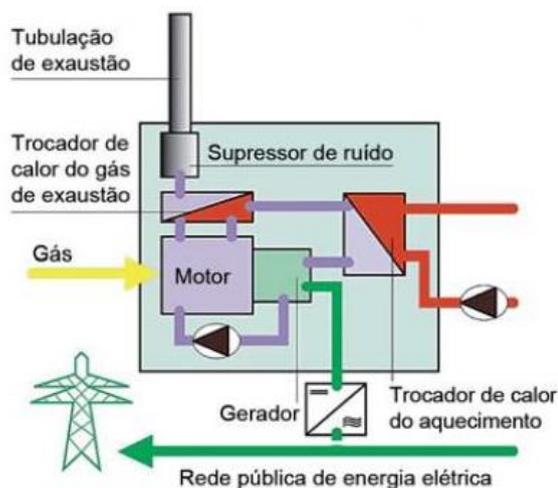
Fonte: Carvalho (2019)

Os motores podem ser usados em usinas com capacidades superiores a 20 MW. Possuem quatro tempos, que funcionam com base em quatro etapas sequenciais: admissão, compressão, combustão e exaustão (ICLEI-BRASIL, 2009).

”A conversão energética de biogás em energia elétrica pode ser realizada de diversas formas devido aos atuais avanços tecnológicos. As tecnologias mais utilizadas são as microturbinas a gás e os motores de combustão interna de ciclo Otto. A utilização de microturbinas ainda

apresenta custos elevados e o seu tempo de vida útil operando com biogás ainda é baixo[...]" (SOUZA; et al).

Figura 11: Estrutura esquemática da conversão em energia elétrica



Fonte: ASUE

Segundo Natali Nunes, engenheira eletricista do CIBiogás:

“O biogás, diferente de outras fontes renováveis, é caracterizado pela sua não intermitência. Ou seja, ele pode ser utilizado em qualquer horário do dia, visto a sua armazenagem, despachabilidade e de acordo com a demanda da unidade. A geração firme traz uma segurança energética e melhora na qualidade da energia[...]" (CIBiogás, 2020).

Figura 12: Sistema de captação e conversão do biogás em energia



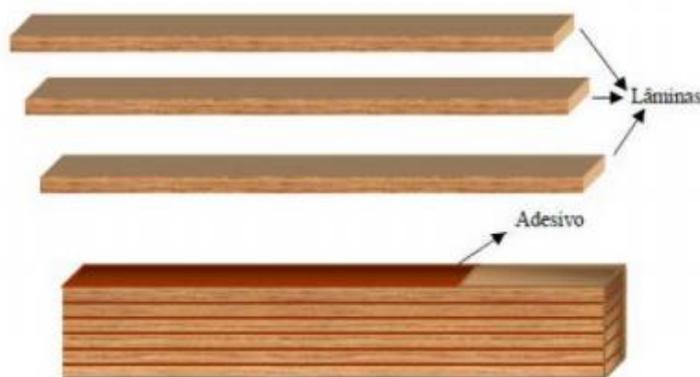
Fonte: BRASMETANO (2007).

3.4 Madeira Laminada Colada – MLC

Também conhecido como Glulam (Glued Laminated Timber em inglês), é um material que consiste na união de seguimentos individuais (lâminas) de madeira

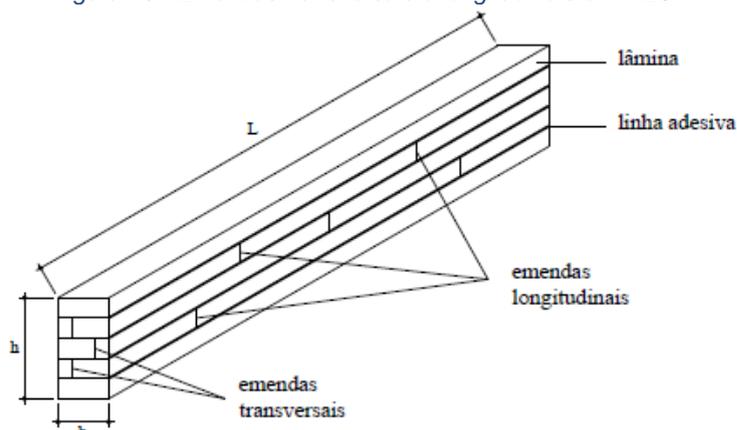
adesivadas industrialmente, estes adesivos costumam ser resina de melamina ou poliuretano. O que resulta em peças de alta resistência e durabilidade, resistência a umidade (necessitando muitas vezes de impermeabilizadores) e ótima performance mecânica para vencer grandes vãos (Migliani, Audrey 2019).

Figura 14 - Esquema de colagem das lâminas



Fonte: APRILANTI (2010)

Figura 13 - Emendas transversais e longitudinais em MLC.



Fonte: APRILANTI (2010)

As lâminas podem ser dispostas horizontalmente ou verticalmente em relação a viga, onde cada viga pode conter emendas longitudinais e transversais utilizadas para se obter maiores dimensões de largura e comprimento (Ramos, Diego 2017).

“[...]Conseqüentemente ao emprego da madeira, o uso do MLC também ocupará um espaço cada vez maior. Por agregar maior tecnologia em seu processo produtivo e no controle de produção, sua aplicação em obras de maior apelo tecnológico é uma consequência natural, haja vista o crescimento do seu emprego em shopping centers, escolas, ginásios, dentre outros. O MLC permite aplicações em construções de grandes vãos e em situações que apenas a madeira serrada maciça não alcançaria, principalmente àquelas em que se necessitaria de seções de peças de madeira maiores que 40 cm. O seu forte apelo de sustentabilidade, tal qual a madeira, o coloca em vantagem frente aos materiais convencionais, como o concreto e o aço.[...]”. (Ramos, Diego 2017).

O uso do MLC na construção civil é indicado principalmente com intuito

estrutural, vigas, pilares, coberturas e outros, por se tratar de um produto fabricado. Por se tratar de um produto fabricado, possui uma redução de resíduos significativa em relação a outras tipologias construtivas. Segundo Ramos (2017), ao adotar a fabricação fora do canteiro, é possível ter uma melhoria na eficiência e no desempenho ambiental, garantindo a qualidade dos componentes utilizados e na segurança construtiva, além da redução na geração de resíduos nos locais de obra. Segundo Leite, Santos e Valle (2017), o uso por MLC tende a ocupar um maior espaço na construção civil brasileira, pois este se prevalece do uso de tecnologia para melhorar seus desempenhos estruturais.

3.5 Conforto Ambiental.

O conforto ambiental na arquitetura está ligado a ideia de proporcionar aos usuários de determinados espaços condições confortáveis para habitação, fazendo uso de formas arquitetônicas, aberturas, materiais e outros, sempre baseando-se nas condicionantes geográficas e climáticas locais para que através da racionalidade se obtenha as melhores condições para seus usuários (Siqueira, 2021). Segundo a definição de Izard e Guyot (1979):

“[...]a arquitetura bioclimática é aquela que permite ao edifício beneficiar os ambientes interiores com conforto ao longo das variações das condições exteriores, demandando uma reduzida quantidade de energia com climatização artificial[...]” (apud FREITAS, 2008, p. 52).

Deve-se levar em consideração as análises bioclimáticas locais afim de reconhecer as melhores estratégias arquitetônicas para que se alcance uma eficiência térmica interna da edificação. Segundo Virgínia Araújo, professora do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRN “ O Conforto Ambiental, compreende o estudo das condições térmicas, acústicas, luminosas e energéticas e os fenômenos físicos a elas associados como um dos condicionantes da forma e da organização do espaço” (SIQUEIRA, 2021).

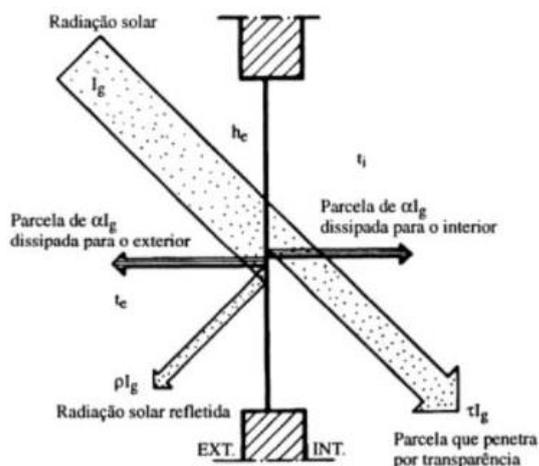
Cartas solares, carta de ventos, umidade local e predominância climática são ferramentas que auxiliam nesta análise. Após o reconhecimento das condições climáticas que permeiam a edificação, adota-se medidas afim de equilibrar a temperatura interna com relação a externa.

3.5.1 Conforto Térmico.

Possuir um ambiente interno bem equilibrado a partir de uma arquitetura passiva bem planejada, reduz consideravelmente o uso de sistemas mecânicos, contribuindo para uma edificação mais sustentável. Para isto, torna-se imprescindível considerar os seguintes aspectos: isolamento, ganho solar, inércia térmica e ventilação natural.

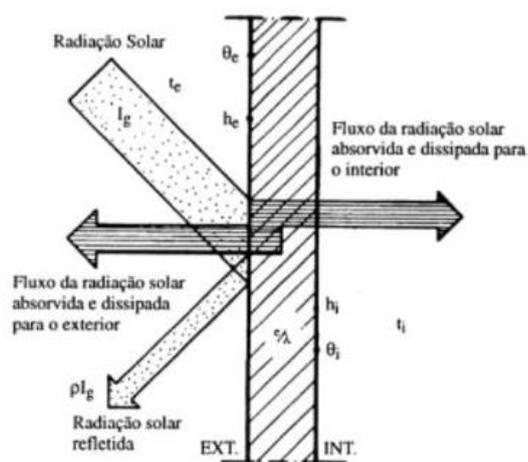
As paredes de uma edificação funcionam como um filtro para a radiação do calor, essa envoltória pode ser classificada como opacas (Figura 17) ou translúcidas (Figura 16) (Frota e Schiffer, 1988 p 41).

Figura 17 - Troca de calor em paredes opacas.



Fonte: Frota e Schiffer (1988)

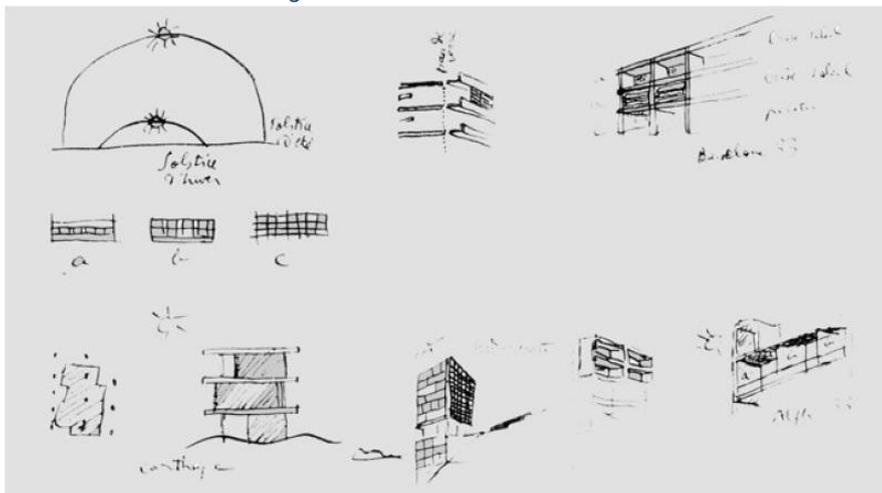
Figura 16 - Troca de Calor em paredes translúcidas.



Fonte: Frota e Schiffer (1988)

Com o propósito de oferecer maior proteção aos fechamentos externos das edificações, os brises (Figura 15) barram a incidência da luz solar antes que ela atinja a parede e, conseqüentemente, deixa de dissipar o calor para o interior da edificação.

Figura 15 - Estudo de Brise-Soleil



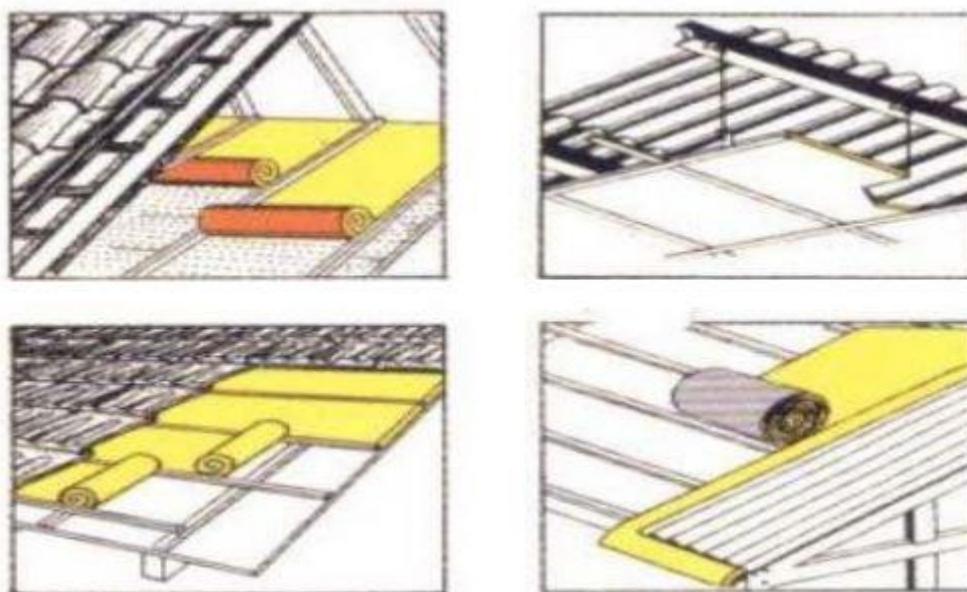
Fonte: Le Corbusier (1970)

Mescolotto (2010), cita a importância da eficiência energética na arquitetura;

“Investir em fontes renováveis não quer dizer esquecer a conservação de energia, pois, é por meio da eficiência energética que evitamos a necessidade de geração no curto prazo. Ao sermos eficientes em relação ao consumo de energia, estamos contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país[...]” (Mescolotto, 2010).

