

**Elaboração de Diagnóstico de Contaminação e Proposta de Remediação do Antigo
Lixão da Estrutural**

PRODUTO 5

**REMEDIÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA CONTAMINADA,
RECOMPOSIÇÃO DE SOLO DEGRADADO E PROPOSTAS PARA USO
FUTURO DA ÁREA: IMPLANTAÇÃO, INVESTIMENTOS E
CRONOGRAMA**

Brasília, Agosto de 2021.

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	1
1. APRESENTAÇÃO	2
2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS TESTES PILOTOS	8
3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA AS AÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO COM TRATAMENTO OU REINJEÇÃO	15
4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO NATURAL	21
5. COMPACTAÇÃO E ENCLAUSURAMENTO DA FONTE PRODUTORA DE CHORUME.....	25
5.1 Sistema de Drenagem	26
5.2 Materiais Utilizados na Impermeabilização	27
5.3 Serviços de Terraplanagem e Pavimentação	28
5.4 Levantamento de Preços por m ² de Limpeza e Compactação do Terreno	28
5.5 Custo de Impermeabilização da Área por meio de Uso de Piso de Concreto Tratado	31
5.6 Custo de Implantação do Sistema de Drenagem Superficial.....	32
6. AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA DA INSTALAÇÃO DE CÉLULAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADAS À REDE	35
6.1 Mercado de Energia Solar	36
6.2 Projeto de Usina Solar	38
6.3 Estimativas de Custo de Investimento (CAPEX)	39
7. AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO DE FÁBRICA DE RECICLAGEM.....	45
7.1 Introdução.....	45
7.2 Tipos de Reciclagem	46
7.3 Mercado de Reciclagem de Plástico.....	47
7.4 Segmento de Mercado	47
7.5 Análise da Concorrência	48
7.6 Mercado Consumidor	50
7.7 Projeto de Centro de Reciclagem	52
8. INVESTIMENTOS EM SEGURANÇA	58
9. CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO.....	60
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	62
10.1 Considerações Finais.....	62
10.2 Conclusões	64
10.3 Recomendações.....	66
10.4 Financiamento das Ações de Mitigação	68
10.5 Lições Aprendidas.....	68
11. EQUIPE TÉCNICA.....	71
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Coleta de chorume em poço de monitoramento situado na porção central da pilha de aterro. Notar a cor escura do efluente com condutividade elétrica de 14.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (maio de 2020).	11
Figura 2 - Coleta de chorume em poço de monitoramento no interior da URE com auxílio de amostrador tipo “bailer”.	11
Figura 3 - Primeira cobertura do plantio com fertilizante químico solúvel do tipo NPK no Experimento de Fitorremediação 1 (maio de 2020).	12
Figura 4 - Controle de formigas em plantio de girassol associado ao Experimento de Fitorremediação 1 (abril de 2020).	12
Figura 5 - Preparação do solo para a realização do experimento de estabilização de metais no solo com aragem e gradeamento (março de 2020).	13
Figura 6 - Calagem do uso com adição de pó de dolomito para elevação do pH dos horizontes superficiais do perfil (maio de 2021).	13
Figura 7 - Margaridão coletado para análises químicas de metais na área do Lixão da Estrutural no âmbito do Experimento de Fitorremediação 2 (maio de 2020).	13
Figura 8 - Teste hidráulico para determinação das condições de rebaixamento no Poço de Monitoramento LX-12, com bombeamento e medição simultânea do rebaixamento e da vazão de efluentes.	14
Figura 9 - Teste de depuração de efluente da pluma de contaminação a partir do bombeamento do poço LX-12 em piscina de vinil de 1000 litros de capacidade com contato direto com zeólita.	14
Figura 10 - Distribuição dos custos para recomposição da vegetação nativa da “área embargada”.	24
Figura 11 - Área proposta para enclausuramento da fonte, no Lixão da Estrutural. Fonte: Google Earth Pro/ ArcGis. Imagem de 29 de maio de 2020.	25
Figura 12 - Ilustração de pá carregadeira sobre pneus em atividade.	29
Figura 13 - Exemplo de motoniveladora de 99 kW, equipada com fresa.	29
Figura 14 - Compactador monocilíndrico vibrante autopropulsado.	30
Figura 15 - Custo por metro quadrado por tipo de serviço de limpeza e compactação do terreno.	31
Figura 16 - Piso contínuo de concreto tratado.	32
Figura 17 - Coletor enterrado e caneleira meia cana	34
Figura 18 - Boca de lobo pré-fabricada de concreto	34
Figura 19 - Ilustração de caixa de passagem enterrada e ramal de ligação.	34
Figura 20 - Capacidade instalada - micro e minigeração distribuídas solar por UF (MW). Fonte: BEN – EPE, 2020, Relatório Síntese, ano base 2019.	36
Figura 21 - Incidência solar média diária (em kWh/m ²) no Brasil. FONTE: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 2016.	37
Figura 22 - Razão entre o custo da energia fotovoltaica e o valor cobrado pelas distribuidoras locais com tributos. Extraído de Dantas & Pompermayer (2018).	38
Figura 23 - Exemplo de fixação de módulos fotovoltaicos.	39
Figura 24 - Arranjo fotovoltaico e estrutura de fixação projetada. Fonte: Silva (2015).	39
Figura 25 - Histórico e projeção de tarifa em R\$/MWh (2010-2036).	41
Figura 26 - Principais resinas consumidas no Brasil (%) e exemplos de aplicações. Fonte: Abiplast (2018).	48
Figura 27 - Localização das empresas e empregos no setor de reciclagem de material plástico, por Estado. Empresas (2018), Empregos (2019). Fonte: Extraído de Abiplast (2019).	49
Figura 28 - Produção brasileira de resina plástica pós-consumo reciclada (em milhares de toneladas). Fonte: Abiplast (2019).	49
Figura 29 - Fluxo de Reciclagem de Materiais Plásticos. Fonte (Abiplast, 2019).	50

Figura 30 - Variação do preço das diferentes resinas plásticas consideradas no estudo.	51
Figura 31 - Ilustração de moinho para reciclagem de plásticos da fabricante Plastimax Máquinas.	52
Figura 32 - Vista de um tanque de decantação da fabricante Plastimax Máquinas.....	52
Figura 33 - Exemplo de secadora utilizada em reciclagem de materiais plásticos da fabricante Plastimax Máquinas.	53
Figura 34 - Vista geral de um aglutinador de plástico reciclado, da Plastimax Máquinas.....	53
Figura 35 - Exemplo de extrusora utilizada na reciclagem de material plástico (Plastimax Máquinas)...	54
Figura 36 - Exemplo de ponte rolante utilizada para inúmeras aplicações industriais (marca Logismarket).	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese sobre os testes pilotos aplicados na área do antigo Lixão da Estrutural.	9
Tabela 2 - CAPEX para o Sistema de contenção da pluma de contaminação por bombeamento e reinjeção.	18
Tabela 3 - OPEX para operação do sistema de bombeamento e reinjeção durante 6 anos.	18
Tabela 4 - CAPEX Sistema de bombeamento, tratamento e lançamento Final.	20
Tabela 5 - OPEX sistema de bombeamento, tratamento e lançamento final.....	21
Tabela 6 - Custos para implantação, manutenção e monitoramento.	23
Tabela 7 - Supressão vegetal, limpeza do terreno e conformação topográfica com aplicação de meios mecânicos.	28
Tabela 8 - Estimativa de custos para escarificação do terreno previamente à compactação para impermeabilização.....	29
Tabela 9 - Custos relativos à fase da obra de compactação da superfície.	30
Tabela 10 - Custo de preparação e compactação da área para 55 hectares.	31
Tabela 11 - Custo para aplicação de superfícies contínua em concreto	32
Tabela 12 - Custos de instalação de sistema de drenagem pluvial horizontal.....	35
Tabela 13 - Custo total do investimento em equipamentos.....	40
Tabela 14 - Depreciação contábil dos bens envolvidos.....	42
Tabela 15 - Índices de retorno de investimento.....	42
Tabela 16 - Fluxo de caixa descontado.	43
Tabela 17 - Cotação do plástico reciclado (Diferentes fontes de dados).....	51
Tabela 18 - Fluxo de investimento de capital (Capex) para implantação de uma fábrica de reciclagem de pequeno porte.	55
Tabela 19 - Projeção dos custos de operação (OPEX) da fábrica de reciclagem de plástico por um ano.	56
Tabela 20 - Índices de retorno de investimento.....	56
Tabela 21 - Fluxo de caixa descontado para a instalação de uma fábrica de reciclagem de plástico.....	57
Tabela 22 - Cronograma preliminar para implantação das ações de mitigação e instalação de usina fotovoltaica e fábrica de reciclagem.....	61

SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente documento técnico é o último produto do contrato de prestação de serviço estabelecido para estudar os passivos ambientais do antigo Lixão da estrutural, que foi o único destino dos resíduos sólidos urbanos do Distrito Federal por quase seis décadas.

A seguir são enumeradas as principais ações preconizadas para sanar os passivos ambientais da operação do lixão, de forma a subsidiar o Governo do Distrito Federal no enfrentamento desta questão: i) estabilização da pluma de contaminação por baterias de poços de rebaixamento e reinjeção do efluente no maciço de resíduos, para impedir a migração da pluma e proteger os recursos hídricos superficiais e subterrâneos; ii) impermeabilização da superfície na zona principal de geração do chorume (atualmente na porção norte da antiga área do lixão), por compactação e instalação de sistema de drenagem pluvial. Esta ação visa à minimização da produção de chorume com consequente proteção dos aquíferos freáticos; iii) recomposição do relevo e da vegetação nativa na faixa situada entre o limite leste da área de aterramentos de resíduos e a fronteira do Parque Nacional do Brasília.

Os investimentos mínimos necessários para execução destas ações são da ordem de: um milhão e setecentos mil reais para a recomposição da vegetação nativa; quatro milhões e setecentos mil reais para instalação e operação do sistema de bombeamento da pluma por seis anos e quatro milhões e trezentos mil reais para a impermeabilização e drenagem de 55 hectares da porção norte do antigo lixão.

Das diferentes possibilidades de uso da área depois de desenvolvidas as ações de recuperação ou concomitantemente à implantação destas ações, se destacam: instalação de uma usina de geração elétrica do tipo fotovoltaica interligada e uma pequena fábrica de reciclagem de material plástico. O investimento para instalação de uma usina com ocupação de 100 hectares gira em torno de vinte milhões de reais (não incluídos os custos da rede de interligação) e a instalação da fábrica de reciclagem deverá alcançar dois milhões e duzentos mil reais.

Duas questões centrais devem permear qualquer intervenção na área para mitigação dos impactos ambientais: a dimensão social e a segurança.

A questão social está relacionada à necessidade de remoção da população da ocupação denominada Santa Luzia e assentamento em outro local apropriado no Distrito Federal, uma vez que a área atualmente ocupada não é passível de regularização por restrições ambientais (está situada na área limítrofe do Parque Nacional), impedimentos legais (estar situada sobre áreas que tiveram aterramento de resíduos) e limitações geotécnicas (pelas características impróprias do subsolo local).

O problema da segurança é vinculado ao fato de que todas as iniciativas propostas requerem a instalação de equipamentos de elevados custos incompatíveis com o elevado índice de furtos, roubos e vandalismos observado naquela região. Desta forma, as medidas de mitigação ou os usos futuros da área devem ser, necessariamente, acompanhadas ou precedidas de investimentos em segurança.

Para se verificar o alcance total dos estudos realizados recomenda-se a leitura dos produtos anteriores que trazem o diagnóstico ambiental da região; extensão da contaminação; desenvolvimento e resultados de projetos pilotos de fitorremediação e estabilização de metais nos solos e ações para mitigação dos impactos.

1. APRESENTAÇÃO

Este documento é referente ao Produto 5, previsto no Aditivo Número 02 do contrato 101/2019 firmado entre a Centro de Gestão e estudos Estratégicos - CGEE, com a Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos - FINATEC. Os resultados se inserem nas ações do Projeto CITInova “*Promovendo cidades sustentáveis no Brasil por meio do planejamento urbano integrado e do investimento em tecnologias inovadoras*”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE e, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - Pnuma, com recursos do *Global Environment Facility* - GEF.

Este relatório traz resultados e avaliações que em seu conjunto pretendem responder às seguintes demandas: i) apresentar as propostas para remediação da água subterrânea, com indicação das ações necessárias para contenção da pluma de contaminação; ii) sintetizar o relatório final dos pilotos com proposta de remediação para a área do lixão, de forma a enfrentar os principais passivos indicados pelo diagnóstico; iii) apresentar recomendações para subsidiar a tomada de decisão pelo poder público (Governo do Distrito Federal e Ministério Público Federal) para enfrentamento dos passivos ambientais no Lixão da Estrutural; e iv) mostrar análise da viabilidade ambiental, econômica e financeira para cada uma das tecnologias de remediação propostas, além de indicação de uso futuro para a área (com avaliação de possibilidades).

Para o entendimento global do presente relatório técnico recomenda-se a leitura dos Produtos 3 e 4 vinculados ao presente contrato. De forma a facilitar o acompanhamento deste Produto são apresentados os principais resultados dos produtos prévios:

Produto 1 - Plano de Trabalho, com listagem das atividades a serem desenvolvidas, apresentação da equipe técnica e respectivas ações; indicação do membro da equipe responsável pela execução de cada atividade e cronograma de execução, além da metodologia aplicada à cada atividade listada;

Produto 2 - Estado da Arte, incluindo trabalhos anteriores realizados na área desde 1996 até 2019, síntese sobre o meio físico local, medidas para remediação e mitigação dos impactos (fitorremediação, estabilização da pluma de contaminação, tratamento de chorume e gestão de gases do efeito estufa) e desenho dos experimentos e localização dos pontos amostrais;

Produto 3 - Diagnóstico Ambiental, composto por estudos locais a partir de dados primários sobre a contaminação das águas subterrâneas e superficiais, com estudo geofísico e instalação de poços de monitoramento; contaminação dos solos a diferentes profundidades; estimativa dos volumes de resíduos acumulados (com análise *ex-situ*); estudo hidrogeológico detalhado

contendo ensaios de infiltração *in situ*, *slug test*, mapa potenciométrico, modelo conceitual do fluxo e mapa de distribuição da pluma de contaminação. Este produto alcançou os seguintes resultados mais importantes: demonstração de que apenas o Córrego Cabeceira do Valo está contaminado pela descarga da pluma de contaminação de chorume, demonstração de que os solos não estão contaminados por metais pesados, determinação de que a porção mais crítica da pluma está concentrada na zona de produção do chorume primário (na porção norte do antigo lixão) e caracterização geotécnica das áreas adjacentes ao antigo lixão. Em função do grande volume de dados este produto foi dividido em dois volumes: Volume 1 de textos e Volume 2 de anexos e apêndices;

Produto 4 - Modelo Conceitual da Contaminação, o qual foi composto pelos itens: identificação das áreas contaminadas; modelo básico conceitual da contaminação e degradação ambiental; sistemas pilotos de remediação e mitigação da contaminação e degradação ambiental (fitorremediação de solos contaminados por metais, estabilização de metais no solo, recomposição da vegetação natural em áreas expostas e degradadas, além da estabilização da pluma de contaminação) e análise de viabilidade ambiental, técnica e econômica.

Os resultados deste Produto 5, integrados aos obtidos nos produtos prévios devem subsidiar respostas a alguns questionamentos feitos pelo Ministério Público do Distrito Federal e Territórios - MPDFT com relação ao Lixão da Estrutural. O primeiro aspecto que deve ser considerado é a responsabilização pelos efeitos negativos causados pela operação do local de aterro de resíduos sólidos desde a década de 1960. Neste caso, é importante salientar que a existência e operação do Lixão da Estrutural até o ano de 2018, foi uma ação necessária e importante para sanear a produção de resíduos domésticos de todo o Distrito Federal por quase 60 anos. Nos anos iniciais de operação do lixão, sequer existiam leis e controles ambientais para nortear as interferências dos sítios de acumulação de resíduos. Contudo, desde 1986 com a publicação da Resolução CONAMA 001, em seu Artigo 2º - *Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental - EIA e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como: ... X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos*; e a partir de 1988 com a promulgação da Constituição Federal vigente até os dias atuais, o tipo de atividade de acumulação de resíduos requer o cumprimento de uma série de regras legais.

Ainda de acordo com o regramento vigente a responsabilização do agente gerador dos impactos negativos ao meio ambiente deve recair sobre o responsável pelas ações que resultam nos impactos. Neste caso, mesmo considerando que o Lixão da Estrutural tenha gerado resultados positivos à sociedade, a mitigação dos impactos negativos deve ser de

responsabilidade do Serviço de Limpeza Urbana - SLU, autarquia responsável por toda a operação da estrutura de coleta e destinação final dos resíduos. Esta responsabilidade é prevista pelo princípio legal do *Poluidor-Pagador*. Neste caso, quando o responsável pela operação do empreendimento falhar na adoção das medidas de mitigação ou simplesmente não adotá-las de forma efetiva, resultando na degradação ambiental, este deverá ser responsável pelas medidas de controle, recuperação, restauração ou mitigação dos impactos negativos comprovados.

O segundo aspecto que deve ser considerado é que o responsável pela adoção das medidas deverá focar na estabilização da pluma de contaminação de chorume e na recomposição de parte da vegetação adjacente à área histórica de operação do Lixão da Estrutural e atual Unidade de Recebimento de Entulhos. Outras questões como contaminação dos solos e geração de gases de efeito estufa e poluição atmosférica devem ser consideradas, porém de forma secundária. A contaminação dos recursos hídricos superficiais deverá ser controlada a partir das medidas adotadas para a estabilização da pluma de contaminação das águas subterrâneas freáticas.

O uso da área como destinação de Resíduos da Construção Civil - RCC e de resíduos de podas de árvores de áreas urbanas e de varrição de ruas deve ser repensado, pois a área já se encontra próximo ao seu limite de capacidade de suporte para esta prática.

Idealmente o Distrito Federal deve contar com um número maior de locais devidamente licenciados para a destinação de RCC e de outros resíduos considerados inertes. Por sua característica de distribuição geopolítica e urbana, composta por uma região central e cidades satélites a adoção de uma área centralizada para recebimento de resíduos se materializa como opção desvantajosa, pois parte dos resíduos requer um grande trajeto de transporte. Por exemplo, os resíduos gerados na Região de Administrativa de Planaltina (na parte central da cidade) apresentam um custo de viagem de cerca de 130 km (65 km de ida e 65 km de volta). Este custo de transporte e consequente custo ambiental pela queima de combustível fóssil poderiam ser significativamente reduzidos, caso um local adequado fosse disponibilizado em localidade mais próxima àquela área urbana. O mesmo tipo de análise deve ser considerado para outras regiões administrativas.

Neste sentido, o Governo do Distrito Federal deve desenvolver ações e esforços no sentido de viabilizar novas áreas para aterros de materiais inertes, além de ampliar o apoio e incentivos para viabilizar a implantação destes novos sítios. Estes esforços devem ocorrer em curto prazo, pois a área ainda disponível na URE da Estrutural é restrita.

O mesmo raciocínio deve ser feito para o Aterro Sanitário de Samambaia (situado na porção oeste do DF), que por ter estrutura centralizada para todo o Distrito Federal resulta em elevados custos de transporte e transbordo dos resíduos produzidos nas cidades localizadas na

porção leste do seu território. Neste caso, a implantação e operação de um aterro sanitário em local ambientalmente adequado pode ser uma iniciativa para minimizar custos com o saneamento ambiental vinculado aos resíduos sólidos.

Ao final da avaliação do diagnóstico ambiental da área do Lixão da Estrutural, sua extensão espacial e os passivos mais críticos (Produto 3 deste Contrato), foi feita a avaliação de sistemas pilotos de remediação sobre o modelo básico conceitual da contaminação (Produto 4 deste Contrato). O próximo passo é a análise econômica das ações de mitigação propostas e análise de investimentos necessários para a destinação final da poligonal da área do antigo depósito de resíduos. Esta avaliação econômica de recuperação dos principais passivos ambientais é um dos objetivos do presente relatório técnico que compõe o Produto 5, último documento técnico no âmbito deste Contrato.

Como a contaminação das águas subterrâneas se revelou a principal questão ambiental a que a região está exposta, a avaliação de custos para sua recuperação envolverá dois cenários: i) bombeamento para contenção da pluma de contaminação, seguido de tratamento e lançamento final e ii) e bombeamento para contenção da pluma de contaminação, seguido de recirculação do efluente no próprio maciço de resíduos.

A fitorremediação da área embargada sob a forma de recomposição vegetal com uso de espécies nativas é uma ação de fundamental importância para que aquela faixa de proteção imediata ao Parque Nacional de Brasília alcance plenamente seus objetivos de contenção da distribuição dos impactos ambientais para o interior da unidade de conservação federal. Dentre as funções da área embargada destacam-se: minimização da nucleação e espalhamento de espécies exóticas (com destaque para gramíneas); minimização dos incêndios florestais que comumente se iniciam na poligonal do lixão; proteção contra a difusão de particulados atmosféricos; contenção da pluma de contaminação de chorume que migra para leste nos aquíferos freáticos, dentre outras.

A impermeabilização e enclausuramento das principais áreas de produção de chorume é outra ação de fundamental importância para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos e consequentemente das águas superficiais. Esta ação deve minimizar a produção ativa de chorume e sua migração, de forma que as ações de contenção por bombeamento deverão alcançar resultados finais em um intervalo de tempo mais reduzido.

Após as avaliações econômicas destas três ações de remediação e mitigação dos impactos será realizada uma análise financeira visando subsidiar uma proposta para a destinação de uso futuro da área. Neste caso, foi considerada a instalação de uma usina de geração de energia fotovoltaica em poligonal de cerca de 100 hectares. A escolha por este tipo de uso potencial da área foi baseada em uma avaliação de hipóteses e exclusão de alternativas, além de ser uma destinação que permite gerar recursos para serem, em parte, revertidos para a própria

recuperação e manutenção da área.

Neste sentido, foram consideradas as seguintes possibilidades de destinação da área: i) ocupação urbana para absorver a população que ocupa áreas irregulares na região (com destaque para a comunidade “Santa Luzia”); ii) geração de energia pela queima dos gases produzidos pela decomposição do maciço de resíduos; iii) geração de energia pela queima do próprio maciço de resíduos; iv) manutenção da área como unidade de conservação ambiental; v) implantação de unidades de reciclagem de resíduos secos; vi) criação de um parque de uso múltiplo; e vii) manutenção da área como URE.

Os principais argumentos para análise das hipóteses supracitadas de uso futuro da área são:

i) Elevado risco geotécnico vinculado à movimentação de maciços de resíduos e elevado custo de construção de fundações causado pela mudança de natureza dos substratos (saprolitos e rochas) mesmo nas áreas adjacentes ao maciço de resíduos onde não foram acumulados ou foram acumulados restritos volumes de resíduos. Assim, mesmo se considerando o potencial valor fundiário da região sua ocupação por empreendimentos imobiliários exigiria a remoção dos resíduos, o que se mostra uma tarefa sem viabilidade econômica (custo e tempo muito grandes para a retirada total dos resíduos) ou ambiental (outra área seria afetada para receber parte do material retirado);

ii) A combustão dos gases para produção de energia na forma de uma usina termelétrica é apenas viável em aterros com amplo controle da produção dos gases. No caso do Lixão da Estrutural, a produção de gases é irregular, sem controle das vazões, sem possibilidade de canalização (pois os drenos foram construídos apenas com o empilhamento de anéis de manilhas e seu preenchimento com blocos de rocha). Sem o controle das condições de produção dos gases (no tempo e no espaço) e sua canalização adequada, não há qualquer viabilidade técnica ou econômica para seu uso como fonte de energia para a produção de eletricidade;

iii) A possibilidade de combustão dos resíduos como fonte de calor para alimentação de uma usina termelétrica também se mostra inviável. Esta afirmação é baseada na avaliação da caracterização dos resíduos em análises *ex situ*, que demonstra que no maciço de resíduos predominam amplamente blocos de concreto de restos de obras e solo (com misturas de matéria orgânica em decomposição). Esta característica confere baixo poder de calor aos resíduos minimizando seu aproveitamento como fonte de combustível em uma usina termelétrica. Outro aspecto que minimiza a possibilidade de aproveitamento dos resíduos para este fim é a falta de “resíduos novos” necessários para *blendagem* com os resíduos enterrados para se viabilizar sua queima e ampliar seu poder de calor;

iv) A manutenção da área como uma unidade conservação ambiental é de difícil alcance, pois requer um manejo de elevado custo com cercamento e isolamento, confecção de planos de

manejo, controle de vegetação exótica, segurança contra invasões, dentre vários outros. Estas dificuldades já são enfrentadas pelo ICMBio na própria gestão do Parque Nacional de Brasília nas imediações do lixão e da ocupação de Santa Luzia. Neste sentido, o órgão federal praticamente não tem controle dos invasores da área do Parna, da acumulação de resíduos em seu no interior, dos cortes frequentes das cercas limítrofes e várias outras ações de vândalos;

v) A implantação de fábrica de reciclagem de resíduos plásticos por cooperativas de catadores, em primeiro momento, parece uma iniciativa interessante que uniria interesses sociais e ambientais. Contudo, trata-se de uma ação de difícil controle que traz amplo impacto às áreas vizinhas, inclusive impactos potenciais ao Parque Nacional de Brasília. Atualmente, parte da população da Cidade Estrutural e comunidade Santa Luzia se ocupa com a coleta e acumulação de resíduos recicláveis, o que pode ser visto comumente no interior da área urbana e em inúmeras áreas periurbanas. Esta acumulação representa caminhos para a contaminação ambiental, incluindo: poluição visual, contaminação dos solos, potencial contaminação das águas (por percolação ou por escoamento superficial) e geração de vetores de distribuição de doenças (principalmente insetos e ratos).

Por outro lado, se esta iniciativa fosse desenvolvida por empresas especializadas, poderia se ter maior controle ambiental dos impactos potenciais. Como exemplo, cita-se a empresa “Capital Recicláveis”, situada em área adjacente à Cidade Estrutural, que tem área murada e amplo controle ambiental, inclusive operação de uma Estação de Tratamento de Efluentes própria e controle do intenso fluxo de veículos.

vi) A criação de um parque urbano de uso múltiplo (como realizada em inúmeros depósitos de resíduos sólidos desativados, que foram incorporados pelo crescimento urbano em cidades de diferentes países) não parece uma ação viável pela própria localização geográfica do antigo lixão. Por estar situado de forma adjacente à área urbana consolidada, área de ocupação irregular e do Parque Nacional de Brasília sua destinação como uma área para parque de uso múltiplo fica prejudicada. Apenas como exemplo, cita-se o parque de uso múltiplo implantado com a regularização da Cidade Estrutural no final dos anos 2000, que incluiu parque aquático, campo com grama sintética, ginásio, pistas para caminhadas e outras infraestruturas para lazer. Toda a estrutura construída apresenta-se obsoleta há anos, com perda das pistas de caminhadas por tráfego de veículos, degradação do campo de grama sintética. Além da degradação da infraestrutura das áreas de lazer, também houve a ocupação de parte dos espaços que é utilizada como base de operação da Polícia Militar na região, além da invasão para fins residenciais em parte da área.

vii) A manutenção da área como unidade de recebimento de entulhos é uma alternativa que deverá ser repensada com a própria diminuição dos espaços disponíveis. Por outro lado, a atual URE não funciona como uma operação de mínimo ou baixo risco ambiental, uma vez que

os resíduos acumulados além de restos de obras civis, materiais de bota-fora, e poda de árvores, também incluem restos orgânicos ou outros resíduos cuja decomposição mantém geração de percolados que alimentam as plumas de contaminação.

Desta forma a partir da argumentação anteriormente apresentada foram mantidas duas alternativas não mutuamente exclusivas para destinação final da área: geração fotovoltaica e fábrica de reciclagem. Estas alternativas são interessantes por agregar diferentes dimensões, incluindo: geração de recursos financeiros que podem, em parte, ser revertidos à remediação dos passivos ambientais; necessitem isolamento da área com segurança ativa permanente; ampliar a proteção do Parque Nacional de Brasília (em uma área tampão com características particularmente sensíveis), além da produção de energia elétrica que pode ser integrada ao desenvolvimento do Distrito Federal e da fabricação de insumos para a indústria local.

As análises econômicas a seguir apresentadas se referem aos custos de implantação dos sistemas de mitigação ambiental e de sua operação e são baseadas em preços determinados por órgãos que contratam os mesmos tipos de produtos e serviços. Em alguns casos a precificação é feita a partir de dados obtidos de referências bibliográficas. Contudo, os valores exibidos devem ser considerados mínimos, uma vez que por se tratar de processos complexos algumas variáveis são pouco conhecidas ou mesmo não são passíveis de serem observadas por se tratarem de externalidades de difícil avaliação econômica.

A implantação das ações e sua operação são avaliadas por períodos relativamente curtos, de forma geral até seis anos após o início das intervenções. O período de seis anos de implantação de ações de remediação é considerado curto, pois a remediação de áreas degradadas pode perdurar por mais de duas décadas, considerando as dimensões da área afetada, a toxidez e persistência ambiental dos poluentes e a resiliência do meio físico local (tipo de solo, clima, relevo, contexto geológico, dentre outros).

Assim, o monitoramento ambiental deve ser continuado para se verificar o momento de se encerrar o desenvolvimento das atividades de remediação e proteção ambiental na região. O monitoramento da evolução da qualidade das águas subterrânea deve ser continuado, com uso da rede de poços instalados neste estudo, além de outros que possam ser necessários; a avaliação da qualidade do ar deve ser continuada com a instalação do sistema móvel de coleta de particulados atmosféricos totais (que é periodicamente feito por equipes contratadas pela empresa responsável pela operação da Unidade de Recebimento de Entulhos da Estrutural - URE) e o monitoramento da produção de chorume deve ser feito com a medição mensal dos níveis da água subterrânea nos poços situados nas zonas de produção (porção norte da URE).

2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS TESTES PILOTOS

Como já apresentado no Produto 4 deste Contrato foi testada uma série de pilotos com o objetivo geral de se avaliar métodos não convencionais ou baseados na natureza, que pudessem ser aplicados à remediação das áreas afetadas pela contaminação oriunda do Lixão da Estrutural.