A velocidade com que a temperatura interna de uma edificação se dissipa é chamada de “inércia térmica” (Lamberts, 2016), a escolha adequada dos materiais garante que seu interior permaneça mais frio ou quente (dependendo das necessidades locais), para tal faz-se uso de materiais como pedras ou tijolos quando o intuito é manter seu interior mais fresco por mais tempo, ou no caso de regiões frias, recomenda-se o uso da madeira, pois possui baixa inercia térmica e permite que seja aquecido mais rapidamente no inverno. Ou opta-se por fazer uso de materiais isolantes quando o intuito é manter a temperatura interna sem que haja troca com o exterior, para tal usa-se materiais fibrosos, concreto celular, poliuretano e outros agregados leves.

Figura 18 - Aplicação de isolante fibroso em cobertura



Fonte: LAMBERTS

A Norma ABNT (NBR 15220), de Desempenho Térmico nas Edificações, responsável por definir parâmetros climáticos brasileiros que serviram de base para estudos bioclimáticos, fornecendo métodos para calcular as propriedades térmicas de elementos e componentes construtivos, destinadas às habitações unifamiliares.

4. Estudos de Caso

Os estudos de caso que serão apresentados na sequência têm por objetivo desenvolver a pesquisa exploratória acerca dos temas propostos a partir de casos já existentes ou em fase de licenciamento. O estudo foi composto por 3 (três) pesquisas que ocorrem em três níveis: regional, nacional e internacional, e com focos distintos.

Aterro Sanitário Estre Ambiental (regional): que visa estudar principalmente a implantação do aterro, construção de apoio, setorização e métodos de drenagem de fluidos.

Usina de biogás Usina de Recuperação energética Mauá (nacional): com foco nas instalações da edificação, setores, implantação e vistas.

Edificação em madeira WeWork 25 King (internacional): Neste caso a proposta é identificar a composição estrutural de madeira da edificação e conectores metálicos.

4.1 Estre Ambiental - CGR Iguaçu - Fazenda Rio grande - PR

O Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu (CGR Iguaçu), na Avenida Nossa Senhora Aparecida, nº 3188 - Santa Terezinha em Fazenda Rio Grande, é o aterro sanitário responsável por recolher os RSU de Curitiba e parte da região metropolitana, ele está localizado no Município de Fazenda Rio Grande, cidade ao sul de Curitiba (JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA).

Figura 19 - Vista Aerea Aterro Fazenda Rio Grande.



Fonte: CGR Iguaçu - ESTRE

Conforme inventário de resíduos sólidos industriais, disponibilizado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), em 2016 houve a geração de 17.926.438,06t de resíduos, dos quais apenas 23.061,74 t obtiveram disposição final inadequada.

Administrado pela empresa Estre Ambiental, responsável pela organização da gestão do sistema de tratamento e destinação dos resíduos sólidos, por meio de um Consórcio Intermunicipal, sua implantação abrange uma Estação de Tratamento de Lixiviados (ETL), e também possui um Centro de Educação Ambiental, que tem como objetivo promover a educação para a sustentabilidade e discussões sobre a geração de resíduos e consequências.

De acordo com o zoneamento e ocupação do solo urbano (Lei Complementar nº6/2006), do plano diretor do Município da Fazenda Rio Grande, o local onde está localizado o aterro é classificado como Zona Industrial e de Serviços 1 (ZIS1) caracterizando os seguintes usos:

Figura 20 - Relação de usos da ZIS1.

Zona	Permitido	Permissível	Tolerado	Proibido
Zona Industrial e de Serviço 1 (ZIS1)	Comercio e serviços gerais Indústrias grupo B Indústrias grupo C	Comércio e serviços setoriais	Habitação unifamiliar	Todos os demais usos

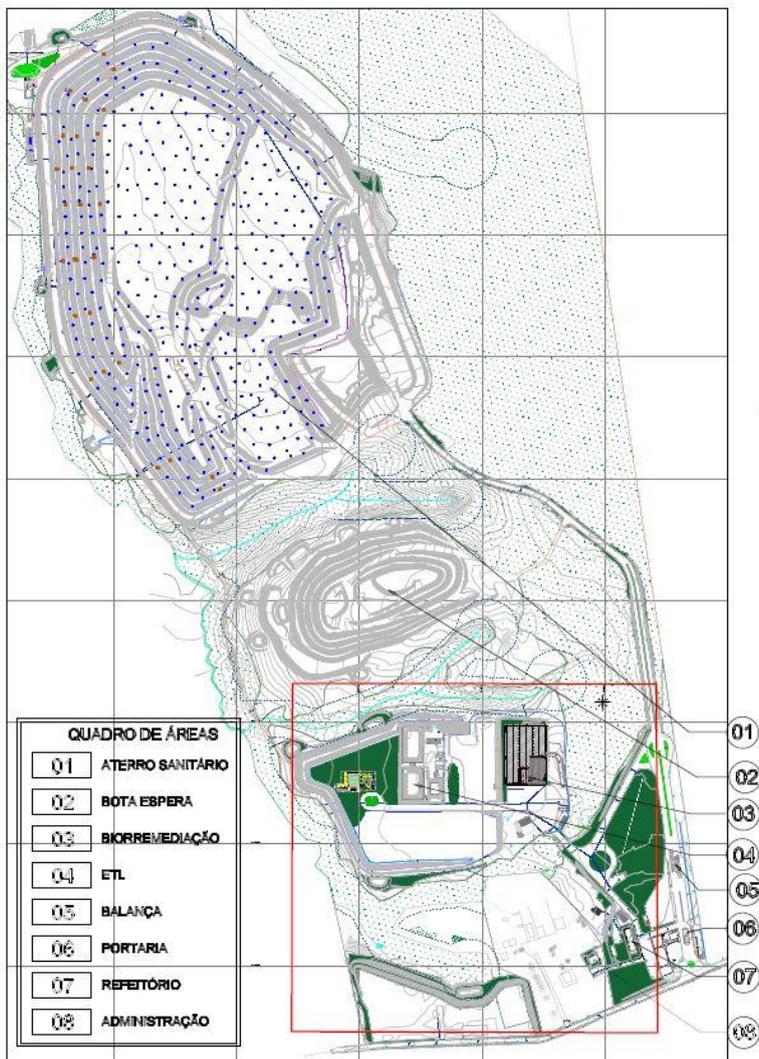
Fonte: Prefeitura de Fazenda Rio Grande – Secretaria de Urbanismo (2018)

Segundo informações da própria empresa, até o ano de 2019, a capacidade operacional do CGR Iguaçu somente das unidades de Biorremediação, era de 6.600 toneladas/ mês, ETL 400 m³/ dia e UTE 8,59MW.

4.1.1 Implantação

Além do aterro em si, de classe II (resíduos não perigosos), a implantação do terreno inclui outras edificações associadas ao tratamento de resíduos, estas se encontram em pleno funcionamento, como: portaria (figura 26), unidades de apoio operacional, unidade de triagem de resíduos, unidade de compostagem, unidade administrativa (escritórios, salas de reunião e sanitários figura 23), refeitório (figura 25); central de conversão de energia elétrica, oriundas do biogás; estação de tratamento de lixiviado (ETL); balanças (figura 22), galpão de biorremediação (figura 21), bota espera, e área de convivência para os funcionários (figura 27). Na figura 24 é apresentada a implantação do aterro e a distribuição destes setores, sendo a inferior destinada a áreas de apoio.

Figura 27 - Implantação CGR Iguazu - Fazenda Rio grande



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 26 - Administrativo



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 25 - Balança



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 24 - Biorremediação



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 21 - Portaria



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 22 - Refeitório



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 23 - Área de convivência



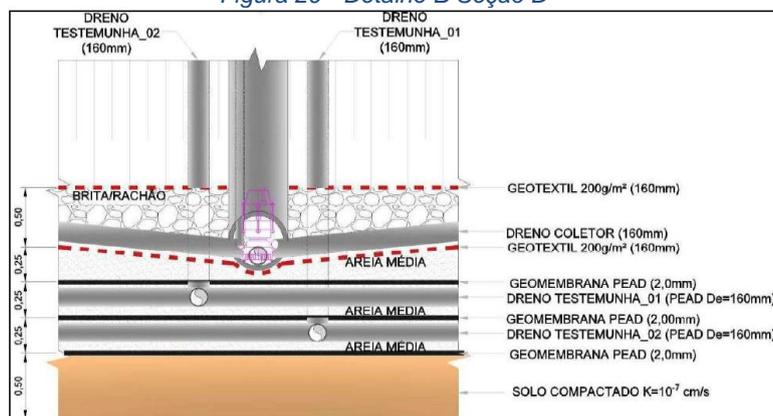
Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

4.1.2 Sistemas de drenagem

O aterro sanitário caracteriza-se pela técnica de disposição final de resíduos sólidos, balizados por normas técnicas e operacionais específicas (CONSILIU, 2008). Para tal, seguintes algumas das medidas preventivas adotadas referentes a drenagem (plantas em anexo):

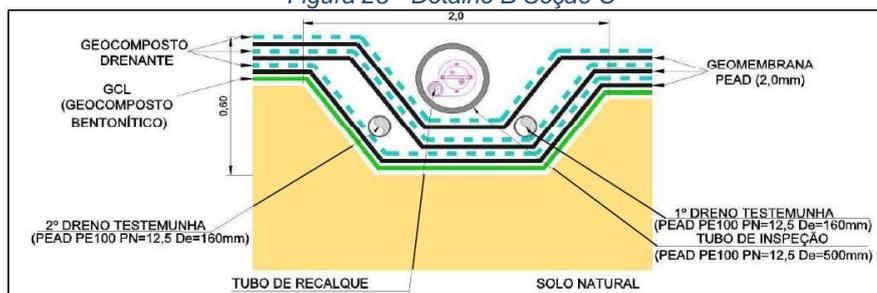
- Sistema de drenos testemunha (figura 28 e 29); têm como principal função permitir a detecção de rupturas no sistema de impermeabilização principal, porém, em face de sua estruturação constituem-se, também, em barreira adicional para a contenção desses líquidos. Serão instaladas tubulações de PEAD de 160mm de diâmetro, ranhura das na geratriz inferior, que terão função de tubo condutor.
- Sistema de drenagem de líquidos percolados; Sobre o sistema de impermeabilização foi implantada uma estrutura drenante para a captação dos líquidos percolados gerados pelos resíduos, constituída por linhas de tubos condutores em PEAD, de 160mm de diâmetro, inseridos em camisas de pedra 4 dispostas em formato de espinha de peixe. Nos pontos de conexão entre os drenos principais e o dreno coletor será introduzida uma tubulação de PEAD, de 315mm, que ascenderá pelo talude da escavação aflorando na superfície do terreno.

Figura 29 - Detalhe B Seção D



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 28 - Detalhe B Seção C

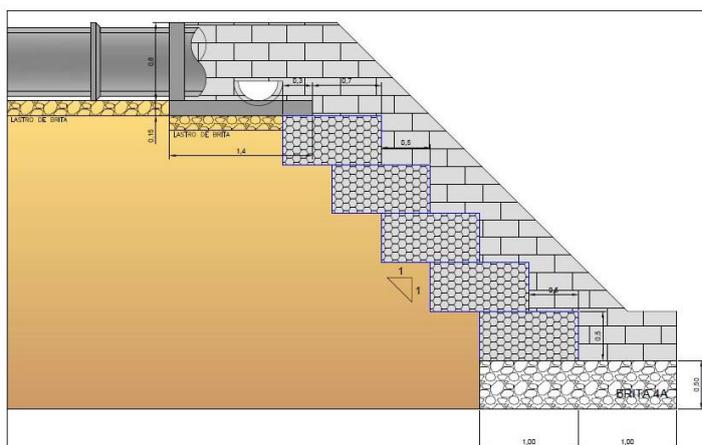


Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

• Sistema de drenagem para águas pluviais; Além da própria geomembrana de cobertura, o sistema de drenagem de águas pluviais será composto pelos seguintes elementos:

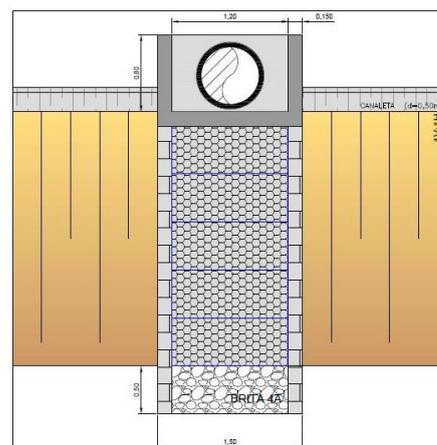
- Canaletas (figura 32): contornando o aterro classe I serão instaladas meias-canas de concreto de 0,5m de diâmetro que captarão as águas pluviais incidentes sobre o aterro e, também sobre os acessos circunvizinhos, encaminhando para as caixas de passagem;
- Caixa de passagem: as águas coletadas pela canaleta que contorna o maciço serão encaminhadas a caixas de passagem e, desta, via tubulação de concreto de 0,6m de diâmetro, aos pontos de lançamento;
- Ala bueiro (figura 30 e 31): estrutura dissipadora de energia será construída em gabião. Tem por finalidade reduzir a velocidade das águas pluviais nos pontos de lançamento, prevenindo processos erosivos.