No conjunto foram avaliadas técnicas pilotos para a remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas, incluindo: fitorremediação para solos (dois experimentos), estabilização de metais nos solos, tratamento de efluente com uso de filtro de zeólita, e estabilização da pluma de contaminação das águas freáticas (Tabela 1).

Denominação do Piloto	Objetivo	Início dos testes / Conclusão dos testes	Resultados obtidos
Fitorremediação 1	Retenção de metais por processo de bioacumulação	Março de 2020 / Março de 2021	Não favoráveis devido ao baixo teor de metais contidos nos solos
Fitorremediação 2	Retenção de metais por processo de bioacumulação	Abril de 2020 / Novembro de 2020	Não favoráveis devido ao baixo teor de metais contidos nos solos
Estabilização de metais nos solos	Retenção de metais por processo físico-químico mineralógico	Fevereiro de 2020 / Maio de 2021	Não favoráveis devido ao baixo teor de metais contidos nos solos. Os resultados mostram que a técnica pode ser empregada em locais com elevados teores de metais
Tratamento de Efluentes - Filtro de zeólita	Retenção e minimização dos teores de amônia nas águas subterrâneas	Setembro de 2020 / Fevereiro de 2021	Não favoráveis, pois há retenção significativa de amônia, contudo elevação dos teores de sódio, cálcio e magnésio
Estabilização da pluma de contaminação dos aquíferos rasos	Retenção da pluma de contaminação e proteção dos recursos hídricos	Janeiro de 2021 / Maio de 2021	Favoráveis, devido à estabilização dos níveis d'água com rebaixamento de até 4 metros

Tabela 1 - Síntese sobre os testes pilotos aplicados na área do antigo Lixão da Estrutural.

Por diferentes razões, de forma geral, os testes pilotos não alcançaram os objetivos desejados. Testes para remediação dos solos não tiveram sucesso pelo simples fato das coberturas pedogenéticas não estarem efetivamente contaminadas como inicialmente suposto. A pesquisa deveria ter sido realizada iniciando pelas análises dos solos e mapeamento das áreas com maior concentração de metais. Entretanto, a necessidade de se iniciar o plantio e os procedimentos experimentais no início do desenvolvimento do contrato exigiu a inversão do cronograma (pois, o plantio requer um tempo mínimo de desenvolvimento e a calagem do solo também depende de tempo e precipitação mínima para se alcançar a elevação do pH dos solos).

Apenas depois de iniciado o plantio das espécies nativas e exóticas, de se coletar massa foliar de espécies existentes (nativas e exóticas) e de se realizar a limpeza e a calagem dos solos (no experimento de estabilização de metais) foi constatado que os solos não apresentam contaminação significativa por metais.

De qualquer modo, os resultados sistematizados no Produto 4 mostram que a remediação

de solos contaminados por metais a partir da elevação do pH é uma técnica viável, efetiva e eficaz. Os resultados mostraram redução dos teores de ferro, alumínio, cobre e zinco. Da mesma forma os resultados dos testes de fitorremediação mostraram que algumas das espécies testadas são bioacumuladoras e podem ser aplicadas para solos efetivamente contaminados. O conjunto dos resultados das análises de massa foliar também auxiliou na constatação de que os solos da região estudada não estão contaminados por metais pesados, uma vez que as plantas coletadas no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília apresentam teores similares ou até mais elevados com relação aos metais que foram avaliados.

Para se ampliar o conhecimento de ambas as técnicas visando à recuperação de solos, sugere-se o desenvolvimento de testes com controle de contaminação por metais em pequenas parcelas de solos e a verificação das respostas da aplicação das técnicas de fitorremediação e de estabilização por elevação do pH.

Para o caso dos testes de tratamento de efluentes da pluma contaminada com técnicas não convencionais os resultados não foram satisfatórios. O uso do filtro de zeólita mostrou elevada capacidade de redução da amônia, entretanto, causou o aumento do cloreto, sódio, cálcio e magnésio. A elevação destes íons é decorrente da liberação a partir da própria zeólita que é um mineral hidratado com relativa solubilidade que tem em sua estrutura cristalina, em sítios específicos, todos estes elementos. O fato de o material ser moído em grãos de 3 a 6 mm aumenta sua área de contato e amplia a liberação de íons.

O uso de filtros de zeólitas é mais aplicado a efluentes muito ricos em amônia e pobres em outras substâncias, como resíduos de suinocultura. Desta forma, o aumento dos teores de cloreto, sódio, cálcio e magnésio não ultrapassa os valores preconizados pela legislação.

A tentativa de se estabelecer uma *wetland* piloto com uso de algas comuns em piscina de vinil de 1000 litros de capacidade, também não alcançou o resultado esperado. Em dois dias as algas iniciaram o processo de murcha e não conseguiram estabilizar no ambiente com o efluente oriundo do Poço LX-12 (com condutividade elétrica da ordem de 2.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). O insucesso deste experimento foi associado aos tipos de algas utilizadas, as quais foram obtidas de áreas marginais do Lago Paranoá (nas proximidades da ETE Norte). Aparentemente estas espécies são mais adequadas para se desenvolverem em águas com menor conteúdo de sais dissolvidos e com menores temperaturas.

Uma avaliação mais adequada da aplicação do método de *wetland* construída para tratamento de efluente de pluma de contaminação por chorume de lixão deve utilizar espécies mais adaptadas às condições do próprio efluente. Além disso, a circulação da água deve ser uma das variáveis de controle inclusive com regularização das vazões de entrada e saída (o que não foi possível devido às condições de contorno do experimento).

As Figuras 1 a 10 mostram ilustrações dos testes aplicados na área do Lixão da Estrutural

em diferentes etapas de sua implantação. Outras ilustrações podem ser observadas nos relatórios referentes aos produtos 3 e 4 deste contrato.



Figura 1 - Coleta de chorume em poço de monitoramento situado na porção central da pilha de aterro. Notar a cor escura do efluente com condutividade elétrica de 14.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (maio de 2020).



Figura 2 - Coleta de chorume em poço de monitoramento no interior da URE com auxílio de amostrador tipo “bailer”.



Figura 3 - Primeira cobertura do plantio com fertilizante químico solúvel do tipo NPK no Experimento de Fitorremediação 1 (maio de 2020).



Figura 4 - Controle de formigas em plantio de girassol associado ao Experimento de Fitorremediação 1 (abril de 2020).



Figura 5 - Preparação do solo para a realização do experimento de estabilização de metais no solo com aragem e gradeamento (março de 2020).



Figura 6 - Calagem do uso com adição de pó de dolomito para elevação do pH dos horizontes superficiais do perfil (maio de 2021).



Figura 7 - Margaridão coletado para análises químicas de metais na área do Lixão da Estrutural no âmbito do Experimento de Fitorremediação 2 (maio de 2020).



Figura 8 - Teste hidráulico para determinação das condições de rebaixamento no Poço de Monitoramento LX-12, com bombeamento e medição simultânea do rebaixamento e da vazão de efluentes.



Figura 9 - Teste de depuração de efluente da pluma de contaminação a partir do bombeamento do poço LX-12 em piscina de vinil de 1000 litros de capacidade com contato direto com zeólita.

Uma vez que os testes pilotos não foram adequados à realidade do Lixão da Estrutural ou não alcançaram os objetivos propostos, optou-se por avaliar outras opções de remediação com aplicação de técnicas tradicionais, além de verificar as perspectivas econômicas para sua implantação. Desta forma, são apresentadas as avaliações econômicas relativas à: i) estabilização da pluma de contaminação das águas subterrâneas (com opções de tratamento e lançamento final ou sem tratamento e com reinjeção); ii) enclausuramento da fonte produtora de chorume; e iii) recomposição da vegetação nativa em faixa limítrofe ao Parque Nacional de Brasília.

3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA AS AÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO COM TRATAMENTO OU REINJEÇÃO

Para a contenção de plumas de contaminação em aquíferos freáticos, uma das intervenções mais utilizadas no Brasil e no mundo é o bombeamento e tratamento, ou *Pump & Treat*, que consiste basicamente na extração da água subterrânea contaminada e no posterior tratamento do efluente e reinjeção ou lançamento em corpo d'água superficial receptor. Essa alternativa é baseada em um sistema provido de bombas elétricas (submersíveis ou pneumáticas), para captação de águas subterrâneas impactadas com e seu tratamento adequado para as substâncias químicas de interesse (Santos *et al.*, 2008).

O método é utilizado para a estabilização da migração e espalhamento da pluma de contaminação de efluentes com tratamento ou reinjeção dos efluentes no maciço de resíduos. Serão consideradas duas propostas, i) o bombeamento da pluma com rebaixamento do nível freático do aquífero e seu tratamento e ii) o bombeamento e reinjeção circular sem o tratamento. A reinjeção no maciço é baseada nos princípios de que a pluma é atenuada por oxidação, precipitação, eliminação de voláteis com consequente diminuição de sua toxidez ou metabolização de parte dos contaminantes encontrados sob a área do antigo lixão da estrutural e suas margens de migração.

A localização das baterias de poços foi determinada a partir do diagnóstico ambiental da região (Produto 3 deste Contrato), visando a contenção da migração da pluma nos locais com grande concentração de contaminantes. Está prevista a instalação de três baterias de poços contendo seis unidades em cada área em que se pretende manter o nível freático permanentemente rebaixado. Duas baterias de poços deverão ser posicionadas na região de migração da pluma em direção ao córrego Cabeceira do Valo e uma bateria na porção oposta, próxima ao limite com o Parque Nacional de Brasília.

Os perfis gerais dos poços estão definidos a partir dos relatórios construtivos da instalação dos poços de monitoramento (Produto 3 deste Contrato). Após a instalação da bateria dos poços e início da operação do sistema de rebaixamento, os três sistemas deverão ser monitorados para se obter as seguintes informações: valor total do rebaixamento de cada poço individualmente após 6 horas contínuas de bombeamento; avaliação do rebaixamento a partir do bombeamento simultâneo de todos os poços que compõem a bateria de rebaixamento; avaliação do tempo de recuperação dos níveis depois de interrompido o bombeamento; e determinação da vazão de bombeamento de cada bateria. Somente após a avaliação técnica individual serão precisos os parâmetros de vazões mínimas e máximas de bombeamento e reinjeção do maciço, vazão para eventual tratamento e gestão do efluente bombeado.

No entanto, verificando informações preliminares e considerando as dimensões dos poços, estima-se bombear 2,5 m³/h por poço, totalizando 15 m³/h por bateria e, com bombeamento diário de 20 horas diárias, estimando o funcionamento mensal, em média, de 30 dias por mês, será bombeado cerca de 27.000 m³ por mês nas três baterias (9.000 m³ por bateria de poços). Este valor é considerado suficiente para gerar o rebaixamento da área e reversão do fluxo de forma convergente em direção às baterias de poços.

As bombas submersíveis de aço inoxidável, com diâmetro de 2,5 a 3 polegadas, são adequadas para bombeamento de água subterrânea contaminada. A captação de água subterrânea contaminada será realizada somente pela parte inferior da bomba através do fluxo horizontal em direção ao poço, sem a necessidade de outros equipamentos controladores. A operação das bombas é realizada com suprimento de energia elétrica ligada através de cabos emborrachados (isolados) com potência variável em função da profundidade de sua instalação. A instalação de sistemas de automação e de manômetros para controle de pressão na rede adutora pode ser importante para maximizar a eficiência do conjunto.

A determinação das despesas envolvidas no bombeamento e tratamento da pluma é uma tarefa complexa durante as avaliações de custo devido à dinâmica das variáveis que acarretam alterações na operação de sistemas de remediação. De maneira geral, as despesas estão associadas aos custos iniciais de implantação, assim como aos custos correntes e futuros, oriundos da operação, manutenção e monitoramento do pós-tratamento (CETESB, 2001).

Como mencionado, o projeto de bombeamento e tratamento será subdividido em dois: um com processo de tratamento associado ao lançamento final e outro sem o processo de tratamento associado à reinjeção do efluente. Estes projetos serão divididos entre Custos de Capital ou Investimento (*Capital Expenditure* - CAPEX), que representam as despesas associadas à infraestrutura e mão de obra necessária para a instalação do sistema; e Custos de Operação (*Operational Expenditure* - OPEX), que definem as despesas associadas à operacionalização e manutenção do sistema.

Para determinação dos custos de investimento, foram utilizados fornecedores em equipamentos e materiais especializados e foi utilizado o Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI - IGBE) de 2017, deflacionado a preços de fevereiro/2021 pelo Índice de Custo Médio por m² da Construção Civil no Centro Oeste (IBGE), com índice acumulado de 19,78%.

As despesas em ferramentas e materiais estimadas em 10% do custo do investimento com equipamentos e materiais foram adicionadas na tabulação dos custos. Ademais, foi incorporado ao CAPEX o Índice de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) que incorpora os custos indiretos do projeto, como administração, incertezas, impostos, entre outros fatores que possam ser

pertinentes ao serviço ou projeto (TCU, 2014). Este índice foi estimado em 25% do total do CAPEX.

Para o OPEX, foram estimados os custos com energia, considerando o funcionamento de 20 horas por dia considerando o mês com 30 dias. O gasto energético foi estimado em cerca de 30.470.4 kWh e R\$ 17.368,13 ao mês, com tarifa média referente ao mês de março de 2021, com preços fornecidos pela Companhia Energética de Brasília - CEB. A reinjeção da água será por gravidade em poços já existentes, de modo a reduzir custos operacionais e reduzir impactos no fluxo da água subterrânea (Vasconcellos & Fonseca, 2017). Entretanto, deverá haver um custo adicional para o bombeamento dos efluentes acumulados em reservatórios auxiliares até os poços de injeção.

O sistema de remediação considerou a planta de tratamento de chorume apresentada pelo Engenheiro Químico Antônio Mallmann, utilizando métodos convencionais, incluindo a Osmose Reversa (Roehrs *et al.*, 2019). No entanto, o custo final do tratamento de R\$ 87,00/m³ inviabiliza esta aplicação dado o extenso volume a ser bombeado no local do Lixão da Estrutural. Assim, foi considerado o tratamento paralelo com uso de ozônio ou zeólita granular e outras técnicas não convencionais para o tratamento de efluentes, com um custo aproximado estimado de R\$ 20,00/m³. Este custo é inferior ao do tratamento do chorume bruto, uma vez que já houve um tratamento *in situ* durante a migração da pluma no interior do aquífero (processo conhecido como atenuação natural).

O custo com operador do sistema de bombeamento e remediação está associado à sua remuneração e tributos, além dos gastos com as análises químicas e acompanhamento especializado dos níveis de contaminação da pluma ao longo do tempo de operação, que foram incorporados no OPEX.

Ainda, de acordo com Vasconcellos (2017) as atividades de manutenção e amostragem de poços, conseqüentemente geram resíduos, devido ao contato com o efluente contaminado. Foi considerado, portanto, o custo de destinação de uma tonelada por ano, sendo essa a tara mínima cobrada para destinação dos resíduos.

O CAPEX e OPEX para o sistema de bombeamento e reinjeção ***sem tratamento***, são exibidos nas Tabelas 2 e 3.

O custo total para implantação do sistema de bombeamento e reinjeção foi de R\$ 816.428,29, totalizando cerca de R\$ 45.357,12 por poço instalado. A Tabela 3 apresenta uma estimativa de custos operacionais ao longo de seis anos de operação do projeto de contenção da pluma. Foi estimada, na operação, uma depreciação anual e manutenção em 10% e seguros em 1% sobre o investimento com equipamentos e materiais. O custo com análises químicas está associado à coleta da água subterrânea nas três baterias de poços.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR
BOMBEAMENTO DA PLUMA E REINJEÇÃO		R\$ 173.698,39
Areia Lavada (Saco 20 kg)	200 Un.	R\$ 618,00
Bomba Submersível	18 Un.	R\$ 144.000,00
Cimento (Saco 50 kg)	60 Un.	R\$ 1.422,00
Bomba de eixo horizontal	3 Un.	R\$ 8.709,99
Filtro de Entrada	3 Un.	R\$ 510,00
Hidrômetro	3 Un.	R\$ 510,00
Manômetro	3 Un.	R\$ 113,73
Filtro Leve Tubular Poço Artesiano 4 Pol	18 Un.	R\$ 2.477,70
Tubulação (adução do efluente bombeado)	400 Un.	R\$ 2.588,00
Tubulação de Bombeamento (edutor dos poços)	103,5 Un.	R\$ 619,97
Registro PVC e PPR	20 Un.	R\$ 600,00
Tubo Liso PVC 2,5 ou 3 Pol	180 Un.	R\$ 11.529,00
SUBTOTAL INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS		R\$ 173.698,39
FERRAMENTAS (10%)	10% Subtotal Equipamentos	R\$ 17.369,84
INSTALAÇÃO DE POÇOS DE BOMBEAMENTO		R\$ 212.074,40
INSTALAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS AUXILIARES	2 Un. com 200 m ³ cada (20 m x 5 m x 2 m)	R\$ 250.000,00
Mobilização de Equipe	1 Mês	R\$ 16.000,00
Perfuração, Instalação e Acabamento de Poço*		R\$ 142.200,00
Mão de Obra de Montagem do Sistema	2 Meses	R\$ 13.874,40
Instalação Elétrica	1 Projeto	R\$ 40.000,00
SUBTOTAL CAPEX		R\$ 653.142,63
DBI (25%)	25% Subtotal Capex	R\$ 163.285,66
TOTAL CAPEX		R\$ 816.428,29
* Considerando os já instalados poços de injeção.		

Tabela 2 - CAPEX para o Sistema de contenção da pluma de contaminação por bombeamento e reinjeção.

DESCRIÇÃO	CUSTO/ANO	CUSTO 6 ANOS*
Energia elétrica	R\$ 208.417,54	R\$ 1.331.316,35
Análise Técnica	R\$ 120.000,00	R\$ 766.528,41
Resíduos	R\$ 2.400,00	R\$ 15.330,57
Relatório Técnico	R\$ 180.000,00	R\$ 1.149.792,61
Depreciação, Manutenção e Seguros	R\$ 118.714,36	R\$ 712.286,19
Mão de Obra e Encargos	R\$ 141.043,50	R\$ 846.261,00
Total OPEX	R\$ 736.520,99	R\$ 4.617.188,65
* Considerando aumento de custos em média de 2,5% a.a.		

Tabela 3 - OPEX para operação do sistema de bombeamento e reinjeção durante 6 anos.

Considerando a vazão do bombeamento de $2,5\text{m}^3/\text{h}$ /poço, o custo médio operacional no primeiro ano do sistema de bombeamento e reinjeção é de R\$ 2,52/ m^3 .

Em seguida será analisado o sistema contando com o tratamento do efluente da pluma e o lançamento final no curso receptor (Córrego Cabeceira do Valo). Os custos estão sintetizados nas Tabelas 4 e 5.

O custo para implantação do sistema de bombeamento, com tratamento e lançamento foi de R\$ 1.066.041,50; totalizando cerca de R\$ 59.224,53 por poço instalado. A Tabela 4 apresenta uma estimativa de custos operacionais ao longo de seis anos de efetivação do projeto. Foi estimada, na operação, uma depreciação anual e manutenção em 10% e seguros em 1% sobre o investimento com equipamentos e materiais. O custo com análises químicas está associado à coleta da água subterrânea nas três baterias de poços. Considerando a vazão do bombeamento de $2,5\text{m}^3/\text{h}$ /poço, o custo médio operacional no primeiro ano do sistema de bombeamento, tratamento e lançamento é de R\$ 32,40/ m^3 .

O aumento do custo do investimento em instalações e mão de obra do projeto com o tratamento em relação ao projeto *sem* tratamento foi de 49%. No entanto, percebe-se uma elevação maior nos custos de operacionalização do sistema de tratamento, na ordem de 5.456%. Esse aumento substancial do custo deve-se a adoção de práticas mistas que lidam com menor volume de tratamentos, especialmente voltados para chorume bruto, etenos clorados, hidrocarbonetos, entre outros. Devido ao grande volume a ser bombeado e as características próprias do efluente do Lixão da Estrutural, o projeto de bombeamento e reinjeção sem tratamento demonstra maior rentabilidade, e consequentemente maior viabilidade econômica.

É importante salientar que a estimativa para o CAPEX incluindo o tratamento dos efluentes bombeados deve ser considerada subestimada, uma vez que trinta reais por metro cúbico para tratamento até a qualidade considerada viável para lançamento direto é considerado um valor ainda reduzido, pois a legislação exige a redução da amônia para 1,5 mg/L.

A avaliação econômica mostra claramente que o tratamento é o item de custeio mais elevado alcançando quase 10 milhões de reais por ano. Este valor se refere ao tratamento de uma vazão média de $2,5\text{m}^3/\text{h}$ multiplicado por 20 horas por dia, multiplicado por 6 poços por bateria, multiplicado por, 3 baterias de poços, o que alcança uma vazão anual de $3.240.000\text{m}^3$. Ao custo unitário de R\$ 30,00/ m^3 o valor para o tratamento anual é de R\$ 9.720.000,00 (nove milhões e setecentos e vinte mil reais). Para a operação do sistema durante apenas seis anos o valor alcança a cifra de cerca de R\$ 67.000.000,00 (considerando 2,5% a.a. de incremento de custos).

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR
BOMBEAMENTO DA PLUMA E REINJEÇÃO		R\$ 173,698,39
Areia Lavada (Saco 20 kg)	200 Un.	R\$ 618,00
Bomba Submersível	18 Un.	R\$ 144.000,00
Cimento (Saco 50 kg)	60 Un.	R\$ 1.422,00
Compressor de Ar 5 HP	3 Un.	R\$ 8.709,99
Filtro de Entrada	3 Un.	R\$ 510,00
Hidrômetro	3 Un.	R\$ 510,00
Manômetro	3 Un.	R\$ 113,73
Filtro Leve Tubular Poço Artesiano 4 Pol	18 Un.	R\$ 2.477,70
Tubulação (Ar Comprimido)	400 Un.	R\$ 2.588,00
Tubulação Bombeamento	103,5 Un.	R\$ 619,97
Registro PVC e PPR	20 Un.	R\$ 600,00
Tubo Liso PVC 3 Pol	180 Un.	R\$ 11.529,00
TRATAMENTO DO EFLUENTE DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO		R\$ 181,096,00
Filtro Zeólita	18 Un.	R\$ 36.000,00
Dosador de Cloro	18 Un.	R\$ 4.500,00
Tanque Mistura 20.000 L	1 Un.	R\$ 35.896,00
Venturi e Misturador Estático	3 Un.	R\$ 9.000,00
Ozonizador - 10g/h	3 Un.	R\$ 84.000,00
Rotâmetro	1 Un.	R\$ 700,00
Tanque de Contato Inox	1 Un.	R\$ 3.000,00
Bomba Dosadora	1 Un.	R\$ 8.000,00
SUBTOTAL INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS		R\$ 354.794,39
FERRAMENTAS (10%)	Subtotal Equipamentos	R\$ 35.479,44
INSTALAÇÃO DE POÇOS DE BOMBEAMENTO		R\$ 212.074,40
INSTALAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS AUXILIARES	2 Un. com 200 m ³ cada (20 m x 5 m x 2 m)	R\$ 250.000,00
Mobilização de Equipe	1 Mês	R\$ 16.000,00
Perfuração, Instalação e Acabamento de Poço*		R\$ 142,200,00
Mão de Obra de Montagem do Sistema	2 Meses	R\$ 13,874,40
Instalação Elétrica	1 Projeto	R\$ 40,000,00
SUBTOTAL CAPEX		R\$ 853.033,23
DBI (25%)	25% Subtotal Capex	R\$ 213.008,31
TOTAL CAPEX		R\$ 1.066.041,50
* Considerando os poços de injeção já instalados		

Tabela 4 - CAPEX Sistema de bombeamento, tratamento e lançamento Final.

DESCRIÇÃO	CUSTO/ANO	CUSTO 6 ANOS*
Energia elétrica	R\$ 208.417,54	R\$ 1.331.316,35
Tratamento do Efluente (R\$ 30,00/m³)	R\$ 9.720.000,00	R\$ 62.088.801,00
Análise Técnica	R\$ 120.000,00	R\$ 766.528,41
Resíduos	R\$ 2.400,00	R\$ 15.330,57
Relatório Técnico	R\$ 180.000,00	R\$ 1.149.792,61
Depreciação, Manutenção e Seguros	R\$ 126,493,13	R\$ 758.958,77
Mão de Obra e Encargos	R\$ 141.043,50	R\$ 846.261,00
Total OPEX	R\$ 10.498.354,17	R\$ 66.956.988,71

Tabela 5 - OPEX sistema de bombeamento, tratamento e lançamento final.

* Considerando aumento de custos em média de 2,5% a.a.

4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO NATURAL

O projeto de recomposição vegetal da faixa de 60 hectares (300 x 2.000 metros) relativa à “área embargada” do Lixão da Estrutural deverá ser dividido em três fases: implantação, manutenção e monitoramento, totalizando seis anos de projeto. Serão consideradas intervenções para preparo e correção inicial do solo, sendo previstos métodos de limpeza e preparo do solo, subsolagem e escarificação do material exposto, espaçamento e alinhamento, coveamento e posterior adubação (Rodrigues & Almeida, 2018).

Foram consideradas as espécies nativas arbóreas de maior porte listadas no Produto 4, incluindo: Ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus*), Angico (*Anadenanthera macrocarpa*), Pata-de-Vaca (*Bauhinia forficata*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), Cedro (*Cedrus*) e Baru (*Dipteryx alata*), além de outras que apresentam histórico de grande desenvolvimento em latossolos vermelhos distróficos ou aluminicos, de textura muito argilosa da região do cerrado do Distrito Federal.

No primeiro momento será feito o cercamento da área embargada a ter a vegetação natural recomposta, com o uso de estacas, grampos, esticadores e arames. Também deverá ser feita a devida sinalização da área para evitar depredação da região.

Antes da adubação verde, deverá ser feito o processo de limpeza da área de plantio, para controle de ervas invasoras, por meio de capina com ferramentas manuais e coroamento das mudas plantadas com raio de 80 cm. Ainda deverá ser realizado o combate de possíveis pragas, como formigas cortadeiras e cupins. O método a ser empregado é o de isca granulada, prioritariamente feito em períodos de baixa pluviosidade (Lomolino, 2017).

O segundo passo é a implantação de um estrato arbustivo, com o plantio de leguminosas e gramíneas, sendo o preparo físico e químico do solo feito com um prazo de seis meses a um ano antes do plantio das mudas.

Como as plantas no ambiente do cerrado apresentam raízes pivotantes, as covas serão mais profundas do que o normal, logo, para o plantio de mudas, o coveamento deve ter dimensão de 60 x 40 x 40 cm (profundidade, largura e comprimento), para cada muda e o solo deve ser preparado com 70 gramas de NPK (fertilizante químico solúvel rico em nitrato, fosfato e potássio), 200 gramas de calcário, 100 a 150 gramas de superfosfato e 10 a 20 litros de esterco de gado. O uso de motocoveadoras acopladas com um acessório de tratores é uma alternativa ao coveamento tradicional. Neste caso, a cova terá um formato cilíndrico com 60 cm de profundidade e de 100 a 200 mm de diâmetro (dependendo das mudas a serem plantadas).

O plantio deve ser de forma aleatória contendo uma planta a cada cinco metros, com a intercalação de diferentes espécies por toda a área a ser ocupada pelo reflorestamento, preferencialmente, em período de chuvas, a fim de se reduzir custos com irrigação. Poderá ser feito o reaproveitamento do uso de caminhões pipa utilizados na operação da Unidade de Recebimento de Entulhos, que já requer o uso de caminhões para aspersão de água nas vias de acesso, podendo ser utilizado na irrigação do plantio ao menos no primeiro ano de plantio.

A manutenção consiste no desenvolvimento das seguintes práticas: controle de pragas (formigas cortadeiras principalmente), controle de mato-competição, controle de erosão, controle do acesso de pessoas não autorizadas e prevenção de incêndios. Caso o plantio seja feito de forma integral no primeiro ano, a fim de reduzir os custos fixos relacionados à plantação particionada, é prevista a necessidade de replantio de cerca de 15% das mudas, sendo 10% no 1º Replanteio de Muda e 5% no 2º Replanteio de Mudas.

Além disso, todo o plantio deve ser monitorado para se evitar perdas por incêndios florestais. Esse serviço deve ser feito, preferencialmente de forma manual, com todo o plantio protegido por sistemas de aceiros, fazendo parte da rotina de manutenção da área revegetada.

O custo total para recomposição da vegetação nativa na “Área Embargada” de cerca de 60 ha é de R\$ 1.387.023,10, destes sendo gastos R\$ 1.079.197,10 nos anos 1 e 2, R\$ 196.446,00 nos anos 3 e 4 e R\$ 111.380,00 nos anos 5 e 6, conforme Tabela 6.

O custo/ha é de R\$ 11.558,52. O valor se encontra dentro da margem estipulada por Corrêa (2007), deflacionado pelo IGP-M com preço base de 2020 (MMA, 2013 e SLU, 2013). Na literatura, também são encontrados valores médios de R\$ 1.250/ha, podendo chegar até R\$ 40.000,00/ha (Rodrigues & Almeida, 2018). Na Figura 1 pode se verificar que os maiores custos se concentram na fase de implantação devido a compra de mudas nativas do cerrado e com a recuperação física e química do solo.

DESCRIÇÃO		VALOR
1º e 2º Anos		R\$ 1.079.197,10
Cercamento e sinalização da área		R\$ 96.800,00
Manejo de pragas		R\$ 2.800,00
Supervisão técnica		R\$ 93.940,00
Preparo do solo e adubação verde		R\$ 97.521,60
Calagem, adubação e mudas		R\$ 427.770,00
Plantio das mudas, coroamento, adubação e tutoramento		R\$ 324.665,50
Supervisão técnica		R\$ 30.000,00
Sinalização da área		R\$ 7.700,00
3º e 4º Anos		R\$ 196.446,00
Insumos para manutenção		R\$ 135.348,00
Adubação da cobertura		R\$ 12.400,00
Replanteio de mudas		R\$ 3.225,20
Supervisão técnica		R\$ 30.000,00
Monitoramento de pragas		R\$ 6.380,00
2º Replanteio de mudas		R\$ 1812,80
2ª Adubação de cobertura		R\$ 7.280,00
5º e 6º Anos		R\$ 111.380,00
Manutenção dos aceiros		R\$ 5.800,00
Tratos silviculturais e proteção contra incêndios		R\$ 16.600,00
Monitoramento de pragas		R\$ 6.380,00
Monitoramento do plantio		R\$ 41.300,00
TOTAL 6 ANOS		R\$ 1.387.023,10

Tabela 6 - Custos para implantação, manutenção e monitoramento.