Figura 32 - Ala bueiro (vista lateral)



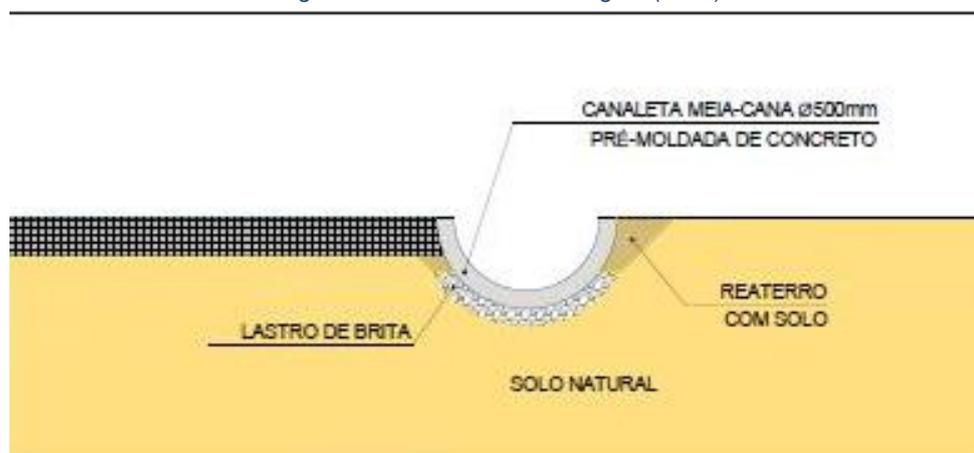
Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 31 - Ala bueiro (vista frontal)



Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

Figura 30 - Canaleta de drenagem (corte)

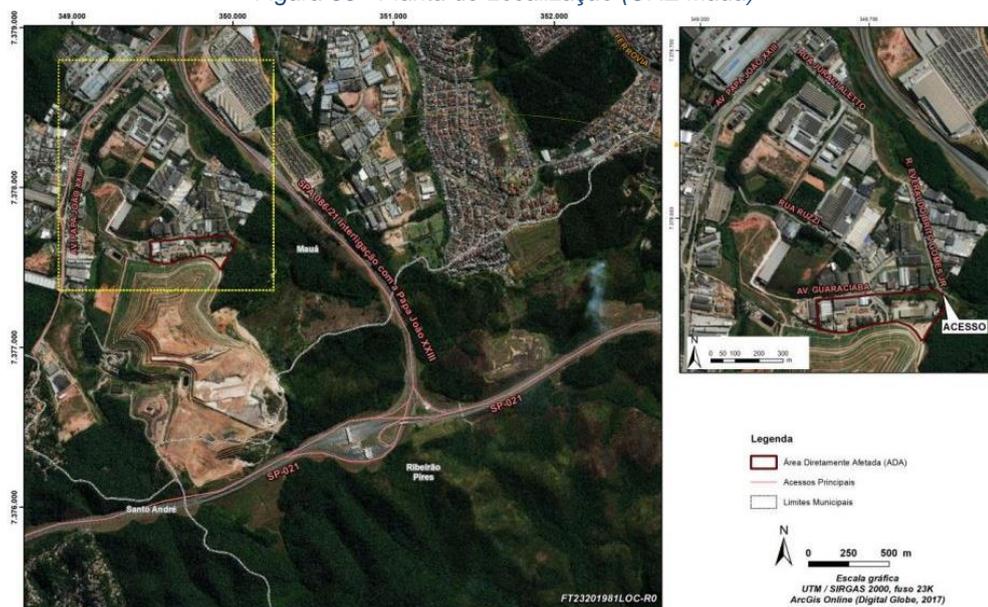


Fonte: JURIS AMBIENTIS, EIA/RIMA

4.2 Unidade de Recuperação Energética – URE Mauá

A URE Mauá atualmente encontra-se em processo de licitação, e acaba de ter sua aprovação no Conselho Estadual de Meio Ambiente de São Paulo para implantação da usina no Município de Mauá. Sob responsabilidade da Lara Central de Tratamento de Resíduos Ltda., na propriedade da própria empresa, em área atualmente licenciada pela CETESB para a operação do Aterro Sanitário (CETESB, 2020).

Figura 33 - Planta de Localização (URE Mauá)



Fonte: CETESB (2020)

O projeto contribuirá para prolongar a vida útil do aterro que se encontra desativado, a usina possui capacidade para produzir 80 megawatts de energia oriunda do biogás, a cada hora, quantidade suficiente para abastecer cerca de 250 mil residências. Segundo Marcos Penido, secretário de Infraestrutura e Meio Ambiente e presidente do Consema (SÃO PAULO, 2020):

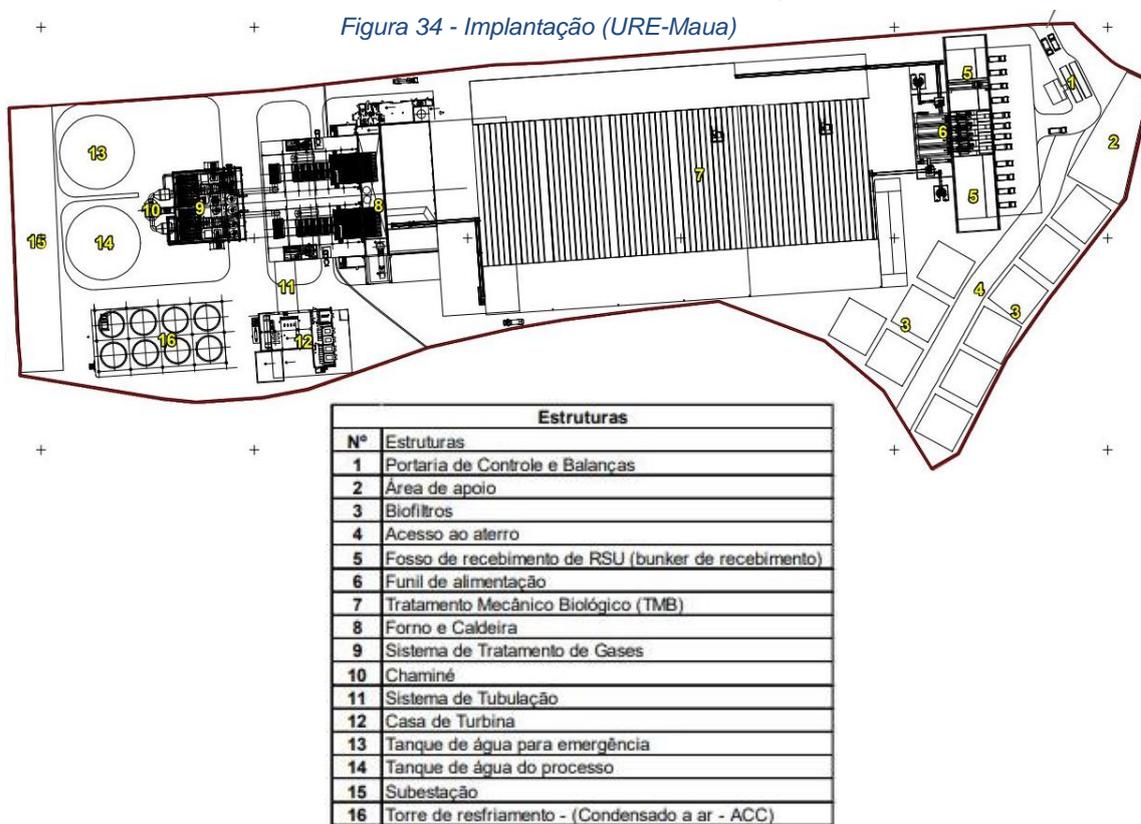
“O tema de resíduos sólidos é prioritário para o Governo do Estado. O material reciclável é muito importante e o que não é reciclável precisa ser transformado em energia e gerar emprego e renda. Não podemos mais enterrar essa oportunidade. É responsabilidade do Consema defender empreendimentos e ações que gerem emprego e renda, que seja viável do ponto de vista ambiental e nos permita avançar na gestão dos resíduos sólidos”

A escolha deste empreendimento se fez pela consonância do projeto com a proposta de estudo desta monografia, ou seja, uma Usina de Bioenergia, implantada

em um aterro sanitário que faz uso do biogás oriundo do aterro para conversão em energia. Além deste, há outras opções com a mesma proposta já em funcionamento no país, tais como: Usina termelétrica Valor Gás - Juiz de Fora (MG); Usina termelétrica Bandeirantes - São Paulo (SP); Usina termelétrica a biogás do Aterro Sítio São João - São Paulo (SP) e Usina Termoverde Salvador - Salvador (BA), esta última sendo até o presente momento a maior usina do biogás do país. Entretanto, devido à falta de material disponível para o estudo e devido à complexidade estrutura desta tipologia, foi escolhido a URE Mauá mesmo que ainda esteja em processo de licenciamento para início da construção.

4.2.1 Implantação

A área em que será implementada a URE, no momento é utilizada como áreas de apoio do aterro sanitário da Lara Central de Tratamento de Resíduos. Algumas das estruturas como, setor de manutenções de máquinas e equipamentos, almoxarifado, lavagem de maquinário, balanças, portaria e enfermaria serão demolidas e reconstruídas na URE Mauá. A seguir, a implantação do empreendimento situada ao lado do Aterro Sanitário Lara (CETESB, 2020). Implantação detalhado no Anexo.



Fonte: CETESB (2020).

Na tabela 02 são apresentadas as principais características do empreendimento tais como área construída, quantidade de fornos e caldeiras e demais parâmetros construtivos disponibilizados por estudo EIA/RIMA.

Tabela 2 - Tabela de Área.

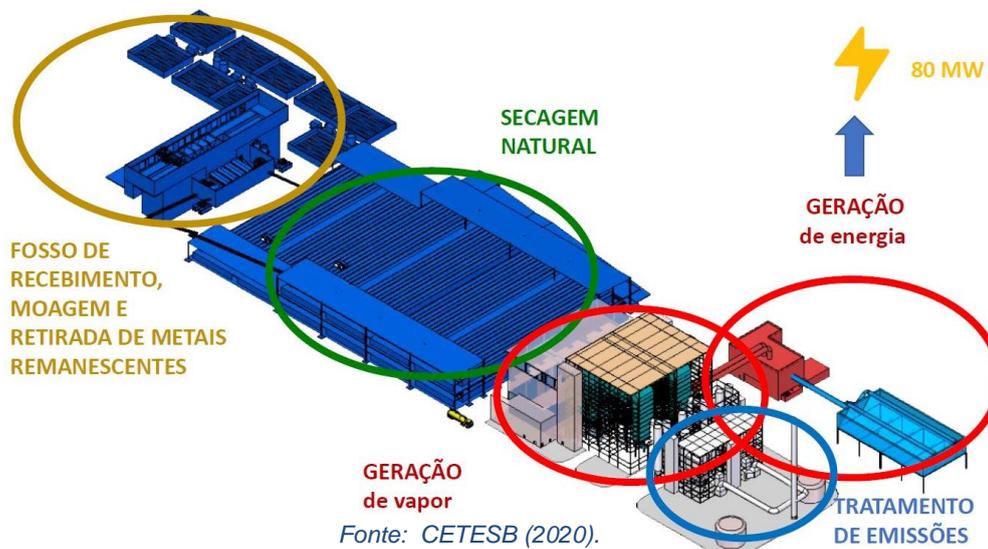
Indicador	Projeto	Unidade
Área da gleba (Matrículas nºs 34.836, 17.561, 27.384, 29.785, 33.574 e 349)	300.641,38	m ²
Área construída	29.311	m ²
Atividades ao ar livre	42.714	m ²
Capacidade total de geração de energia elétrica	77 BRUTO	MW
Capacidade de geração por módulo	38,5 BRUTO	MW
Configurações (ciclos)	Rankine	-
Turbina a vapor	2	nº turbinas
Caldeiras	2	nº de caldeiras
Pressão de Operação das caldeiras	90	kgf/cm ²
Produção de vapor por caldeira	163	tvap/hora
Torres de resfriamento ACC / ar/ar	295	m ³ /h
Combustível biogás por linha	2000	Nm ³ /h
Duto associado	N.A.	Km
Diâmetro do duto	N.A.	mm
Tensão da Linha	88-138	KV
Sistema de Água Desmineralizada	5,4	m ³ /h
Estação de Tratamento de Efluentes - ETE (*)	5	m ³ /h
Empregos diretos gerados durante a operação	40	-
Capacidade de recepção de resíduos	3.000	t/dia
Fornos	2	nº
Capacidade de tratamento/forno	62,5	t/h
Temperatura de chama adiabática	1.200	°C
Equipamento de Controle Poluição Ar	SEMI SECO E FILTRO MANGA	UM POR LINHA
Monitoramento Contínuo	MP, SO _x , HCl, HF, HCT, CO, NO _x , Oxigênio, Temperatura	Parâmetros SMA 79/09

(*) ETE, já licenciada para volume de 25 m³/h

Fonte: CETESB (2020).

4.2.2 Vistas, Cortes e Volumetria

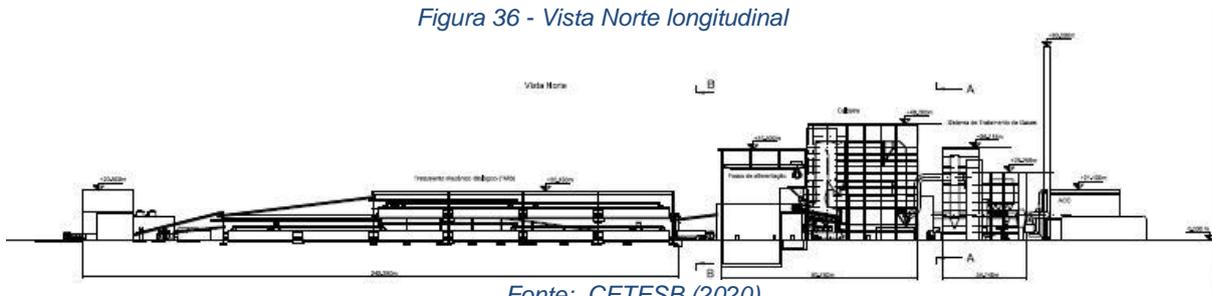
Figura 35 - Volumetria (URE - Maua)



Fonte: CETESB (2020).