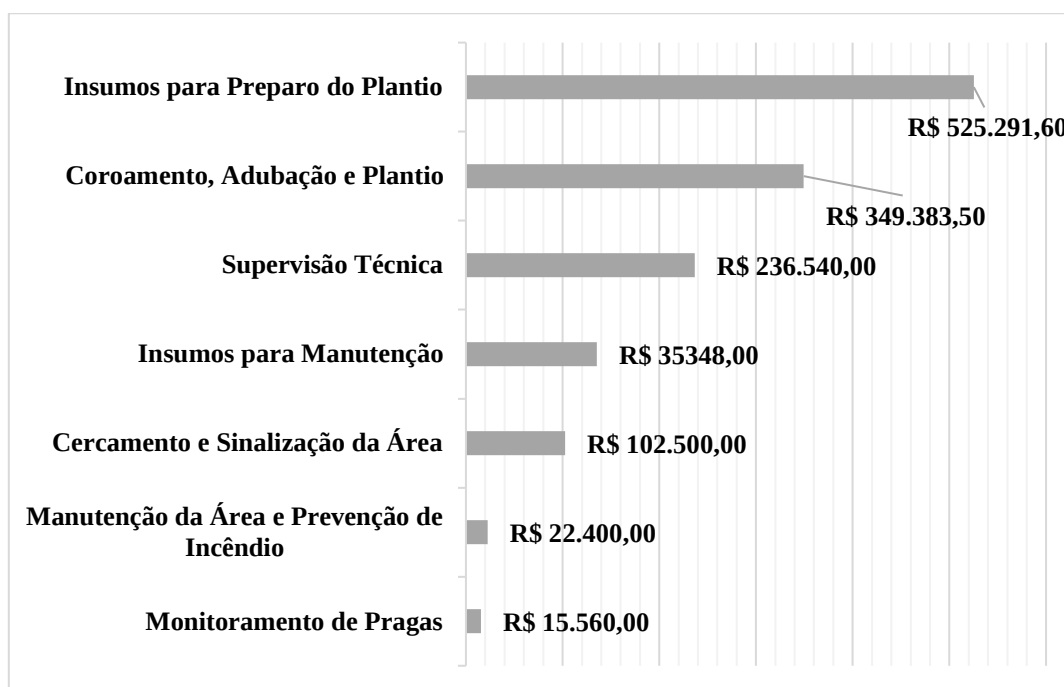


Figura 10 - Distribuição dos custos para recomposição da vegetação nativa da “área embargada”.

Antes do início das ações de recomposição da vegetação nativa, toda a área deverá ser submetida à retirada total da vegetação secundária, composta essencialmente por Margaridão (*Tithonia diversifolia*); Leucena (*Leucaena leucocephala*) e Mamona (*Ricinus communis L.*). Após supressão desta cobertura vegetal exótica a matéria orgânica deve ser incorporada ao solo por aragem e gradagem. Os trechos em que o terreno se encontre com topografia irregular devido à acumulação e remoção de resíduos deverá ser reconformado a partir de terraplenagem e suavização do relevo local (na área existem porções com taludes residuais com mais de 4 metros de elevação).

Dessa forma sobre o custo estimado para a recomposição da área (R\$ 1.387.023,10) deverão ser adicionados no mínimo mais R\$ 4.550,00 por hectare, ou seja, mais R\$ 273.000,00 para preparação prévia do terreno. Assim, esta ação de remediação alcança um valor de **R\$ 1.660.023,10** (hum milhão, seiscentos e sessenta mil e vinte e três reais e dez centavos).

O custo de recuperação de áreas degradadas é influenciado por alguns fatores, incluindo: o maior ou menor grau de degradação da área; uso de técnicas mais baratas, como a substituição de mudas por sementes e subestimação ou superestimação do custo de fatores, especialmente em relação ao custo de transporte, vinculado às oscilações do preço dos combustíveis e com os honorários profissionais.

5. COMPACTAÇÃO E ENCLAUSURAMENTO DA FONTE PRODUTORA DE CHORUME

O principal problema que se tenta solucionar por meio da impermeabilização do solo é a poluição das águas subterrâneas e superficiais. Para isso, deverão ser dispostos elementos que dificultem a passagem destes líquidos através dos poros do solo. As principais funções da impermeabilização da área do antigo lixão é garantir a estabilidade e permitir a remoção de líquidos para fora da estrutura de ampla produção de chorume, de modo e encaminhá-lo para o sistema de águas pluviais.

A área a ser enclausurada corresponde à porção que ainda possui uma ampla produção de chorume, por ter sido a última área ativa a receber resíduos antes do encerramento das atividades do lixão. Conforme Figura 2, a área compreende 55 hectares, com um perímetro de aproximadamente 2.900 metros (Figura 2).



Figura 11 - Área proposta para enclausuramento da fonte, no Lixão da Estrutural. Fonte: *Google Earth Pro/ ArcGis*. Imagem de 29 de maio de 2020.

Segundo a ABNT NBR 13896 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997), deve se proceder à impermeabilização da área de interesse quando as circunstâncias hidrogeológicas do local de implantação do empreendimento não seguirem as seguintes especificações: depósito natural extenso e homogêneo com coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-8} m/s e zona não saturada com espessura superior a 3 metros. O material da camada impermeabilizante deve ser quimicamente compatível com os resíduos, além de possuir espessura e resistência de maneira que não rompa por pressões hidrostáticas e hidrogeológicas, contato com o líquido percolado ou demais condições climáticas. A ruptura por assentamento, compressão ou levantamento da área impermeabilizada tem que ser evitada, colocando a impermeabilização sobre uma base capaz de suportá-la e resistir os gradientes de pressão (Paula, 2017).

A ABNT NBR 13896 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997) ainda impõe que o sistema de impermeabilização deve ser verificado em relação a seu desempenho. Para isso, deve existir um sistema de detecção de vazamentos e, caso ocorra, fazer uma análise de recuperação do sistema de impermeabilização danificado.

5.1 Sistema de Drenagem

Além do sistema de impermeabilização da área produtora de chorume, nota-se a necessidade de um sistema de drenagem das águas superficiais. É necessário um sistema para drenar e disciplinar as águas pluviais, para que não entre em contato com a área produtora de chorume e haja a contaminação de águas subterrâneas. A coleta de águas pluviais será realizada através de drenos localizados sobre a camada de impermeabilização. Os drenos são projetados em forma de “espinha de peixe”, ou seja, são constituídos por drenos secundários que encaminham a água para um dreno principal que o leva até um poço de reunião onde são levados, finalmente, para os sistemas de águas pluviais.

Segundo a ABNT NBR 8419 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992), a descrição do sistema de drenagem superficial deve conter, no mínimo:

- Vazão de dimensionamento do sistema;
- Situação dos canais em planta (escala não inferior a 1:1000);
- Designação das seções transversais e declividade do fundo dos canais em todos os trechos;
- Tipo de revestimento, se existente, dos canais, especificando o material;
- Indicação dos locais de descarga da água coletada pelos canais;
- Detalhamento de todas as singularidades existentes (alargamentos ou estrangulamentos de seção, curvas, degraus, obras de dissipação de energia e outros).

Com uma drenagem ineficiente da água da chuva, ocorrerá uma maior infiltração no aterro. Isso faz com que aumente a quantidade de chorume gerado e também influencia na instabilidade do mesmo (Lanza & Carvalho, 2006).

É preferível que a drenagem de águas pluviais seja realizada por meio de valas escavadas evitando, dessa maneira, a utilização de tubulações enterradas. Todos os dispositivos de drenagem de águas pluviais devem ser mantidos desobstruídos para que o sistema funcione como o previsto. Em períodos de intensa pluviosidade é necessária maior fiscalização. E, caso não sofram nenhuma contaminação durante o percurso, as águas de chuva podem ser dirigidas para cursos d'água localizados na porção externa da área do aterro (Lanza & Carvalho, 2006).

5.2 Materiais Utilizados na Impermeabilização

No passado, era utilizado apenas solo compactado para o sistema de impermeabilização, porém, com o avanço tecnológico surgiram outros materiais, tais como: concreto; emulsões asfálticas; solo-cimento; membranas de bentonita; misturas de areia e bentonita; polietileno clorosulfurado; cloreto polivinílico (PVC); polietileno (PE); polietileno clorado e borracha butílica (Boff, 1998 apud Locastro & Angelis, 2016).

Ainda não existe uma norma específica no país com relação a construção das barreiras impermeabilizantes, porém, uma das opções é utilizar as normas internacionais como europeias ou americanas. É importante adaptar os sistemas internacionais aos solos brasileiros. Segundo Recesa (2008) para que o sistema de impermeabilização funcione corretamente e alcance suas funções, são necessárias algumas características, tais como: estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade físico-químico-biológica com os resíduos a serem aterrados. Como característica mais importante tem-se a baixa permeabilidade, pois é ela que garante segurança e qualidade ao sistema (Locastro & Angelis, 2016).

Uma alternativa é a impermeabilização com materiais de massa asfáltica. Os materiais mais utilizados em obras para (1) pavimentação e (2) para drenagem são: brita, macadame seco, areia para revestimentos asfálticos, CBUQ, PMQ ou PMF, materiais asfálticos: transporte a quente e a frio e; cimento, tubos, aço e madeira.

Considerando a importância dos equipamentos no total do custo unitário de um serviço de engenharia, para obras de terraplanagem e impermeabilização, são relevantes as considerações referentes aos avanços tecnológicos destes, no decorrer dos últimos anos. O método utilizado para cálculo dos custos de equipamentos é baseado no Sistema de Custeio da Caterpillar, por centros de responsabilidade (Caterpillar, 1987).

5.3 Serviços de Terraplanagem e Pavimentação

Para os serviços de terraplenagem, as equipes de acompanhamento das frentes de serviço são dimensionadas em função exclusivamente dos volumes de compactação do corpo de aterro e da camada final de aterro. Na escavação, carga e transporte, a equipe de topografia faz a locação das caixas de empréstimos ou jazidas, e posteriormente, após a escavação e carga do material, realiza a medição dos volumes escavados, não havendo a necessidade de um encarregado de turma e um apontador no acompanhamento desses serviços. A estrutura do pavimento é formada por camadas mais nobres do que o corpo e da camada final de aterro, implicando consequentemente em um acompanhamento e controle mais rígido em sua execução.

5.4 Levantamento de Preços por m² de Limpeza e Compactação do Terreno

Primeiramente serão considerados os preços para supressão vegetal e limpeza do terreno (Tabela 7). Compreende os trabalhos necessários para remover das zonas previstas: plantas pequenas, arbustos, ervas daninhas, madeiras caídas, entulho, lixo ou qualquer outro material existente, até uma profundidade não inferior à espessura da camada de terra vegetal, considerando como mínima 25 cm, com auxílio de pá-carregadeira e transporte em caminhão (Figura 3).

Unidade		Rend.	Preço Unitário	Preço Insumo/ m ²
m ³	Pá carregadeira sobre pneus de 120 kW/1,9 m ³	0,017	R\$ 112,72	R\$ 1,92
h	Ajudante de obras de construção civil.	0,007	R\$ 20,67	R\$ 0,14
%	Custos diretos complementares	2	R\$ 2,06	R\$ 0,04
			Total	R\$ 2,10

Tabela 7 - Supressão vegetal, limpeza do terreno e conformação topográfica com aplicação de meios mecânicos.



Figura 12 - Ilustração de pá carregadeira sobre pneus em atividade.

Em segundo momento tem-se a escarificação superficial do terreno, até uma profundidade mínima de 20 cm, com auxílio de meios mecânicos, até conseguir a sua desagregação para a sua posterior compactação, para obter uma superfície homogênea de apoio. O preço não inclui a compactação do terreno (Tabela 8 e Figura 4).

Unidade		Rend.	Preço Unitário	Preço Insumo/ m ²
m ²	Motoniveladora de 99 kW, equipada com fresa	0,002	R\$ 218,27	R\$ 0,44
%	Custos diretos complementares	2	R\$ 0,44	R\$ 0,01
			Total	R\$ 0,45

Tabela 8 - Estimativa de custos para escarificação do terreno previamente à compactação para impermeabilização.



Figura 13 - Exemplo de motoniveladora de 99 kW, equipada com fresa.

Em seguida tem-se a compactação de leito de piso. Compactação de leito de piso a céu aberto, por meios mecânicos, até alcançar uma densidade seca não inferior a 90% da máxima obtida no teste Proctor Modificado. Para se alcançar a impermeabilização desejada é fundamental que a operação de compactação seja simultânea com aspersão de água para a quebra da estrutura dos solos e diminuição da condutividade hidráulica da superfície. Os custos são apresentados na Tabela 9, sendo que o preço não inclui a realização do ensaio Proctor Modificado.

A Figura 5 exemplifica o tipo de máquina que deve ser utilizada nesta etapa da obra de impermeabilização.

Unidade		Rend.	Preço Unitário	Preço Insumo/ m ²
m ²	Compactador monocilíndrico vibrante auto-propulsado, de 129 kW, de 16,2 t, largura de trabalho 213,4 cm	0,018	R\$ 114,57	R\$ 3,14
h	Caminhão cisterna, de 8 m ³ de capacidade.	0.013	R\$ 112,30	R\$ 1,46
h	Ajudante de obras de construção civil.	0.017	R\$ 20,67	R\$ 0,35
%	Custos diretos complementares	2		R\$ 0,10
			Total	R\$ 5,05

Tabela 9 - Custos relativos à fase da obra de compactação da superfície.



Figura 14 - Compactador monocilíndrico vibrante autopropulsado.

O custo de carga de terras procedentes de escavações, com meios mecânicos, para caminhão também deverá ser incluído no processo. O preço inclui o tempo de espera em obra durante as operações de carga. Assim como o custo de transporte de terras dos produtos provenientes da escavação de qualquer tipo de terreno dentro da obra, a uma distância menor de

0,5 km. O preço inclui o tempo de espera em obra durante as operações de carga, a viagem de ida, a descarga e a viagem de volta, mas não inclui a carga em obra. Os seus valores são, respectivamente, R\$ 11,74/m³ e R\$ 2,48/m³. Estes custos incluem a utilização de uma retroescavadeira sobre pneus de 64 kW, caminhão basculante de 12t de carga e uma Dumper de descarga frontal de 1,5 t de carga útil. Os valores não serão inseridos na mensuração por m² por haver uma grande variabilidade no seu uso dentro do projeto.

Os custos finais de preparação do terreno e compactação são os exibidos na Tabela 10 e no gráfico da Figura 6.

Supressão Vegetal e Limpeza do Terreno	R\$ 2,10
Escarificação do Terreno	R\$ 0,45
Compactação do Leito do Piso	R\$ 5,05
Total por m²	R\$ 7,60
Total por 55 hectares	R\$ 4.180.000,00

Tabela 10 - Custo de preparação e compactação da área para 55 hectares.