A partir da volumetria vista na figura 36, percebe-se a distribuição geral dos blocos conforme o fluxo de tratamento de RSU, desde o recebimento e pesagem de resíduos na balança até o tratamento térmico (caldeiras), geração e distribuição da energia limpa. Em anexo é possível entrar plantas, vistas e o fluxo geral da URE-Mauá.

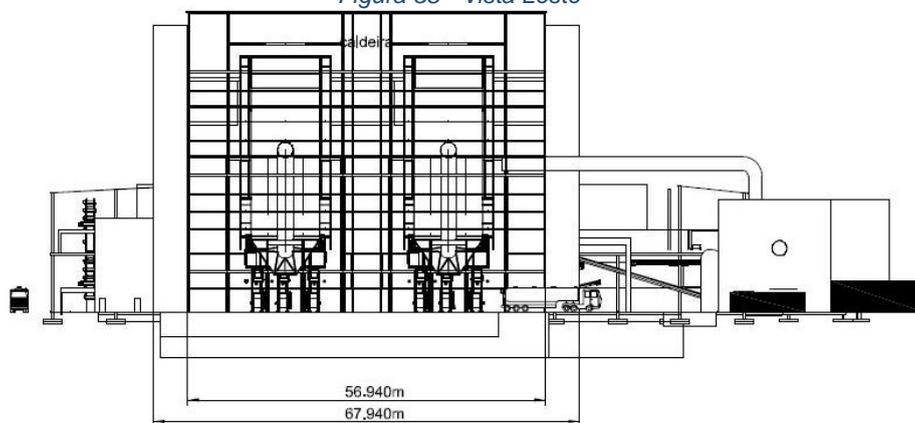
Figura 36 - Vista Norte longitudinal



Fonte: CETESB (2020).

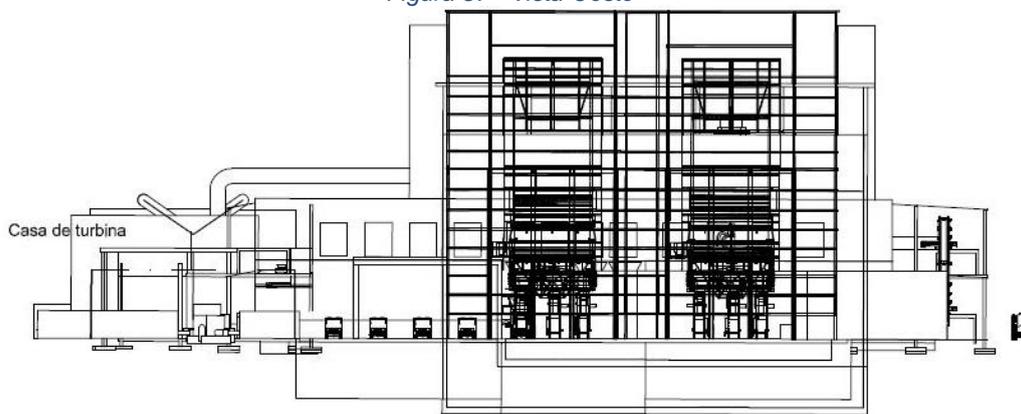
Na (figura 37, 38 e 39), se vê uma hierarquia de alturas que inicia-se na portaria (ponto mais baixo do empreendimento), passa pelo Tratamento Mecânico Biológico TMB), com uma altura total de 20,19 metros e 3 pavimentos, Caldeiras (48,20 metros de altura), tratamento de gases (38,15 metros) e a chaminé com 80,00 metros de altura sendo o ponto mais alto do complexo. Detalhes do corte em Anexo.

Figura 38 - Vista Leste



Fonte: CETESB (2020).

Figura 37 - Vista Oeste



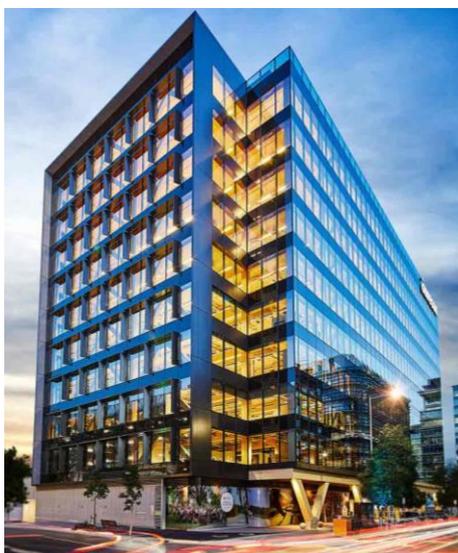
Fonte: CETESB (2020).

4.3 WeWork 25 King - Austrália

O maior edifício comercial em madeira da Austrália, foi inaugurado em Bowen Hills (subúrbio de Brisbane), região esta que é permeada por edificações em concreto e que é uma das maiores iniciativas de renovação urbana na Austrália, compreendendo 340.000 m² de novos edifícios residenciais, comerciais e de varejo (Aurecon, 2019).

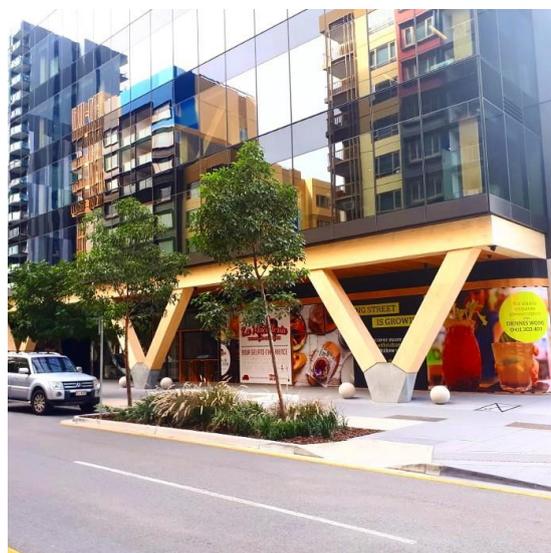
A Aurecon procurou criar um ambiente de trabalho de classe mundial ao procurar um novo espaço de escritório para realocar mais de 600 pessoas. A opção de madeira apresentada pela Lendlease deu à Aurecon a chance de se diferenciar, criando um ambiente para seus funcionários no centro de seu projeto e, assim, apoiando a saúde e o bem-estar de seus colaboradores. A estética do projeto é centrada no objetivo de trazer uma expressão clara de sua estrutura de madeira exposta a pele de vidro do edifício e promover um ambiente de trabalho mais acolhedor exposto a luz natural.

Figura 40 - Esquina da edificação



Fonte: AURECON (2018)

Figura 39 - Terreo - Pilares em V

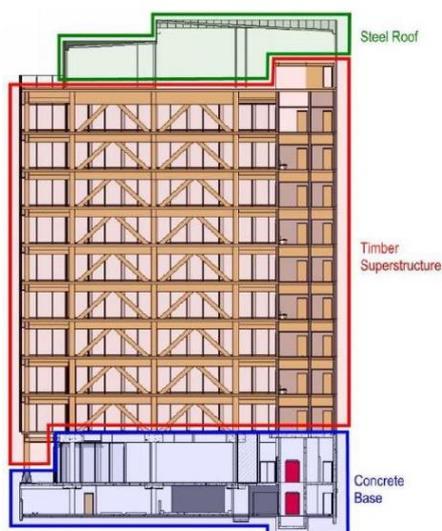


Fonte: AURECON (2018)

4.3.1 Materiais e métodos construtivos

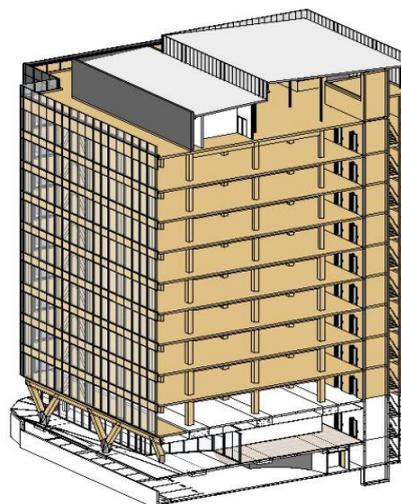
A superestrutura de 10 pavimentos utiliza uma combinação de madeira laminada cruzada (CLT) e MLC (madeira laminada com cola). O MLC é usado para as vigas e colunas estruturais, e o CLT para os pisos, poços de elevador, piso e fechamentos internos.

Figura 42 - Corte estrutural



Fonte: AURECON (2018)

Figura 41 - Perspectiva estrutural



Fonte: AURECON (2018)

Para construir a edificação foram utilizados:

- Cerca de 5,970m³ de madeira
- 1,470m³ MLC
- 4,500m³ CLT
- 3,098 chapas de madeira
- Sendo aproximadamente 330 peças por pavimento
- Equivalente a 3,402 árvores

Referente ao uso da madeira como principal sistema estrutural e sua possibilidade de pré-fabricação, o diretor da Bates Smart fez a seguinte afirmação: “O extenso processo de projeto de pré-construção e fabricação fora do local levou a um programa de construção local significativamente mais reduzido e mais limpo, com desperdício mínimo. O edifício foi construído em 18 meses, com a envolvente da fachada seguindo a estrutura em sequência andar a andar.”

A estrutura utilizada no edifício distingue-se por possuir pilares em madeira maciça em V em sua fachada principal frontal formando espécies de “varandas” no piso térreo alocadas a cada 9 metros no piso e com largura total de 4,5 metros de uma ponta do V a outra, estas ficam apoiadas em uma estrutura de concreto no pavimento térreo. No decorrer dos demais pavimentos até o 9º andar, repete-se os pilares em V, porém, desta vez invertido com uma angulação de 45° em duas fileiras.

Figura 46 - Pilar em V



Fonte: AURECON (2018)

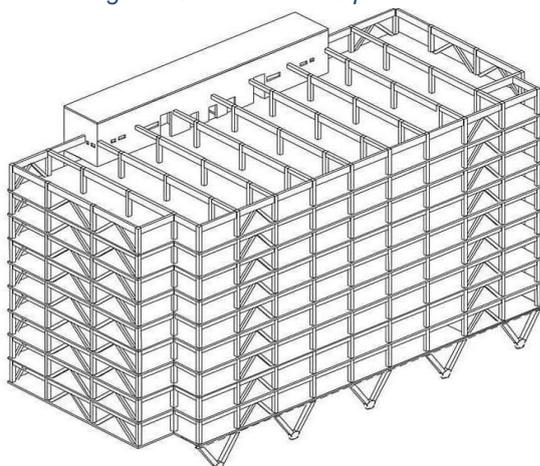
Figura 45 - Pilar MLC



Fonte: AURECON (2018)

Já para as demais vigas situadas ao interior da edificação, essas foram feitas com o uso de MLC. As colunatas que se encontram em frente a edificação possuem 54 metros de altura com seção transversal de 48 x 48 cm, que se estendem por toda a edificação a cada 9 metros em seu interior.

Figura 43 - Estrutural esquemático



Fonte: AURECON (2018)

Figura 44 - Laje em CLT



Fonte: AURECON (2018)

O grid inicial era de 9x9 e se mantivesse essa malha, as vigas de madeira ficariam muito altas e o prédio teria que aumentar o gabarito. Para viabilizar economicamente, a malha virou 6 x 9 e as vigas foram posicionadas de maneira estratégica para evitar que elas fossem perfuradas para passar tubulações. No entanto, algumas vigas precisaram ser furadas. As vigas de MLC com furações foram reforçadas em fábrica com uma camada de LVL e o reforço Diagonal em MLC nas fachadas do edifício fornece contenção lateral adicional.

Todo o piso é feito com CLT + piso elevado apoiado em uma pequena peça de borracha, o que garante isolamento de som — dispensando o forro acústico que

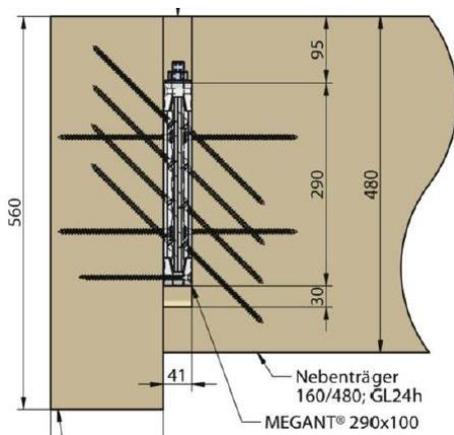
estava previsto. Já a estrutura do subsolo e térreo da edificação são de concreto devido à umidade e ao potencial de formigas brancas.

Seu sistema de vigamento funciona de forma convencional onde temos vigas primarias distribuídas ao redor da edificação com seção transversal 48 x 58 cm, e as vigas secundarias com seção transversal de 48 x 48 cm, distribuídas paralelamente a cada 6 metros, estas possuem os seguintes comprimentos: 28 metros, 4 metros e 24 metros.

4.3.2 Conexões entre os elementos construtivos.

O principal elemento de conexão entre os elementos estruturais verticais e horizontais foi o Megant que é conector não aparente removível, formado por chapa tridimensional furada em liga de alumínio, conectando corte madeira-madeira em todas as direções da viga secundária, madeira maciça, madeira laminada LVL e outros, para o projeto em questão foi solicitado que o megant fosse sob medida, para que se adequasse as medias das peças da estrutura (KNAPP, 2017).

Figura 47 - Esquemático Megant



Fonte: AURECON (2018)

Figura 48 - Megant Tradicional



Fonte: KNAPP (2017).

O motivo de terem feito um megant sob medida é que se precisava desse tamanho para que as peças pré-dimensionadas, permitindo ser um retângulo bem estruturado de 29x10.

Quanto aos demais pilares e vigas da fachada, nada é aparente porque foi usada massa plástica para esconder suas conexões, porém, pressupõem-se que estes tenham sido conectados ligações metálicas do tipo “união escoramento pilar”.

Figura 50 - Megant aplicado no estrutural



Fonte: AURECON (2018)

Figura 49 - Conexão metálica em madeira.



Fonte: AURECON (2018)

4.4 Quadro Resumo Comparativo entre os Estudos de Caso

Na tabela a seguir serão apresentados de forma didática as principais características dos três estudos de caso estudados anteriormente, sendo que cada pontos podem ser classificados como: bom, regular ou ruim, ou “Não se aplica” para aquilo que não encontrado material para análise. É importante citar que este quadro não tem por objetivo comparar os estudos entre si, visto que cada edificação possui uma tipologia diferente, e o intuito é avaliar como cada estudo pode contribuir para a pesquisa e quais são os pontos de atenção (regular ou ruim) que devem ser melhor previsto.

Tabela 3 - Quadro Comparativo

Legenda	Bom	Regular	Ruim
Itens Analisados	CGR Iguaçu	URE Mauá	25 King
Implantação	Ocupado principalmente pelos aterros e bota espera, tendo um terço da implantação para ocupação de edificação de apoio.	Os blocos que compõem a URE são em distribuídos ocupando quase que por completo o terreno.	Não se aplica
Planta Baixa	Não se aplica	A planta (em anexo), traz com mais detalhes as divisões internas dos blocos e suas disposições	Não se aplica
Fluxograma	Baseia-se no fluxo do RSU dentro da implantação desde sua pesagem (primeiro setor) até o depósito final no aterro.	Assim como no caso do aterro, o fluxo da URE foca na entrada de RSU até sua distribuição energética e a disposição dos blocos acompanham esta lógica.	Neste caso priorizou-se o estudo pelo fluxo das cargas e seu comportamento na edificação

Setorização	São separados entre: administrativo, aterro, biorremediação e estação de tratamento	São divididos entre: Administrativo e recebimento, secagem natural, geração de energia e tratamento de emissões	Neste caso a setorização classifica-se verticalmente pelo uso de material construtivo (conforme imagem 44).
Volumetria	Como as edificações são térreas e esparsas não há um grande desenvolvimento volumétrico.	A volumetria bem caracterizada pelas diferenças de altura entre os blocos que acompanham as necessidades de cada setor.	Uma edificação sem muitas variantes volumétricas, diferenciando-se pelo elemento construtivo e fachada em vidro.
Materiais	As edificações de apoio são em alvenaria convencional e bloco de biorremediação em aço com lona (conforme imagem 22).	Não se aplica	A edificação faz bom uso do CLT e MLC como material construtivo e utiliza o vidro como elemento de fachada.
Entorno	Localizado em uma região afastada do grande centro, porém de fácil acesso pela BR-376.	Encontra-se ao lado do aterro de Mauá, do qual pretende-se fazer uso do biogás.	Encontra-se em um dos principais bairros de Brisbane.
Detalhes Técnicos	Procurou-se pelos detalhamentos de drenagem que são de maior representatividade para os aterros.	Não se aplica	Os detalhes priorizam representar as conexões metálicas entre os elementos estruturais em madeira.

5. Diretrizes Projetuais.

No capítulo a seguir serão apresentadas as diretrizes que irão direcionar o projeto do aterro sanitário e da usina de bioenergia, assim como a análise do local de inserção, parâmetros construtivos, organogramas, programa de necessidades e outros. Para isso, será utilizada a informação dos estudos feitos nos capítulos anteriores bem como toda a legislação e regulamentos vigentes.

5.1 Análise da Região Metropolitana de Curitiba.

A escolha pelo terreno partiu de um mapa macro da região metropolitana de Curitiba, optou-se por uma região que fosse afastada dos meios urbanos porém que não se ultrapassa um raio de 50 km do centro de Curitiba em decorrência dos custos com o transporte de RSU. Na sequência, foi verificadas as condições ambientais e geológicas que favorecessem a instalação de uma usina; na região Norte é onde se encontra o aquífero do Karst, no leste temos os afluentes e mananciais do próprio Iguaçu (Iguaçu e Iraí juntos correspondem a aproximadamente 70% do abastecimento de Curitiba), oeste a bacia hidrográfica de manancial do Passaúna, e por fim temos

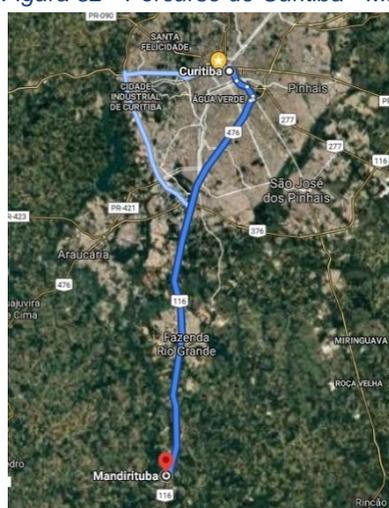
a região Sul, que possui fácil acesso a Curitiba e demais municípios, não possuem grandes centros urbanos em seu entorno e ainda é muito caracterizada pela agricultura, dentro da região sul foram analisadas dois municípios, Fazenda Rio Grande e Mandirituba, visto que Fazenda Rio Grande já possui um aterro sanitário em atividade e tem intensificado sua expansão urbana a melhor opção para a instalação da usina junto ao aterro é Mandirituba, que até o momento concentra grandes espaços territoriais e está a 40 km do centro de Curitiba.

Figura 51 - Região Metropolitana



Fonte: Mandirituba (2018)

Figura 52 - Percurso de Curitiba - Mandirituba



Fonte: Google Maps - Alteração do Autor.

Sua população iniciou-se no século XVII a partir da garimpagem, visto que a região não era abundante e metais preciosos seus habitantes iniciaram atividades agropecuárias. Durante o século XIX, a madeira passou a ser seu principal produto de exportação, o que trouxe grandes prejuízos para o bioma local, e a partir do século XX, iniciou o ciclo agroindustrial da região.

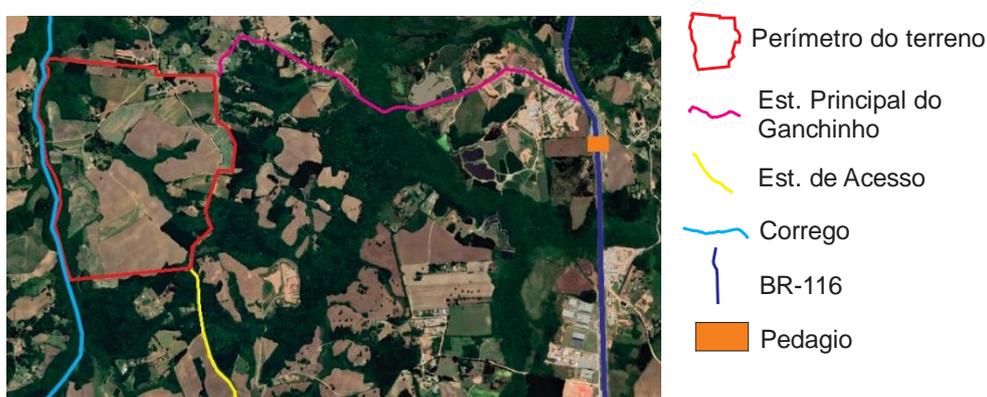
Em 1909, o lugarejo de Estrada de Mandirituba, foi simplificado para Mandirituba pelo Decreto Estadual nº 243, nessa época seu território pertencia à Comarca de São José dos Pinhais. Somente em 25 de julho de 1960, pela Lei Estadual nº 4.245, Mandirituba foi elevada à categoria de município. O município faz divisa com: Fazenda Rio Grande ao norte; Agudos do Sul ao sul; São José dos Pinhais e Tijucas do Sul a leste; Quitandinha e Araucária a oeste.

5.2 Análise do terreno e seu entorno.

O terreno escolhido está localizado na zona rural de Mandirituba, por se tratar de uma zona não urbana e não haver um projeto urbanístico para tal, as vias que lhe

dão acesso são estradas rurais não nomeadas, uma delas inclusive (via da testada norte do terreno), é nomeada localmente como “Estrada principal do Ganchinho”, que é uma continuidade da Rua da Fazenda, por esta via é possível acessar ao lote vindo da BR-116 sem passar pelo pedágio (Figura 53), já pela estrada lateral direita (também não nomeada) é possível seu acesso pela Rua Generoso Ronaldo da Rocha, que termina diretamente na Avenida Paraná, via coletora de maior representatividade urbana de Mandirituba. a área está localizada a 15 minutos de centro de Mandirituba (12 km); 40 minutos do centro de Curitiba (38,5 km de distância), 18 minutos de Aterro da Fazenda Rio Grande (7,9 km de distância) e 24 minutos do Aterro do Caximba (16,7 km de distância).

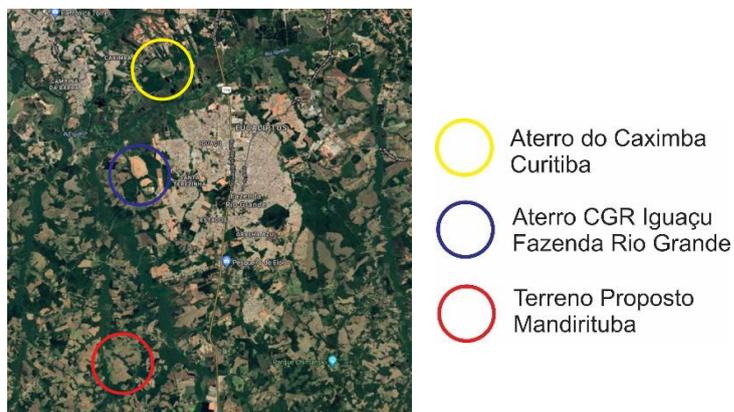
Figura 53 - Estudo de Entorno



Fonte: Google Earth Pro alterações do autor

É importante destacar a proximidade do terreno com os aterros de Fazenda Rio Grande e Caximba (Figura 54), pois como mencionado nos capítulos anteriores, mesmo que desativado um aterro continua liberando líquido percolado. Considerando que a proposta é inserir uma Usina de Bioenergia para aproveitamento dessa material, é necessário que haja uma proximidade entre os aterros para que a conversão em energia seja possível.

Figura 54 - Mapeamento dos Aterros



Fonte: Google Earth Pro alterações do autor

O terreno possui no total 139 hectares (1.394.832,11 m²), sendo 1.005 metros de fachada frontal, 944 metros de fachada posterior e 1.268 metros de comprimento. Devido a atividades extrativistas que aconteceram na região, o terreno encontra-se limpo (como na imagem 55), com apenas algumas massas vegetais principalmente ao redor do leito do córrego e no meio do terreno, conforme observado na Figura existe um bosque de araucárias que pretende-se no projeto.

Figura 55 - Vista Area do terro



Fonte: Google Earth Pro alterações do autor

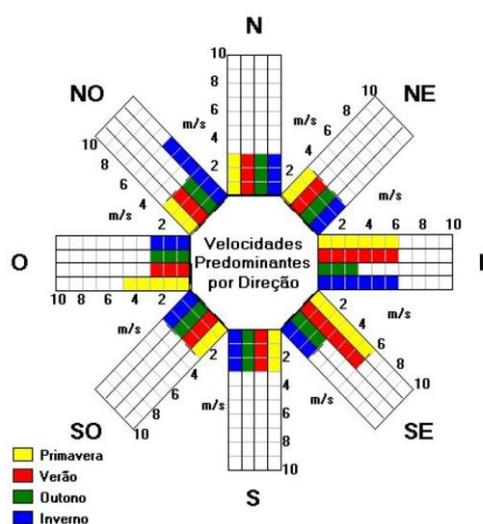
Por ser afastado dos centros urbanos, o terreno está livre de sombreamento oriundo de outras edificações, desta forma a edificação a ser proposta será privilegiada por insolação e ventilação natural. Pela Figura 56, é visto que a fachada frontal encontra-se ao norte sendo seu período de maior insolação aos equinócios, e pela rosa dos ventos (figura 57), possui predominância de ventos oriundos da fachada leste.

Figura 57 - Carta Solar



Fonte: Google Earth Pro alterações do autor

Figura 56 - Rosa dos Ventos



Fonte: Sol-Ar, 2021

Por se tratar de área rural não há Plano de Zoneamento ou diretrizes projetuais previstas no Plano Diretor Municipal, portanto, serão considerados as diretrizes do Instituto Ambiental do Paraná – IAP, do CONAMA e a Resolução Estadual CEMA 094/2014. Conforme a Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente de Mandirituba, o terreno possui coordenada geográfica: 25°42'44.9"S 49°21'16.8"W, registro junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA): 49691996 e CCIR: 701106001775-9,

5.3 Organograma e Programa de Necessidades

Baseado nos estudos de caso apresentados no Capítulo 4, assim como de outros que não foram apresentados, mas estão referenciados nesta monografia, foi desenvolvido um Programa de Necessidades, em que combinou-se as necessidades tanto do Aterro como da Usina, assim, alguns ambientes não serão repetidos. É importante destacar também de que será proposto um aterro sanitário de pequeno porte que servira como complemento ao CGR-Iguaçu, que se encontra em atividade no momento.

- Portaria (Aproximadamente 30 m²): Será responsável pelo controle de entrada e saída do aterro e da usina, além de administrar o uso da balança (que também estará na entrada), dentro dele será necessário alocar Instalação Sanitária, uma pequena sala de apoio aos funcionários e o espaço da portaria em si.
- Setor Administrativo (Aproximadamente 550m²): Para atender todas as necessidades do complexo será necessário: recepção (20m²), 3 salas de treinamentos (120m²), almoxarifado (50m²), instalações sanitárias (4 masculinas, 4 femininas e 1 P.C.D totalizando 75m²), 3 salas de reuniões (55m²), sala para engenheiros (25m²), sala para técnicos (25m²), diretoria (20m²), RH (25m²), financeiro (25m²), sala de monitoramento (20m²) e circulação.
- Instalações Sanitárias Externas (Aproximadamente 100m²): Uma edificação separada do setor administrativo para uso dos funcionários da área operacional (6 cabines femininas, 6 masculinos e 1 P.C.D).
- Refeitório (Aproximadamente 400 m²): Para uso de todos os funcionários do

complexo, necessário considerar espaço para a cozinha (80m²), despensa (15m²), lavatório (10m²), lavanderia (10m²) e salão (285m²).