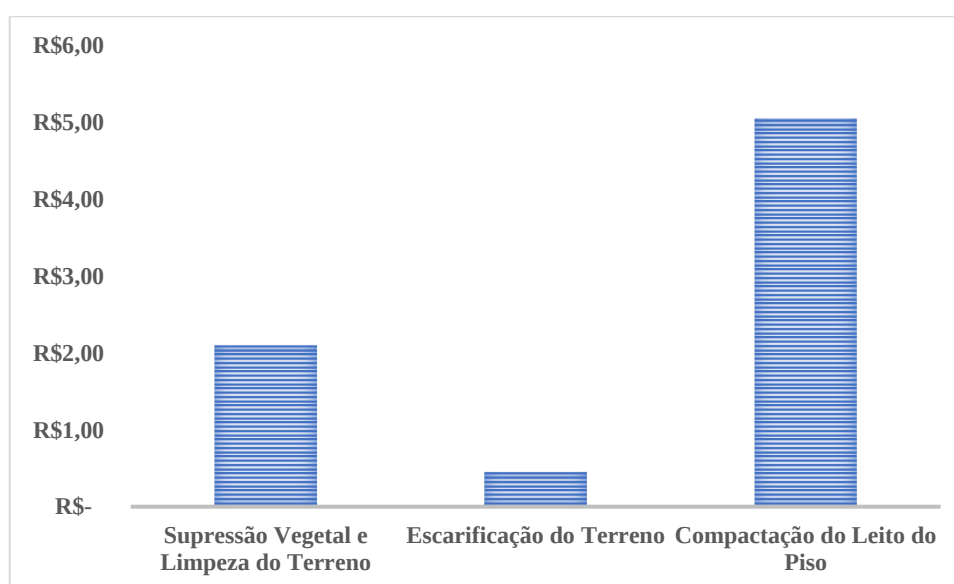


Figura 15 - Custo por metro quadrado por tipo de serviço de limpeza e compactação do terreno.

5.5 Custo de Impermeabilização da Área por meio de Uso de Piso de Concreto Tratado

Em seguida será avaliada a alternativa de concretagem da área a ser impermeabilizada (Figura 7), segundo descrição de uso e valores por m² apresentados na Tabela 11.



Figura 16 - Piso contínuo de concreto tratado.

Unidade		Rend.	Preço Unitário	Preço Insumo/ m ²
m ³	Concreto simples C15 classe de agressividade ambiental I e tipo de ambiente rural, brita 2, consistência S50, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953.	0,105	R\$ 100,00	R\$ 10,50
m	Poliestireno expandido em juntas de dilatação de pisos contínuos de concreto.	0,18	R\$ 0,88	R\$ 0,16
h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,019	R\$ 26,10	R\$ 0,50
h	Régua vibradora de 3 m.	0,016	R\$ 13,15	R\$ 0,21
h	Alisadora de pisos mecânica de concreto.	0,005	R\$ 14,28	R\$ 0,07
h	Equipamento para corte de juntas em lastros de concreto.	0,001	R\$ 26,75	R\$ 0,03
h	Oficial de obras de construção civil.	0,0219	R\$ 24,01	R\$ 0,53
h	Ajudante de obras de construção civil.	0,0323	R\$ 20,67	R\$ 0,67
%	Custos diretos complementares	2	R\$ 12,66	R\$ 0,25
			Custo Total m²	R\$ 12,91
			Custo Total 55 hectares	R\$ 7.100.189,91

Tabela 11 - Custo para aplicação de superfícies contínua em concreto

5.6 Custo de Implantação do Sistema de Drenagem Superficial

O sistema de escoamento foi dimensionado para o uso de 5.100 metros lineares de canaletas de escoamento, cobrindo o perímetro da área e o escoamento radial. Observa-se que um projeto mais detalhado deverá ser feito, observando os impactos ambientais da impermeabilização do solo na área que gera maior velocidade de escoamento da água para áreas próximas ao lixão, ocasionando possíveis picos de vazões e enchentes. Serão apresentados,

portanto, custos referenciais sobre a instalação de um dado projeto de escoamento de águas pluviais.

Os itens considerados para o sistema de drenagem horizontal são:

- 1) Canaletas (meia cana) de seção circular e com encaixe Ponta e Bolsa. São muito utilizadas para escoamento de águas pluviais nos mais diversos níveis de volume. Essas águas podem correr a céu aberto, como enxurradas em encostas, taludes e barrancos, captando e direcionando a água das chuvas, evitando que o fluxo corra fora do leito, prevenindo o solo de erosão. As canaletas conduzem as águas captadas para as tubulações fechadas ou enterradas no solo (Figura 8).
- 2) Boca de lobo pré-fabricada de concreto, de 50 x 30 x 60 cm (Figura 9). O preço inclui o enchimento do tardo com material granular, mas não inclui a escavação.
- 3) Coletor enterrado de rede horizontal de saneamento, com caixas, com um caimento mínima de 1,00% para a drenagem de águas residuais e 0,50% para a drenagem de águas pluviais, formado por tubo de PVC liso, série SN-4, rigidez anelar nominal 4 kN/m², de 160 mm de diâmetro exterior, colado com adesivo, colocado sobre leito de areia de 10 cm de espessura, devidamente compactada e nivelada com compactador (tipo sapo) de condução manual, enchimento lateral compactado até metade do diâmetro do tubo e posterior enchimento com a mesma areia até 30 cm por cima da geratriz superior do tubo. Inclusive líquido de limpeza e adesivo para tubos e acessórios de PVC.
- 4) Ramal de ligação geral de saneamento, para drenagem de águas residuais e/ou pluviais à rede geral do município, com um caimento mínima de 1,00% para a drenagem de águas residuais e 0,50% para a drenagem de águas pluviais, formado por tubo de PVC liso, série SN-4, rigidez anelar nominal 4 kN/m², de 200 mm de diâmetro exterior, colado com adesivo, colocado sobre leito de areia de 10 cm de espessura, devidamente compactada e nivelada com compactador (tipo sapo) de condução manual, enchimento lateral compactado até metade do diâmetro do tubo e posterior enchimento com a mesma areia até 30 cm por cima da geratriz superior do tubo, com as correspondentes juntas e peças especiais. Inclusive líquido de limpeza e adesivo para tubos e acessórios de PVC e concreto simples C20 classe de agressividade ambiental I e tipo de ambiente rural, brita 1, consistência S50 para a posterior reposição do piso existente. O preço inclui a demolição e a remoção do piso existente, mas não inclui a escavação, o enchimento principal nem a ligação à rede geral de saneamento.
- 5) Caixa de passagem enterrada, pré-fabricada de concreto, de 40 mm de diâmetro e 40 cm de profundidade, com tampa pré-fabricada de concreto armado (Figura 10). O preço não inclui a escavação nem o enchimento do tardo.

A Tabela 12 traz a síntese dos custos para a instalação do sistema de drenagem pluvial que deve ser instalado com ou sem a implantação da cobertura de concreto.

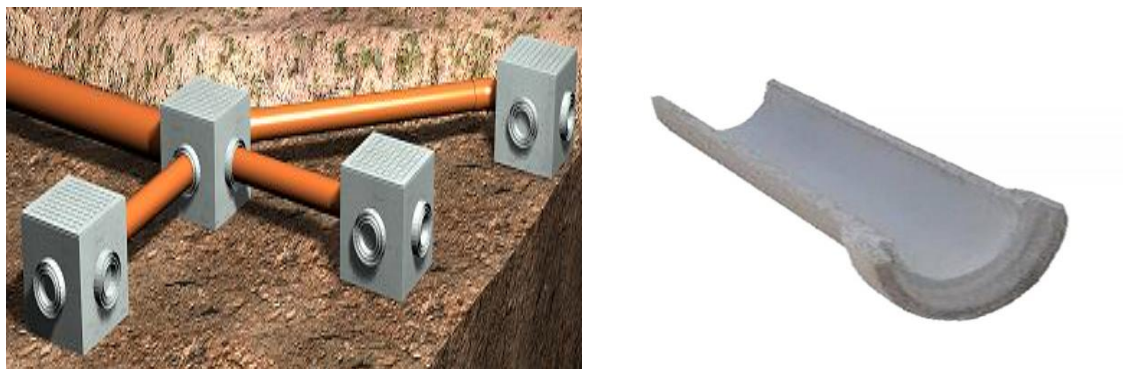


Figura 17 - Coletor enterrado e caneleta meia cana



Figura 18 - Boca de lobo pré-fabricada de concreto

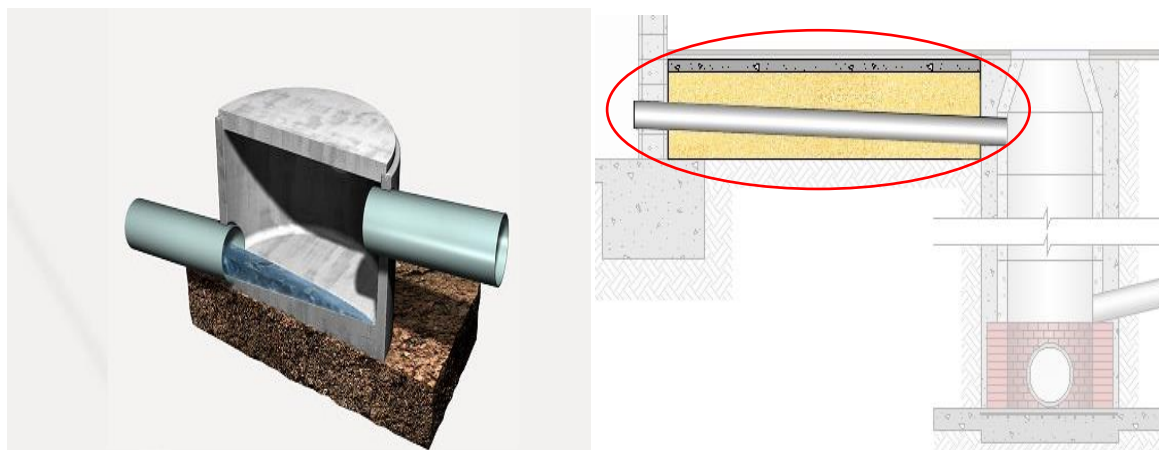


Figura 19 - Ilustração de caixa de passagem enterrada e ramal de ligação.

	Unidades	Custo de Manutenção Decenal	Custo Unitário	Custo Final (10 anos)	Custo Total
Caixa de Passagem pré-fabricada de concreto	50	R\$ 2,70	R\$ 54,07	R\$ 56,77	R\$ 2.838,50
Ramal de ligação geral de saneamento	100	R\$ 13,80	R\$ 153,37	R\$ 167,17	R\$ 16.717,00
Coletor Enterrado	500	R\$ 3,44	R\$ 49,10	R\$ 52,54	R\$ 26.270,00
Canaleta Meia Cana de Concreto	5000	N.A.	R\$ 11,99	R\$ 11,99	R\$ 59.950,00
Boca de Lobo	100	R\$ 10,67	R\$ 213,20	R\$ 12,99	R\$ 1.299,00
				Custo Total	R\$ 107.074,50

Tabela 12 - Custos de instalação de sistema de drenagem pluvial horizontal.

6. AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA DA INSTALAÇÃO DE CÉLULAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADAS À REDE

Devido à sua localização intertropical e de seu sistema elétrico, o Brasil apresenta condições extremamente positivas para o aproveitamento de geração fotovoltaica. Observando a Normativa nº 482/2012 da ANEEL, regulamentando a geração distribuída, a presente seção tem como finalidade apresentar equipamentos e fundamentos da geração fotovoltaica e sua viabilidade econômico-financeira como forma de aproveitamento da área do antigo lixão da estrutural.

A metodologia utilizada para verificar a economicidade é a de fluxo de caixa descontado. Essa metodologia é comumente aplicada em empresas que apresentem fluxos de caixas positivos, que possam ser confiavelmente estimados para períodos futuros em que o substituto pra o risco possa ser a obtenção de taxas de desconto. Essa técnica captura todos os elementos que afetam o valor da empresa de maneira abrangente e, por constituir-se em uma técnica econômica, reflete de forma mais consistente o valor obtido a partir de técnicas contábeis que desconsideram o investimento exigido ou o momento em que ocorrem.

Esse instrumento retrata todas as saídas do caixa da empresa (receitas e despesas), resultando no valor do saldo disponível da empresa a cada dia, semana, mês e ano. O fluxo de caixa está ligado às atividades da empresa de forma ampla, referindo-se às atividades operacionais, financeiras e legais da empresa, tendo capital no capital de giro e na administração de longo prazo. As alíquotas são descontadas diretamente da taxa anual de inflação e da taxa de juros referencial.

6.1 Mercado de Energia Solar

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN - EPE, 2020), estima-se um incremento entre 2018 e 2019 de 92,2% da produção de energia fotovoltaica, saltando de 0,5% de participação na matriz energética brasileira para 1,0% entre 2018 e 2019. Este aumento se deu somente com uma elevação de 37,6% da capacidade instalada, indicando que há, no mercado de produção de energia solar, uma grande elevação de produtividade por unidade instalada no ano base de 2019. Os avanços tecnológicos na área de semicondutores e o aumento da produção de células, portanto, fizeram com que o preço por watt produzido caísse de US\$ 79,67 para US\$ 0,36 em menos de quarenta anos.

Atualmente, existem duas formas de gerar energia elétrica a partir dos raios solares, conhecidas como fotovoltaica e heliotérmica. A heliotérmica utiliza espelhos e lentes para concentrar os raios solares em um ponto específico, aquecendo uma solução que gera vapor e aciona uma turbina que é utilizada para produzir eletricidade. Já a fotovoltaica consiste na geração de energia elétrica por meio de materiais semicondutores que apresentam o efeito fotovoltaico. Esse fenômeno químico/físico pode ser definido como a formação de tensão elétrica ou corrente em um material que é exposto à luz (Dantas & Pompermayer, 2018).

A geração distribuída apresenta diversos benefícios ao sistema elétrico, como o baixo impacto ambiental, a redução de cargas na rede, a diversificação da matriz energética e diminuição de perdas. No caso da recuperação da área do Lixão da Estrutural, a geração de energia *in loco* pode auxiliar em reduzir os custos energéticos com o bombeamento e reinjeção da pluma, deixando um legado positivo após a finalização do período de tratamento.

A distribuição da capacidade instalada de micro e minigeração distribuídas solar por UF é apresentada na Figura 11, cuja fonte de informação foi extraída do Balanço Energético Nacional referente ao ano de 2020.

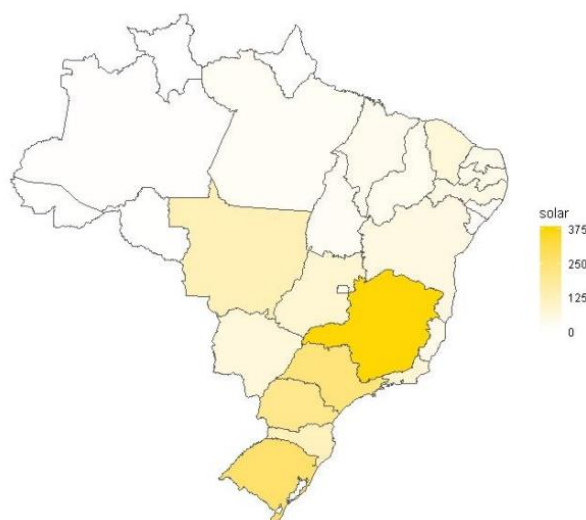


Figura 20 - Capacidade instalada - micro e minigeração distribuídas solar por UF (MW). Fonte: BEN – EPE, 2020, Relatório Síntese, ano base 2019.

O Distrito Federal se encontra entre as unidades de federação com menor capacidade instalada no Brasil, o que não reflete sua potencialidade, por ser uma zona com alta incidência solar direta, conforme demonstrado na Figura 12. Uma possível explicação para a restrita geração fotovoltaica no Distrito Federal pode ser o preço da terra que é muito elevado, o que leva à sua ocupação por parcelamentos urbanos (principalmente na porção centro-oeste) ou para a produção agrícola (porção leste). Assim, o uso da área do Lixão da Estrutural para a instalação de geração elétrica de base fotovoltaica pode ser uma alternativa viável.

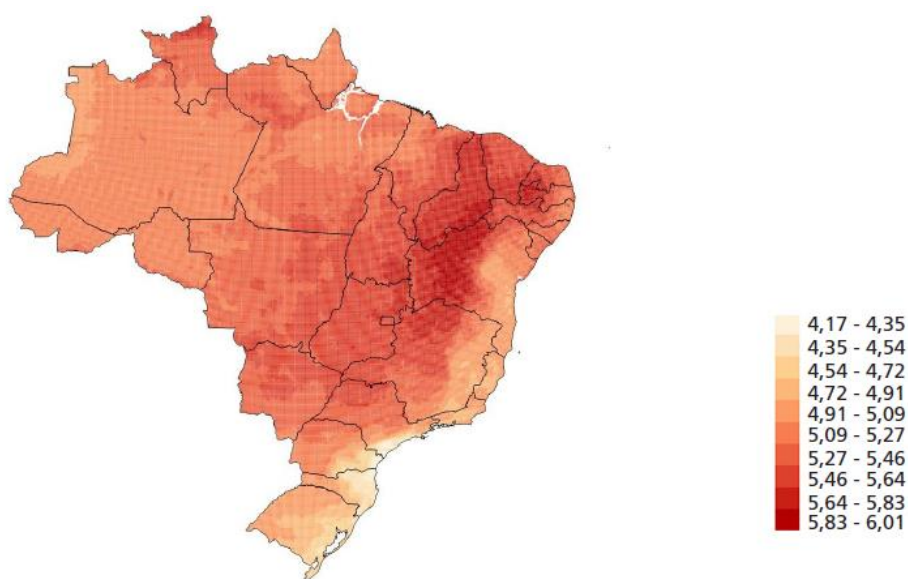


Figura 21 - Incidência solar média diária (em kWh/m²) no Brasil. FONTE: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 2016.

O preço unitário da instalação de placas de energia, no Distrito Federal, em R\$, é um dos menores em nível nacional (em comparação aos demais estados), igualando aos custos do Ceará, Goiás, Paraíba, Rio Grande do Norte e Tocantins, segundo dados do Ipea. O mapa da Figura 13, extraído do estudo de viabilidade de implantação de plantas energéticas fotovoltaicas (Dantas & Pompermayer, 2018) mostra as regiões onde a utilização de energia fotovoltaica é mais economicamente viável (quanto mais forte o tom de verde, maior a viabilidade). O índice é a razão entre o custo da energia fotovoltaica e o valor cobrado pelas distribuidoras locais com tributos.

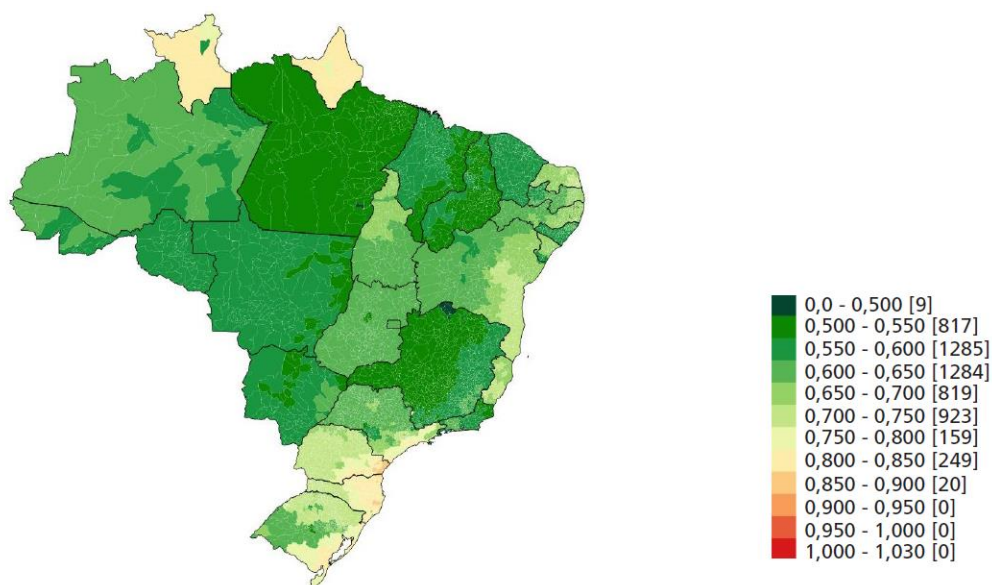


Figura 22 - Razão entre o custo da energia fotovoltaica e o valor cobrado pelas distribuidoras locais com tributos. Extraído de Dantas & Pompermayer (2018).

6.2 Projeto de Usina Solar

A análise de investimento foi avaliada a partir da projeção de fluxos de caixa relativos a cinco estudos de caso no Brasil: Silva (2015), Santos *et al.* (2016), Miranda (2014 e 2019), Gobbo (2018), e Casarin (2019). O balanço de investimento inicial contabilizou o dimensionamento do sistema FV de Dantas & Pompermayer (2018) sobre a análise da carga previamente desejada pela geração fotovoltaica. Para área de implantação da instalação foi adotada inicialmente uma poligonal de 100 hectares.

O melhor custo-benefício entre os modelos de painéis fotovoltaicos do mercado foi identificado por Silva (2015), sendo este o painel fotovoltaico do fabricante chinês Sandong Hilight Solar, modelo HSPV235WP-54M, fabricado com células fotovoltaicas de silício monocristalino. Cada unidade possui 54 células agrupadas, assumindo as dimensões de 1480 mm de comprimento, 992 mm de largura e 40 mm de espessura.

A escolha da quantidade de painéis a serem dispostos em série foi baseada no limite de operação dos inversores, que possuem uma tensão de saída máxima de 1000 V e uma tensão máxima de MPPT de 820 V. Além disso, foi considerado o limite do espaço físico em que cada Fileira poderia ocupar de modo a se adaptar da melhor forma com o relevo local. Desse modo, para o projeto foi considerado o agrupamento de 25 módulos fotovoltaicos em série, formando uma Fileira. Um conjunto de 10 grupos de 25 placas conectadas em série é conectado em paralelo formando assim um arranjo de 250 placas, que possuirá uma corrente total de $10 \times 8,64 = 86,4$ A.

Para arcabouço de apoio dos módulos são utilizadas estruturas metálicas como mostrado

nas Figuras 14 e 15. Em função do restrito peso das estruturas, a base de cada estrutura é apoiada no solo a partir de fundações rasas na forma de baldrames. Para se evitar eventual recalque das estruturas é necessário que a base de aterramento alcance elevada compacidade.

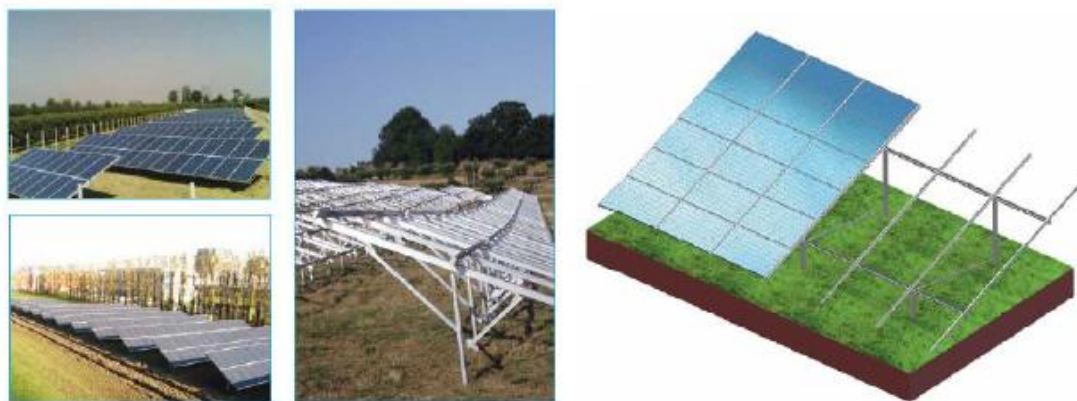


Figura 23 - Exemplo de fixação de módulos fotovoltaicos.

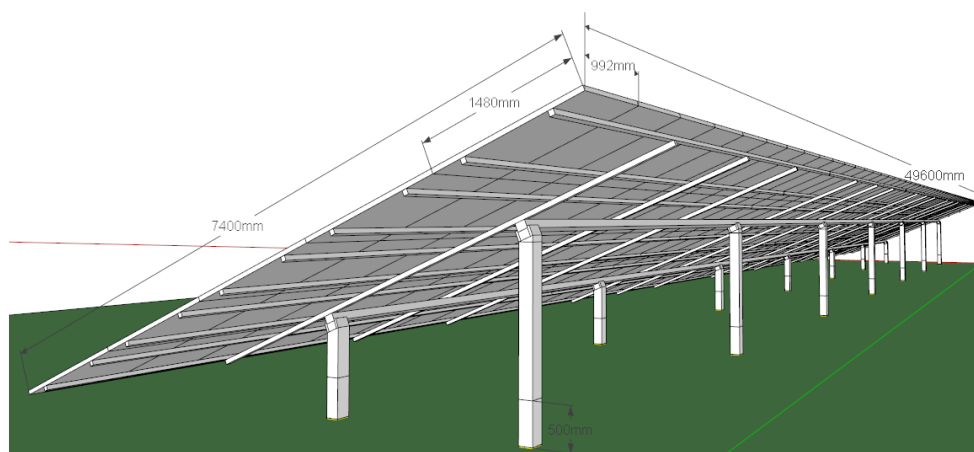


Figura 24 - Arranjo fotovoltaico e estrutura de fixação projetada. Fonte: Silva (2015).

Assim, foi proposta uma estrutura de suporte com 14 apoios espaçados de 7,2 m entre si e distância mínima do solo de 500 mm.

6.3 Estimativas de Custo de Investimento (CAPEX)

A utilização de insumos importados, considerando o regime *Free on Board* (FOB), inviabiliza economicamente o projeto, optando pela utilização de similares nacionais, como o caso do JA SOLAR - 350 WP Módulo fotovoltaico policristalino JAP72-325/4BB e dos inversores FRONIUS - INVERSOR ECO 25.0-3-S - 1 MPPT - WLAN/LAN - DPS - Trifásico 380V e FRONIUS - INVERSOR ECO 25.0-3-S LIGHT - TRIFÁSICO 380V - 1 MPPT - DPS.

Além dos componentes importados, existem ainda outros itens que devem ser analisados no CAPEX, como por exemplo: os cabos elétricos, os sistemas de proteção, a estrutura de suporte, quadros elétricos, entre outros. Assim, para estimar o custo de tais itens citados, foi aproveitado, ainda, a pesquisa realizada por Silva (2015), sendo utilizados os valores projetados

e apresentados na Tabela 13. Assim, partindo das premissas adotadas e considerando o preço dos equipamentos dimensionados, disponibilizados na Tabela 13, segundo os revendedores, foi possível estimar o custo total em reais dos equipamentos.

Discriminação	Fornecedor	Valor Total	
		(R\$)	
1) Obras Civas/Instalações, Equipamentos e Utensílios			
1.1) Equipamentos		R\$ 19.276.229,88	
FRONIUS - INVERSOR ECO 25.0-3-S - 1 MPPT - WLAN/LAN - DPS - TRIFÁSICO 380V		R\$ 451.557,36	
FRONIUS - INVERSOR ECO 25.0-3-S LIGHT - TRIFÁSICO 380V - 1 MPPT - DPS		R\$ 215.282,48	
JA SOLAR - 325WP - MÓDULO FOTOVOLTAICO - POLICRISTALINO, JAP72-325/4BB		R\$ 12.222.000,00	
Transformador Siemens 1250 kVA		R\$ 14.472,04	
Cabos e Proteções		R\$ 1.849.611,80	
Sistemas de Fixação		R\$ 1.979.302,50	
Demais Custos (projeto, conexão, etc.)		R\$ 2.544.003,70	
Total		R\$ 19.276.229,88	

Tabela 13 - Custo total do investimento em equipamentos.

Análise de Viabilidade

Para a análise de viabilidade do investimento, será utilizado o método de Fluxo de Caixa Descontado. Ele consiste na estimação do valor total de todos os fluxos de caixa futuros, e, então, descontá-los por uma taxa para encontrar o valor presente deste fluxo. A taxa, por sua vez, reflete o grau de risco destes fluxos, e será representada pela alternativa de investimento mais segura na economia brasileira, isto é, a taxa Selic. O objetivo de um fluxo de caixa descontado é estimar a quantidade total de dinheiro que um investimento pode retornar, e quando esse montante for maior do que o valor investido fica demonstrado que a realização do investimento pode ser lucrativa.

Projeção de Receita Bruta

Receita Bruta nada mais é que a quantidade de produtos vendidos ou serviços prestados multiplicado pelo preço unitário do produto vendido ou do serviço prestado. Logo, para projetar a Receita Bruta devemos projetar a quantidade de energia que será gerada nos próximos anos e o preço unitário desse produto.

$$\text{Receita Bruta} = \text{Energia gerada (MWh)} * \text{Preço de venda (R$/MWh)}$$

Os valores projetados para geração bruta são obtidos através da soma das gerações mensais de energia ao longo de um ano, levando em conta um fator de degradação dos módulos fotovoltaicos. Para o projeto, optou-se por definir uma degradação anual constante de 0,75%, de forma a atrelar os resultados ao fabricante da placa.

O preço de venda será refletido no custo de consumo da energia elétrica no Distrito Federal, uma vez que a geração de energia dentro da usina fotovoltaica pode abastecer, por exemplo, o projeto de bombeamento e reinjeção da pluma, que possui alto consumo elétrico. Dessa forma, os valores e previsões foram feitos projetando a tarifa energética para os próximos 15 (quinze) anos com base nos dados do Relatório da Evolução das Tarifas Residenciais da ANEEL (Figura 16).