- Aterro - Célula de lixo (Aproximadamente 5.000 m²): Local de destino final de RSU, a partir dele que será drenado o chorume e encaminhado às usinas. É previsto o máximo de 20 metros de altura com taludes de inclinação 1H:1,5V, intercalados por bermas de 3m de largura.
- Bota-espera (Aproximadamente 1.000m²): Utilizado na terraplenagem como o local onde são alocados a terra que será misturada para cobrir a camada de resíduos depositado nas células para decomposição.
- Galpão de estoque (Aproximadamente 1.500m²): Galpão para estocagem geral de materiais secos, em principal da terra que servira de cobertura para as células de lixo.
- Estacionamento (Aproximadamente 1000m²): Foi considerado vagas para funcionários de todo o complexo e visitantes (400m² para 20 vagas), além de estacionamento coberto para os caminhões de transporte e área de manobras (600m²).
- Reservatório de Percolados (Aproximadamente 300m²): Lagoa artificial impermeabilizada, responsável pela estocagem temporária do chorume drenado do aterro e de outros aterros que foram transportados.
- Estação de tratamento (Aproximadamente 3.000m²): Local destinado a tratamento do Biogás, sendo necessário espaço para as três etapas de tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e Remoção de siloxanos, além da sala de controle.
- Forno e Caldeiras (Aproximadamente 2.000): Local fechado onde serão alocados os Fornos e Caldeiras da Usina para conversão de energia, será necessário espaço para duas caldeiras e dois fornos, além de todo o maquinário e tubulações, é importante considerar também altura mínima de 30 metros.
- Estação de tratamento de Gases (Aproximadamente 1.500m²): Área necessária para comportar os cilindros de purificação de gases poluentes como o biometano que virou subproduto do biogás. Após este setor o gás residual é encaminhado á chaminé (Flare).
- Estação de Tratamento Mecânico Biológico (Aproximadamente 3.000m²): Local

para reduzir o nível de água do RSU, isso aumenta um ganho de energia e uma melhoraria em todo o processo da planta, permitindo reduzir o uso de reagentes e insumos.

- Casa de Turbinas (Aproximadamente 2.000m²): Serão alocados no total duas turbinas de potência instalada de 35,5 MW, é pela movimentação das turbinas gerado pelo vapor que irá converter a energia elétrica.
- Área de Convívio (Aproximadamente 200m²): Área coberta para desconpressão de funcionários.
- Área de Preservação (Aproximadamente 697.416,055m²): Além da área de preservação no contorno do leito do córrego, também será previsto a preservação na vegetação já presentes no lote.

Ao total, é previsto de que a área seja de aproximadamente 26.580m², é importante também ressaltar de que será necessário projetar as vias de acesso e circulação dentro do complexo além de manter uma área para possíveis ampliação, seja umas novas células de aterro ou um novo aterro de tipo I (resíduos perigosos).

Figura 58 - Organograma



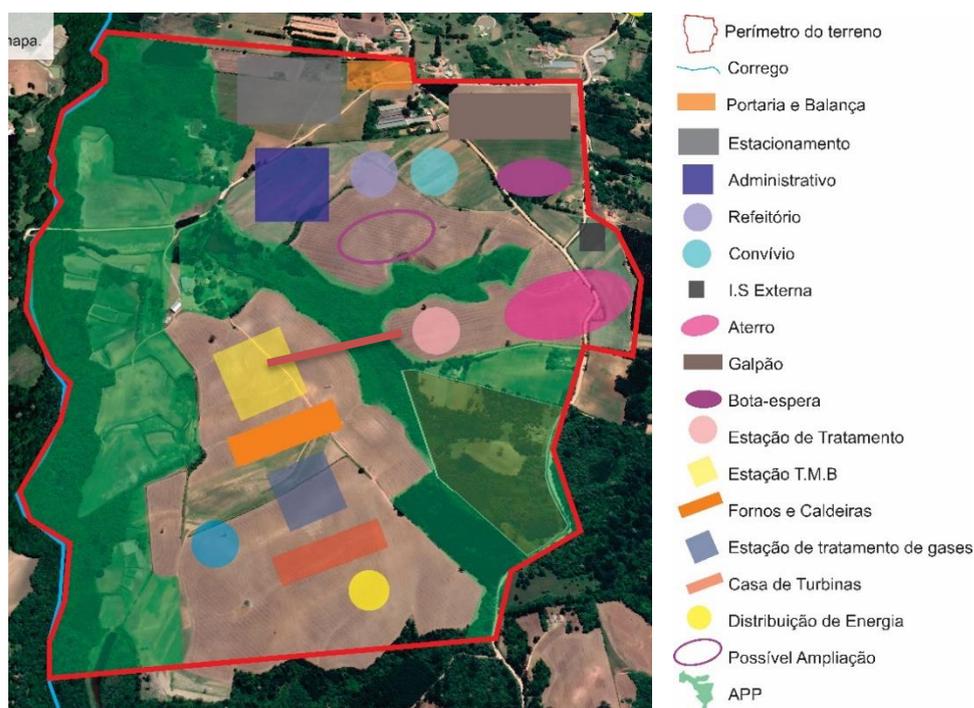
Fonte: VISIO - Autor

Na figura 58 é representado o organograma esquemático e resumido por setores, de como o programa indicado anteriormente irá se comunicar no terreno, necessário ressaltar de que o fluxo está relacionado diretamente ao percurso do RSU, já que somente funcionários terão acesso ao complexo de aterro e usina.

5.4 Proposta de Ocupação do Terreno.

Tendo em vista os assuntos abordados, as legislações, organograma e programa de necessidades apresentados, a figura ... tem por propósito agrupar todos estes conhecimento e necessidades na distribuição espacial do terreno.

Figura 59 - Proposta de Ocupação.



Fonte: Google Earth Pro alterações do autor

Os blocos são ligeiramente afastados um do outro, de modo que permita uma maior ventilação entre eles e dissipação de ruídos, o fluxo inicia-se pela portaria, e balança e segue para o setor administrativo que se mantém entre as áreas do aterro e usina, a direita do administrativo estão localizadas todos os setores que se referem ao aterro sanitário, ele se inicia pelo galpão de estoque e finaliza na Estação de Tratamento de Lixiviado (E.T.L). Abaixo na figura está do bloco administrativo se encontra o complexo da Usina de Bioenergia, iniciada pela Estação T.M.B até a distribuição de energia elétrica diretamente a rede, por isto, este último setor localiza-se próximo a estrada de acesso ao Município de Mandirituba. Cabe ressaltar que a E.T.L e E.T.M.B ficarão paralelas para que possam se conectar através de drenos subterrâneos. Outro importante para a concepção do complexo é a APP (Área de Preservação Permanente), que deverá ocupar 50% do terreno e além de permear o córrego a esquerda que também faz a separação do complexo e funciona como uma barreira sonora para os demais ambientes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme exposto desta monografia, o objetivo principal do projeto proposto é o aproveitamento de potencial energético de RSU, mais precisamente através de uma usina de bioenergia junto a um aterro sanitário para que se possa coletar o chorume como matéria prima para conversão em energia elétrica, que retornará a comunidade, assim, o percurso do lixo gerado nos centros urbanos torna-se cíclico, o que minimiza seus impactos ao meio ambiente.

Para tal proposta, foi necessário explorar diversos campos da arquitetura como saneamento, arquitetura industrial, conforto ambiental, urbanismo e planejamento ambiental, sendo que o saneamento obteve maior representatividade, visto que se fez necessário uma abordagem por todo o gerenciamento de resíduos em centros urbanos, políticas de gerenciamento e meios de destinação ambientalmente corretos, e principalmente o potencial de energia que possui o lixiviado que atualmente tem sido descartado pelos aterros. A arquitetura industrial foi caracterizada pelo projeto da usina, sendo necessário conhecimento acerca dos processos de produção do biogás, de todos os setores industriais e das necessidades que envolvem esta tipologia. Através do conforto ambiental foi possível encontrar técnicas que possam melhorar o conforto térmico dentro das edificações, uma vez que seu local inserido possui diversidades climáticas durante o ano, foi necessário apostar em técnicas como inércia térmica e brises que além de compor as fachadas permitirão filtrar a incidência solar durante o verão e permitir sua passagem durante o inverno. No que se refere ao urbanismo e planejamento ambiental, estes foram de suma importância para o planejamento do melhor local para inserção do complexo, vias de acesso para melhor logística com o aterro que está em atividade, além de pesquisas baseadas em EIA/RIMA já existentes para planejar os possíveis impactos no meio ambiente e como evitá-los e, principalmente possibilitar a proposta do próprio aterro, que assim como ocorreu para o planejamento da usina, este também teve seu foco no fluxo de RSU, áreas de apoio e programa de necessidades. Para melhor concepção da proposta projetual das edificações dentro do terreno, foi utilizado o método de pesquisa exploratória e análise dos estudos de caso, que tiveram foco em projetos de aterro sanitário (localizado na Fazenda Rio Grande), usina de bioenergia (localizado na Mauá – SP) e uma edificação em madeira (localizado em Brisbane – Austrália), que

contribuíram para a concepção da proposta final.

Como citado, a escolha do local de inserção do aterro necessitou de pesquisa abrangente em toda a região metropolitana de Curitiba, já que necessita-se de um terreno afastado de centros urbanos, com uma grande área disponível, com liberdade construtiva no que se refere a parâmetros e zoneamento e ao mesmo tempo com fácil acesso para o centro de Curitiba e demais regiões, dessa forma a melhor escolha foi o Município de Mandirituba, que devido suas atividades extrativistas durante meados do século XX, originou terrenos de grande porte, planos e “limpos” (sem a presença da mata nativa), desta forma, o terreno que foi escolhido permite que tanto o aterro como a usina se instalem sem que se cause grandes prejuízos ao seu entorno além de possibilitar a ampliação das áreas de APP dentro dele.

Por fim, todo os estudos apresentados contribuíram para que no final se propusesse um plano de ocupação para um complexo composto por um aterro sanitário e uma usina de bioenergia construídos em sua grande parte por MLC, que será uma ferramenta a mais tanto para o gerenciamento de RSU, como fonte de energia renovável a sociedade, objetivo este que vai de encontro a PNRS de 2012.

REFERÊNCIAS

ABLP, - **Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. Limpeza Pública: Aterros Sanitarios.** 2010. Disponível em: <http://www.ablp.org.br/revistaPDF/edicao_0073.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419:** apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896 /1997:** Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.

ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050:** Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=447312>>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ABRELPE. **Caderno informativo recuperação energética. In: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.** São Paulo, Brazil: [s.n.], 2012.

ALBUQUERQUE, J. B. **Torres de. Resíduos sólidos.** Leme: Independente, 2011.

AMATA BRASIL. **AMATA BRASIL: Conheça o 25 King: o maior edifício de madeira engenheirada da Austrália,** 2019. Disponível em: <<https://medium.com/@amatabrasil/conhe%C3%A7a-o-25-king-o-maior-edif%C3%ADcio-de-madeira-engenheirada-da-austr%C3%A1lia-366f67da7584>> Acesso em 04 de mai 2021.

AMAURI, A. A. C. Terra Ambiental. **Entenda a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e como aplicá-la em sua empresa.** 21 de agosto de 2019. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/entenda-a-politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs-e-como-aplica-la-em-sua-empresa>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ARCHDAILY. **15 conexões metálicas para estruturas de madeira laminada Arauco.** 2015. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco>> Acesso em: 05 mai 2021.

AURECON. **Catalogo: 25 King Presentation to AIRAH,** 2018. Disponível em: <https://www.airah.org.au/Content_Files/Divisionmeetingpresentations/QLD/QLD-19-02-19-Quentin%20Jackson-Jeremy-Mansfield.pdf> Acesso em: 05 abr 2021.

AURECONGROUP. **Projetos: 25 King, Brisbane , Austrália.** 2018. Disponível em: <<https://www.aurecongroup.com/projects/property/25-king>> Acesso em 03 abr 2021.

BALTOKOSKI, Patrick Luan Cardoso. **Comparativo térmico e acústico entre os**

métodos construtivos, alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local. 44 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6120>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

BARROS, L. H. S. **Requalificação dos aterros desativados no município de São Paulo: Parque Raposo Tavares e Jardim Primavera.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo. São Paulo 2011.

BARROS, R.M. **Tratado sobre Resíduos Sólidos: Gestão, uso e sustentabilidade.** 2013. Rio de Janeiro: Interciência.

BEMPARANA. **Produção de lixo nas casas e ruas de Curitiba cai 12% em tempos de coronavírus.** 2020. Disponível em: <<https://www.bemparana.com.br/noticia/producao-de-lixo-nas-casas-e-ruas-de-curitiba-cai-12-em-abril#.YL5BOflKiUl>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

BORGES, Luana F. **Proposta de projetos de aterro sanitário e unidade de triagem e compostagem para o município de São Gotardo - Minas Gerais.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA CAMPUS RIO PARANAÍBA. RIO PARANAÍBA – MINAS GERAIS 2014.

BOSCOV, Maria; GIMENEZ, Eugenia. **Geotecnia Ambiental.** São Paulo: Oficina de textos, 2008.

BRASIL. **Lei no 9.605. Política Nacional de Resíduos Sólidos,** de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 09 jun. 2021.

BRASIL. LEI Nº 12.305 DE 02 de agosto de 2010, **Institui A Política Nacional De Resíduos Sólidos; Altera A Lei Nº 9.605, De 12 De Fevereiro De 1998; E Dá Outras Providências.** Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12305&ano=2010&ato=e3dgXUq1keVpWT0f1>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA. Resolução CONAMA nº 404. 2008. 8º, inciso I, da Lei nº 6.938,** de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <<https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=108772>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

BRISKI, S. J; GOES, C. T; JESUS, F. S; KURTA, J. **Análise Qualiquantitativa da Bacia do Rio Barigui para Verificação de seu Estado Hidrológico e Ambiental.** Universidade Tuiuti do Paraná.

CARVALHO. R. Q; TAVARES, A.N; SANTOS, G. V. **Oportunidades Enterradas: Geração Elétrica a Partir do Biogás de Resíduos Sólidos Urbanos.** Vitória 2019.

CEPEA - Energia e Meio Ambiente. **Estudo do potencial da geração de energia renovável proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil.** Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/documentos/texto/-aba-hrefcepea->

mmaphpdestaque-estudo-do-potencial-da-geracao-de-energia-renovavel-proveniente-dos-aterros-sanitarios-nas-regioes-metropolitanas-e-grandes-cidades-do-brasil-a-b.aspx>. Acesso em: 15 abr. 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. CPEA. **Estudo De Impacto Ambiental – EIA Unidade De Recuperação Energética – Ure Mauá**. MAUÁ – SP. 2019

CURITIBA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Plano Municipal de Saneamento Básico, Volume IV Plano de gestão integrada de resíduos sólidos**. Novembro 2017. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00292356.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CURITIBA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Aterro Sanitário de Curitiba**. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/aterro-sanitario-de-curitiba/454>>. Acesso em: 28 fev. 2021.

DEMARCO, F. D; AFONSO, T. F. **Descrição de elementos gerais para projetos de aterro sanitário no município de Mostardas/RS**. 30 de maio de 2019. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XI-032.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

DRUMOND, Fernanda. CASACOR. **Paraná terá a 1ª usina do Brasil a gerar energia por meio de esgoto e lixo**. 2020. Disponível em: <https://casacor.abril.com.br/noticias/parana-sera-1a-usina-do-brasil-a-gerar-energia-atraves-de-esgoto-e-lixo/>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

ECYCLE. **O que é e como ele é transformado em energia**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/biogas/>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ECYCLE. **O que é Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)?**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs/>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ENERGIA QUE FALA COM VOCE. **Biogás representa a nova revolução no setor de bioenergia**. 9 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.energiaquefalacomvoce.com.br/2020/06/09/biogas-representa-a-nova-revolucao-no-setor-de-bioenergia/>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

FERNANDES, J. T. Coedf. **Inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética**. Brasil 2009.

FOGAÇA. J. R. V. Mundo Educação. **Energia Limpa**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/energia-limpa.htm>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

FRANCISCO, Wagner C. Mundo Educação. **Política dos 3R's**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/politica-dos-3rs.htm>>. Acesso em: 02 mai. 2021

FREITAS, R. M; AZEREDO, J. F. A. **A disciplina conforto ambiental: uma ferramenta prática na concepção de projetos de arquitetura, de urbanismo e de paisagismo.** Cadernos PROARQ 20.

FROTA, A. B; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto termico.** 7º Edição. São Paulo, Studio Nobel. 2003.

G1. **Quantidade de lixo reciclável produzido por moradores de Curitiba aumentou 28% durante pandemia, diz prefeitura.** 2010. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2020/10/13/quantidade-de-lixo-reciclavel-produzido-por-moradores-de-curitiba-aumentou-28percent-durante-pandemia-diz-prefeitura.ghtml>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

GARCIA, Maiara F. **Análise teórica de tecnologias de recuperação energética do gás de aterro em Foz do Iguaçu.** Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Foz do Iguaçu 2018.

GOLDEMBERG, J; NIGRO, F.E.B; COELHO, S.T. **Bioenergia no Estado de São Paulo.** São Paulo, setembro de 2008. Disponível em: <http://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/livro_bioenergia.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2021.

GOOGLE EARTH PRO. **O google terrestre mais detalhado do mundo.** Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

GOUVEIA, A.J.S; RODRIGUES, W.F; SOUZA, K.S.F; SILVA, E.C. **Aplicação Da Política Dos 3r's, Em Conjunto Com A Tríade Da Sustentabilidade, Para Incentivar A Redução De Resíduos Sólidos Em Serra Branca – PB.** 2017. SERRA BRANCA - PB

GOUVEIA, Nelson. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social.** São Paulo SP. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2012.v17n6/1503-1510/pt/>>. Acesso em: 02 mar. 2021

HOLZMANN, H. A. **As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente.** Atena Editora. 2019. Disponível em: <<https://www.finersistemas.com/atenaeditora/index.php/admin/api/artigoPDF/15464>> . Acesso em: 15 mai. 2021.

JURIS AMBIENTIS. ESTRE. **EIA- Estudos de Impacto Ambiental Centro de Gerenciamento de Resíduos Aterro Classe I.** Fazenda Rio Grande – PR.

KNAPP. Knapp Connectors: **MEGANT®- sistema de serviço pesado,** 2017. Disponível em: <<https://www.knapp-verbinder.com/en/produkt/megant-heavy-duty-system/>> Acesso em: 05 de dez de 2020.

KREILEMAN, G. J. J., BOWMAN, A. F. **Computing Land Use Emissions of Greenhouse Gases.** Water Air and Soil Pol., Vol. 76, No. 2., pp. 231-257, 1994.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico de edificações Aula 9: Desempenho térmico de paredes e coberturas.** Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2021.

LINO, I. C. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos**, 2007. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciência Exatas.

MARCA AMBIENTAL. **Usina Termelétrica A Biogás.** 04 de Agosto de 2020. Disponível em: <<https://www.marcaambiental.com.br/usina-termeletrica-a-biogas/>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MIGLIANI, Audrey. ArchDaily. **O que é Madeira Laminada Colada (MLC ou Glulam)?.** 12 de Novembro de 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/928061/o-que-e-madeira-laminada-colada-mlc-ou-glulam>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MORAVIA, Wagner G. **Avaliação do Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário Através de Processo Oxidativo Avançado Conjugado com Sistema de Separação por Membranas.** Belo Horizonte 2010. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/412D.PDF>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

NEUFERT, Ernst. **Neufert: Arte de projetar em arquitetura.** Tradução de Benelisa Franco. São Paulo: Gustavo Gili, 18 ed., 15 reim., 2017.

OLIVEIRA, N. R; FILHO, R. A. O. **Aplicação dos 3r's da sustentabilidade e seus benefícios econômicos e ambientais.** Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Montes Claros. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/3rs-da-sustentabilidade-artigo-para-revista-correcao-converted_0.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2021.

PENA, R. F. A. Prepara Enem. **Política dos 3Rs.** Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/geografia/politica-dos-3rs.htm>>. Acesso em: 07 abr. 2021.

PIRAMIDAL. **Reduzir, reutilizar e reciclar: Conhecendo os 3 R's.** 21 de janeiro de 2020. Disponível em: <<https://www.piramidal.com.br/blog/economia-circular/3-rs-da-sustentabilidade/>>. Acesso em: 07 abr. 2021.

PORTELLA, M. O; RIBEIRO, J. C. J. **Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos.** *Revista Direito Ambiental e sociedade*, v. 4, n. 1, 2014 (p. 115-134). Disponível em: <<http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3687/2110>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

SÃO PAULO. Portal do Governo. **Unidade de Recuperação Energética em Mauá tem parecer favorável para implantação.** 2020. Disponível em: <

<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/unidade-de-recuperacao-energetica-em-maua-tem-parecer-favoravel-para-implantacao/>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

PRESTES, M. F.; LAGANA, M. F. **O tratamento urbanístico do componente físicoambiental nas urbanizações de assentamentos precários na bacia Altíssimo Iguaçu** –RMC. XVII ENANPUR. São Paulo 2017.

PROTEGEER. **O que são Resíduos Sólidos?**, 2016. Disponível em: <<http://protegeer.gov.br/rsu/o-que-sao>>. Acesso em: 03 mar. 2021.

PROBIOGAS. **Anteprojeto De Uma Usina De Pesquisa E Capacitação Em Biogás**. Ministério das Cidades. Brasília, 2015.

PROBIOGAS. **Guia Prático do Biogás Geração e Utilização**. Projeto Brasil Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás. Brasília, 2010.

RAMOS, D. V.; CALLEFI, M. R. B. M.; CHAGAS, S. M.; CHICATI, M. L.; SOUZA, R. A. **A Aplicabilidade Da Madeira Laminada Colada (MLC) Em Sistemas Construtivos Contemporâneos**. IV Inova Civil 2017.

ROSEMBERGER. S. G1. **Paraná gera quase 5,9 milhões de toneladas de entulho por ano**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/crea-pr/engenharias-geociencias-e-voce/noticia/2019/11/14/parana-gera-quase-59-milhoes-de-toneladas-de-entulho-por-ano.ghtml>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

RUFINO. D. C. **BIOGÁS: O Aproveitamento Energético do Gás Metano Gerado em Aterros Sanitários**. Disponível em: <<https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/biologia/biogas-aproveitamento-energico-gas-metano-gerado-aterros-sanitarios.htm>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

SAMED, M. M. A.; CALAZANS, L.F.M. **Modelo de localização para um aterro sanitário no contexto da gestão de risco e desastre**. 2018. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_266_528_35260.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SIQUEIRA, Cileide. IBDA Forum de Construção. **Conforto Ambiental, desafio para arquitetos**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=4&Cod=800>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

SILVA, Ana L. F. **Potencial de aproveitamento energético do biogás produzido no Aterro Sanitário Metropolitano de Natal**. 2019. Natal-RN.

SLIDESHARE. **Slideshare: Madeira apostila**. 2012. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/mackenzista2/madeira-apostila-2012>> Acesso em: 05 de dez de 2020.

SOUZA, Eduardo. **Quais materiais são mais fáceis de reciclar em uma construção?** ARCHDAILY, 05 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/925361/quais-materiais-sao-mais-faceis-de-reciclar-em-uma-construcao>>. Acesso em: 13 mai 2021.

SOUZA, Eduardo. **Quais materiais são mais fáceis de reciclar em uma construção?** ARCHDAILY, 05 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/925361/quais-materiais-sao-mais-faceis-de-reciclar-em-uma-construcao>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

SOUSA, Rafaela. Mundo Educação. **Bioenergia**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/bioenergia.htm>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

SOUZA, J; PFINGSTAG, M. E; SCHAEFFER, L; ROSSINI, E. G. **Um método para projeto de plantas de biogás**. 22 de março de 2014.

STOUHI, Dima. ArchDaily. **Como projetar para atingir conforto térmico (e por que isso é importante)**. 31 de Janeiro de 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/910400/como-projetar-para-atingir-conforto-termico-e-por-que-isso-e-importante>>. Acesso em: 22 mai. 2021.

SWITZENBAUM, Michael S. **Sanitary Landfills: Long-term Stability and Environmental Implications**. In: JÖRDENING, Hans-Joachim; WINTER, Josef. Environmental Biotechnology: Concepts and Applications. Karlsruhe: Wiley-VHC, 2005.

TEIXEIRA, P. F. **Oxidação Biológica do Metano em Coberturas de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Dinâmica do Processo e Aspectos Geotécnicos**. 2008. Tese de doutorado. Escola Politécnica da USP

VERDELIO, Andreia. Agencia Brasil. **Governo federal defende prorrogação do prazo da lei que acaba com os lixões**. 27 de fevereiro de 2016. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-02/governo-federal-espera-pela-prorrogacao-do-prazo-da-lei-que-acaba-com-os>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

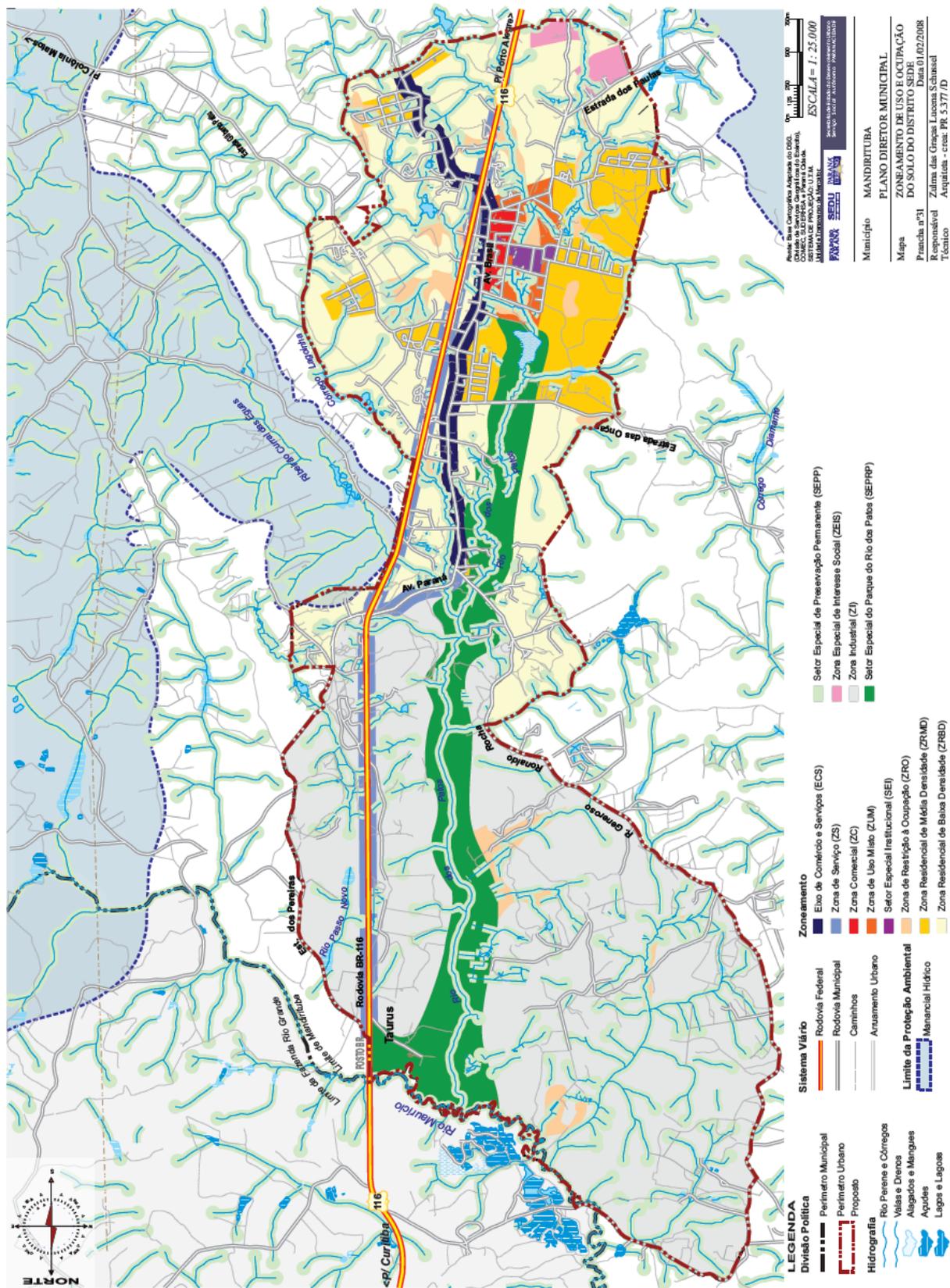
VG RESIDUOS. **Como funciona o aterro sanitário?**. 2018. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-funciona-o-aterro-sanitario/>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

VG RESIDUOS. **A diferença entre lixo, resíduo e rejeito e como é feito o seu gerenciamento**. 2020. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/blogdiferenca-entre-lixo-residuo-rejeito/>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

ANEXOS

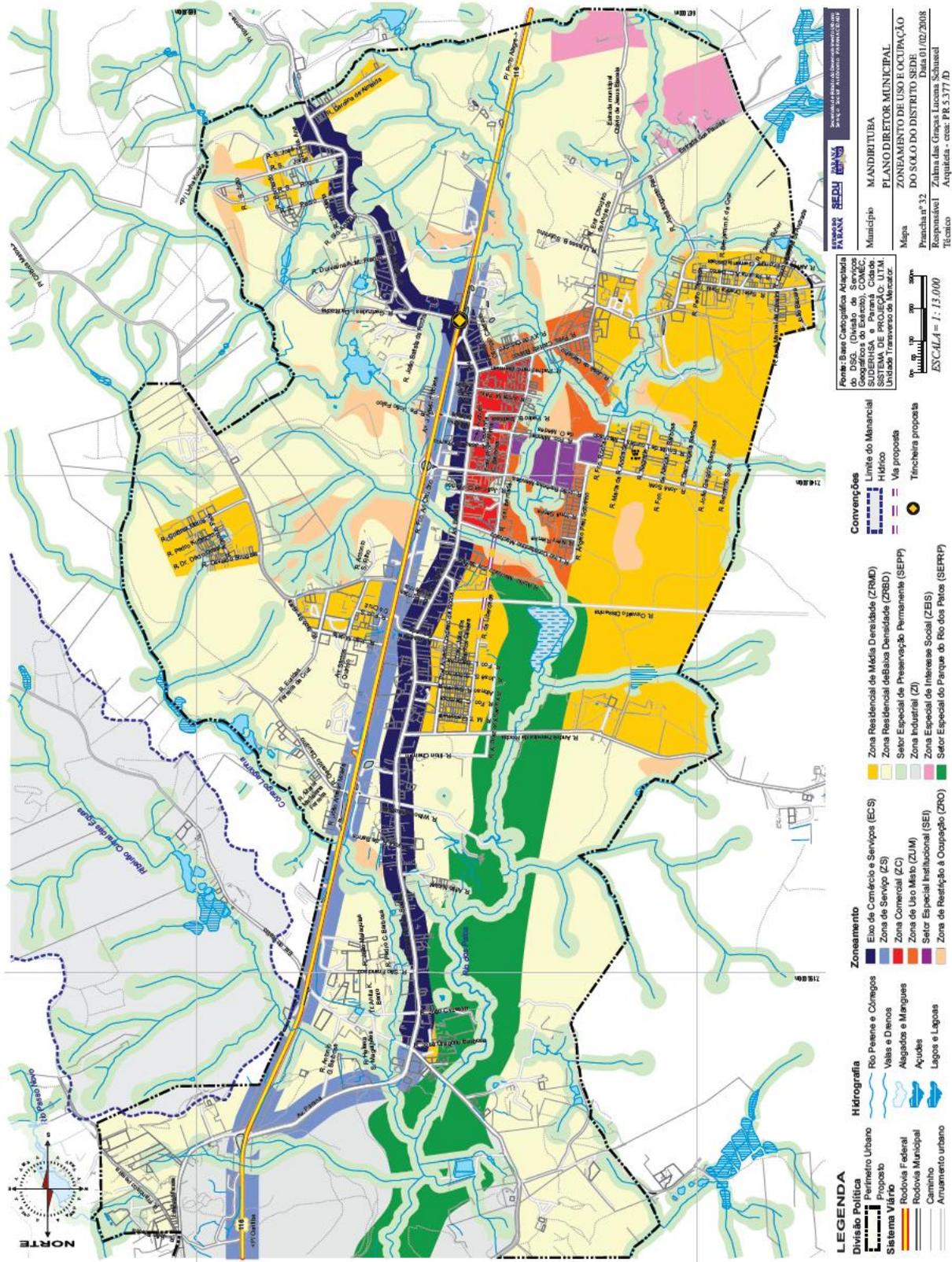
Anexo A - Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo – Mandirituba 1/3	73
Anexo B - Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo – Mandirituba 2/3	74
Anexo C - Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo – Mandirituba 3/3	75
Anexo D - Implantação URE Mauá.....	76
Anexo E - Cortes URE Mauá.....	77

Anexo A – Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo – Mandirituba 1/3.

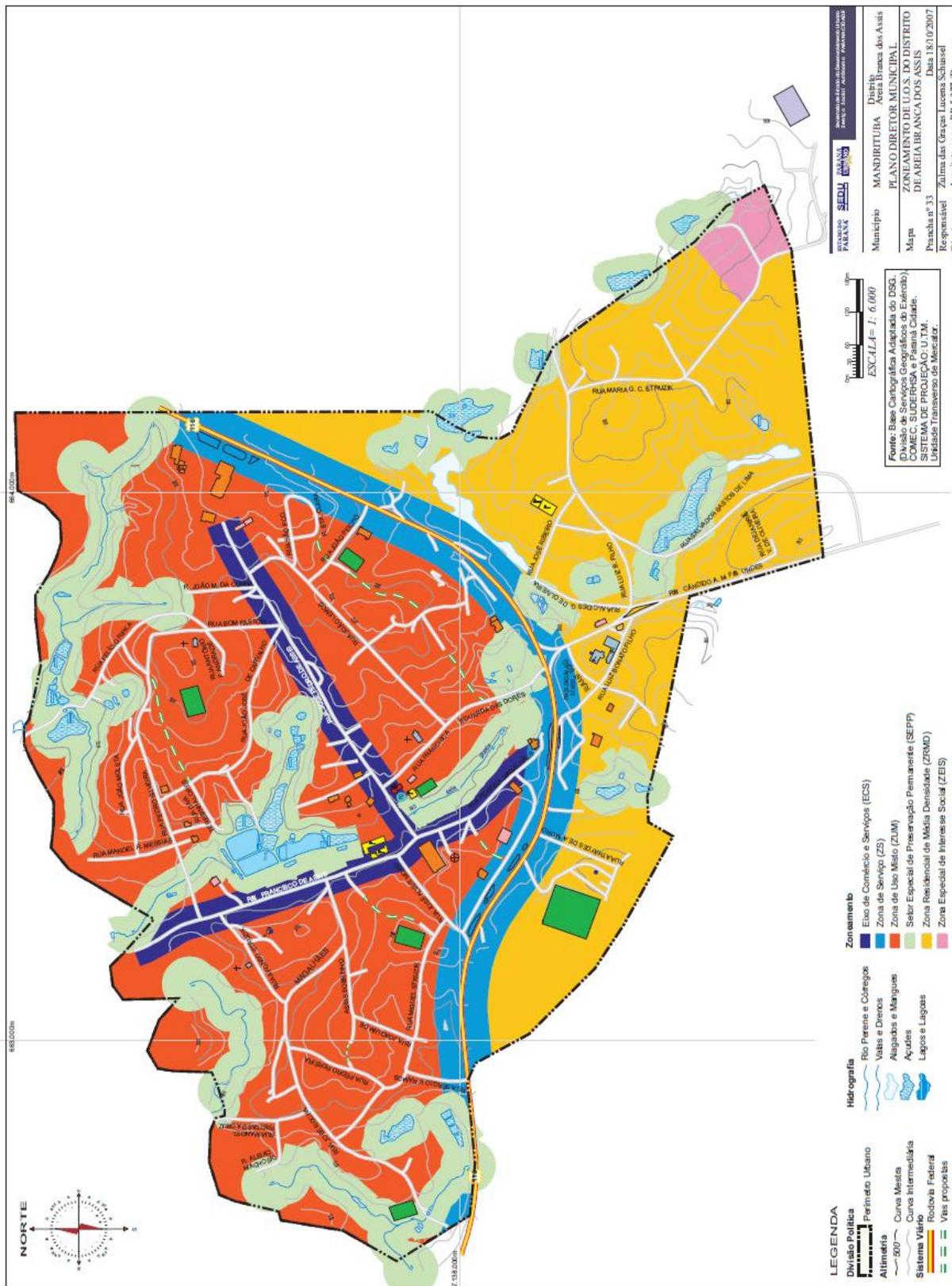


Fonte: Secretaria de Obras de Mandirituba.

Anexo B – Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo – Mandirituba 2/3.

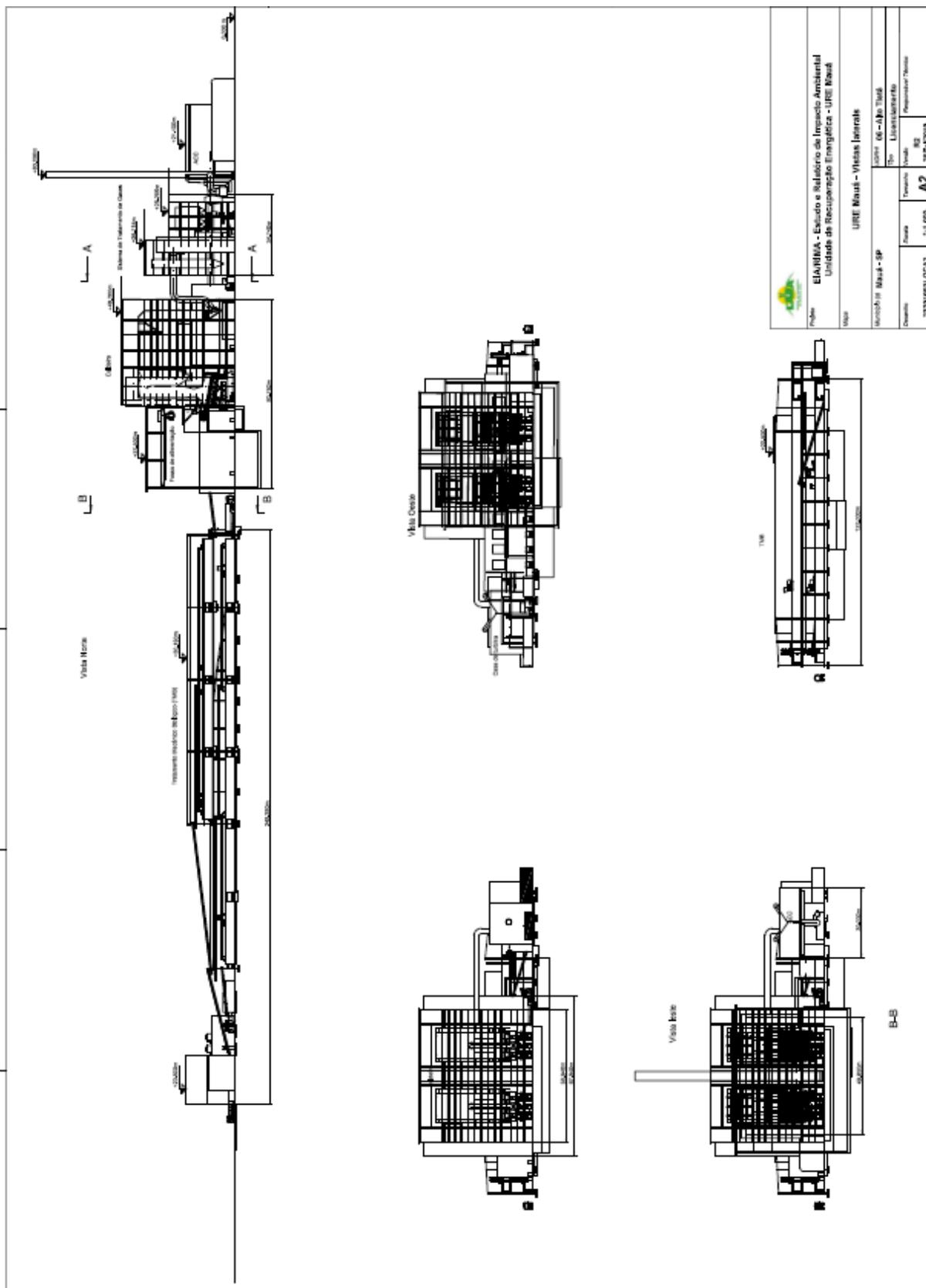


Anexo C – Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo – Mandirituba 3/3.



Fonte: Secretaria de Obras de Mandirituba.

Anexo E – Cortes URE Mauá.



Fonte: CETESB (2020).