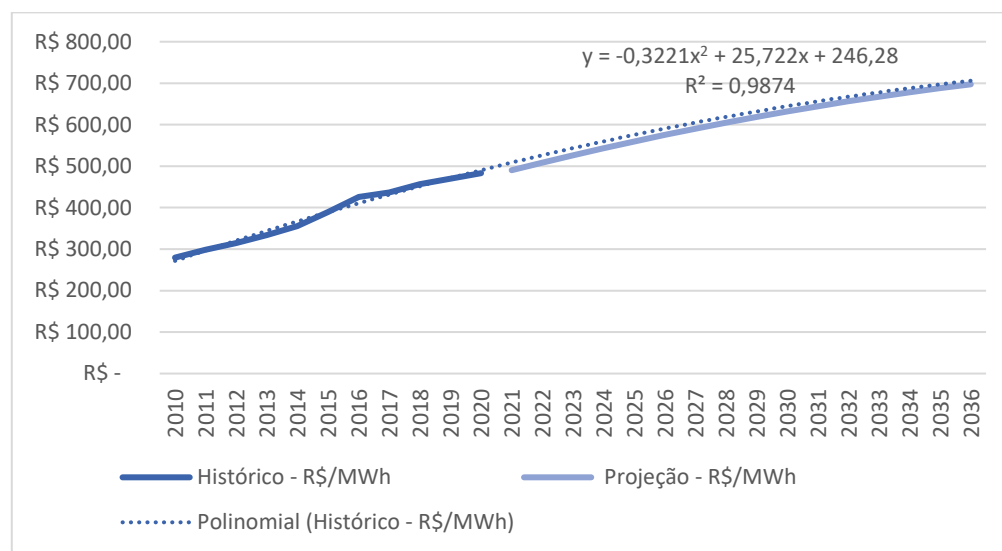


Figura 25 - Histórico e projeção de tarifa em R\$/MWh (2010-2036).

Custos de Operação (OPEX)

Segundo Silva (2015) plantas solares fotovoltaicas, sobretudo as conectadas à rede, requerem manutenção e operação. Dessa forma, segundo este mesmo autor, uma estimativa comum para o custo anual de operação nas análises é de 1% do CAPEX. Logo, este será o valor utilizado neste projeto.

Depreciação

Em termos de fluxo de caixa, uma empresa que realiza um investimento pesado, tem de imediato o desembolso relativo ao investimento feito, mas somente terá a entrada de caixa gerada por este investimento em um segundo momento. Em termos de competência, esse desembolso relativo ao investimento deverá ser atrelado à receita gerada ao longo da vida útil do investimento. Surge desta forma, a figura da depreciação.

O cálculo da depreciação envolve o investimento feito e o período de tempo durante o qual se entende que haverá geração de receita por conta do investimento realizado. Ela representa o investimento realizado distribuído ao longo do tempo de depreciação estabelecido por lei, durante o período no qual o ativo será capaz de gerar receitas. Essa é a chamada depreciação linear, que é amplamente usada pelas empresas. Assim, apesar do cálculo da

depreciação ser extremamente simples, é necessário projetar todo o plano de investimentos da empresa para suportar o plano de expansão de receitas.

Na Tabela 14 é demonstrada a perda de valor contábil ao longo do tempo com base na IN-SRF nº 162/1998.

	Taxa de Depreciação	Vida Útil (Anos)
Painéis Fotovoltaicos	4%	25
Inversores de frequência	10%	10
Caixas de controle	10%	10
Transformador	10%	10
Cabos e Proteções	10%	10
Sistema de Fixação	10%	10
Demais custos	10%	10

Tabela 14 - Depreciação contábil dos bens envolvidos.

Resultados Projetados

Como muitas são as variáveis para as simulações do modelo econômico, algumas delas que não foram expostas para as análises são destacadas a seguir:

- Geração: 5.999,05 MWh por ano com uma variação negativa de 0,75% por conta da degradação dos painéis fotovoltaicos;
- Impostos sobre venda: 11,5% da Receita Bruta.

Inserindo na ferramenta desenvolvida no Microsoft Excel, as premissas anteriores, foram calculados os Fluxos de Caixa do Ativo presente na Tabela 15, com respectivos índices de Taxa Interna de Retorno (TIR), ponderado pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e período de pagamento do investimento (*payback*), assim como o Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa.

Taxa Interna de Retorno	5,60%
Valor Presente Líquido a 12%	0
Período de <i>Payback</i>	10,70 Anos
VPL (2,75%)	R\$ 6.892.998,41
TIR Descontado (TMA - 2,75%a.a.)	5,25%
<i>Payback</i> Descontado	10,89

Tabela 15 - Índices de retorno de investimento.

A Tabela 16 mostra o fluxo de caixa descontado a partir da instalação e operação do complexo de usina fotovoltaica por um período de 15 anos.

Fluxo de Caixa com Geração Interna de Recursos (Projeto)								
Fluxo de Caixa com Geração Interna de Recursos (Projeto)								
Demo. Resultado e Fluxo de Caixa	Atual	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Receita Bruta	-	2.941.021,66	3.048.598	3.152.153	3.251.695	3.347.233	3.438.775	3.526.331
Impostos s/ faturamento	-	(338.217)	(350.589)	(362.498)	(373.945)	(384.932)	(395.459)	(405.528)
Receita Líquida	-	2.602.804,17	2.698.009	2.789.656	2.877.750	2.962.301	3.043.316	3.120.803
Custos e Despesas Operacionais	-	192.762	192.762	192.762	192.762	192.762	192.762	192.762
Depreciação/Exaustão/Amortização	-	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)
Lucro Operacional	-	2.090.143,48	2.185.349	2.276.995	2.365.089	2.449.640	2.530.655	2.608.143
Juros sobre Financiamentos	-	(5.565.426)	(4.779.994)	(3.461.375)	(1.236.205)	-	-	-
Lucro Líquido	-	(3.475.282)	(2.594.645)	(1.184.380)	1.128.884	2.449.640	2.530.655	2.608.143
(+) Depr./Exaustão/Amort.	-	705.423	705.423	705.423	705.423	705.423	705.423	705.423
Fluxo de Caixa Bruto	-	(2.769.859,28)	(1.889.222,46)	(478.957,34)	1.834.306,97	3.155.063,32	3.236.078,46	3.313.565,61
(-) Investimentos	19.276.230	-	-	-	-	-	-	-
Fluxo de Caixa Líquido	(19.276.230)	(2.769.859,28)	(1.889.222,46)	(478.957,34)	1.834.306,97	3.155.063,32	3.236.078	3.313.566
Fluxo de Caixa Acumulado		(22.046.089,16)	(23.935.312)	(24.414.269)	(22.579.962)	(19.424.899)	(16.188.820)	(12.875.255)

Tabela 16 - Fluxo de caixa descontado.

	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	
	3.609.910	3.689.520	3.765.169	3.836.868	3.968.446	4.028.343	4.025.322	4.084.324	
Demo. Resultado e Fluxo de Caixa	(415.140)	(424.295)	(432.994)	(441.240)	(456.371)	(463.259)	(462.912)	(469.697)	
Receita Bruta	3.194.770	3.265.225	3.332.175	3.395.628	3.512.074	3.565.083	3.562.410	3.614.627	
Impostos s/ faturamento	192.762	192.762	192.762	192.762	192.762	192.762	192.762	192.762	
Receita Líquida	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	(705.423)	
	2.682.110	2.752.564	2.819.514	2.882.967	2.999.414	3.052.423	3.049.749	3.101.966	
Custos e Despesas Operacionais	-	-	-	-	-	-	-	-	
Depreciação/Exaustão/Amortização	2.682.110	2.752.564	2.819.514	2.882.967	2.999.414	3.052.423	3.049.749	3.101.966	
Lucro Operacional	705.423	705.423	705.423	705.423	705.423	705.423	705.423	705.423	
Juros sobre Financiamentos	3.387.532.58	3.457.987.14	3.524.937.09	3.588.390.17	3.704.836.78	3.757.845.77	3.755.171.96	3.807.388.85	
Lucro Líquido	-	-	-	1	2	3	4	5	
(+) Depr./Exaustão/Amort.	3.387.533	3.457.987	3.524.937	3.588.389	3.704.835	3.757.843	3.755.168	3.807.384	
Fluxo de Caixa Bruto	(9.487.722)	(6.029.735)	(2.504.798)	1.083.591	4.788.426	8.546.269	12.301.437	16.108.821	
(-) Investimentos									
Fluxo de Caixa Líquido									
Fluxo de Caixa Acumulado									

Tabela 16 (cont.) - Fluxo de caixa descontado.

Analisando os resultados apresentados pela tabela de índices de retorno do investimento, nos proporciona uma visão de maior segurança em relação ao retorno do investimento em uma fonte de geração fotovoltaica na área do antigo lixão da estrutural. O Valor Presente Líquido é de R\$ 6.892.998,41, com uma taxa de retorno de 5,60% e um tempo de retorno para o investimento de 10,7 anos.

Logo, o que é possível extrair deste trabalho é que existem muitas oportunidades no setor fotovoltaico. Nesse contexto, caso haja um domínio maior da tecnologia fotovoltaica em conjunto com uma mão de obra mais qualificada, será possível garantir melhor desempenho do sistema e com isso, diminuir o risco do investimento, atraindo melhores condições de financiamento.

Além de tudo, é essencial destacar que este estudo é apenas uma estimativa para os valores reais de um empreendimento deste porte. Durante o trabalho foram feitas muitas considerações que podem se tornar falsas ou pouco ajustadas ao longo dos anos ou mesmo inválidas, dependendo da metodologia de projeto a ser utilizada. Como exemplo, cita-se o custo estimado dos cabos, dos sistemas de proteção, da fixação e demais custos, que foram calculados com base em Silva (2015) e Gobbo (2018).

Por fim, um dimensionado mais detalhado do sistema pode refletir em uma estrutura de custos mais realista, podendo assim, alterar a atratividade do investimento. Portanto, como ideia para um futuro trabalho seria realizar um estudo mais aprofundado e específico para atender quaisquer outros requisitos que não foram considerados neste projeto para melhorar a estimativa da viabilidade de um sistema deste porte.

7. AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO DE FÁBRICA DE RECICLAGEM

7.1 Introdução

Esta seção tem como objetivo a elaboração de estudo para verificar a viabilidade de implantação de uma empresa de reciclagem na atual área do Lixão da Estrutural. O estudo seguirá o padrão referente ao da Usina Fotovoltaica de método de Fluxo de Caixa Descontado, para avaliar a economicidade do projeto e sua viabilidade econômico-financeira.

Para a determinação do tipo de usina de reciclagem, foi escolhido o plástico como insumo principal, por motivos que serão a seguir explicitados. Para cada tonelada de material reciclado produzido, reduz-se 1,1 tonelada em média de resíduo plástico disposto em aterro, gerando emprego de 3,16 catadores que recolhem esse volume de material no mês. De acordo com dados disponibilizados pela Abiplast, o Brasil produziu em 2019 cerca de 838,5 mil toneladas de

resinas plásticas pós-consumo recicladas, com um índice de reciclagem de 24% (Abiplast, 2020).

A indústria da reciclagem de materiais plásticos é responsável por transformar resíduos plásticos pós-industrial e pós-consumo novamente em resinas. O processo consiste em fragmentar os resíduos - produtos descartados em residências, bares e restaurantes, comércio em geral e indústrias - separá-los por tipo e lavá-los. A separação é parte fundamental, pois, dependendo da mistura dos resíduos, a resina resultante reciclada pode não ter a qualidade exigida no mercado e, portanto, não ter valor comercial. Após a secagem dos fragmentos, eles são extrudados resultando nos grânulos que são as resinas plásticas recicladas.

Apesar de parecer um processo simples de transformação, a indústria de reciclagem necessita de oferta de resíduos, contando que os diversos produtos descartados cheguem até ela, além da necessidade de produtos com maior reciclabilidade, que possam ser aplicados em soluções de valor adicionado, possuindo então valor de mercado, e tecnologia para tornar o processo cada vez mais eficaz e preciso. Com isso, não somente a reciclagem ganha, mas todos os elos da cadeia que contam com a geração de renda e demanda por estes materiais.

7.2 Tipos de Reciclagem

Reciclagem Química

A reciclagem química reprocessa produtos plásticos, transformando-os em petroquímicos básicos que servem como matéria prima para refinarias ou centrais petroquímicas. Seu objetivo é a recuperação dos componentes químicos individuais para reutilizá-los como produtos químicos ou para a produção de novos plásticos. Os novos processos desenvolvidos de reciclagem química permitem a reciclagem de misturas de plásticos diferentes, com aceitação de determinado grau de contaminantes como, por exemplo, tintas, papéis, entre outros materiais. Dentre os processos existentes, destacam-se: Hidrogenação; Gaseificação; Quimólise e Pirólise.

Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica, por sua vez, é a conversão de lixo plástico por um processo ou combinação de operações. Os materiais que se inserem nesta classe provêm de lixões, coletas seletivas etc. São constituídos dos mais diversos tipos de materiais e exigem boa separação para aproveitamento. Os processos de reciclagem mecânica são: separação; moagem; lavagem; aglutinação e extrusão.

Reciclagem Energética

A reciclagem energética é a recuperação da energia contida nos materiais plásticos por processos térmicos. O processo se distingue da incineração por utilizar resíduos plásticos como

combustível para energia elétrica, onde 1 kg de plástico possui energia contida equivalente à de 1 kg de óleo combustível.

7.3 Mercado de Reciclagem de Plástico

De acordo com o índice da Indústria de Reciclagem Mecânica de Plástico (IRmP), o índice de plástico reciclado pós-consumo cresceu em 2019 (Sindiplast, 2020) e concomitantemente houve uma queda do número de empresas recicladoras e empregos diretos, mas um aumento no faturamento de R\$ 2,4 para R\$ 2,5 milhões entre 2018 e 2019. A capacidade instalada permaneceu constante, mas houve uma redução do índice de capacidade ociosa de 39% para 38%.

A maioria do plástico reciclado tem origem no pós-consumo doméstico (52,5%). O restante é dividido entre pós-consumo não doméstico e resíduo pós-industrial (19,5% e 28% respectivamente). A matéria-prima chegou aos recicladores por meio das próprias indústrias plásticas (28%), sucateiros (26%), beneficiadores (17%), cooperativas (12%), empresas de gestão de resíduos (8%), catadores (4%), direto da fonte geradora (3%) e de aterros (2%).

De 2018 para 2019 houve um aumento de 8,5% do índice de reciclagem pós-consumo (Agência Brasil, 2021). Os dados fazem parte do Plano de Incentivo à Cadeia do Plástico (PICPlast), com parceria entre a Abiplast, Braskem e MaxiQuim. A região Sudeste foi responsável por cerca de 52% da produção de toneladas de plástico reciclado, enquanto a região Centro-Oeste produziu cerca de 5%.

7.4 Segmento de Mercado

O segmento de mercado escolhido para a empresa potencial proposta por este projeto, foi o de reciclagem mecânica de plástico dos tipos PEAD, PEBD, PP e PS (Figura 17). A escolha justifica-se por esses tipos de plásticos apresentarem elevada demanda no mercado e possuírem valores que justifiquem a economicidade do projeto. Outros fatores que favorecem a reciclagem dessas resinas são seus valores de mercado que trazem boa rentabilidade. Outro ponto importante é que todos podem ser reciclados pelo processo de reciclagem mecânica, ou seja, podem ser processados pelos mesmos equipamentos e mesmo processo produtivo, assim a empresa terá disponível quatro tipos de produtos, o que pode beneficiá-la tanto no mercado, quanto no processo produtivo, no caso de uma possível falta de algum dos tipos de matéria prima, a produção não sofre interrupções.

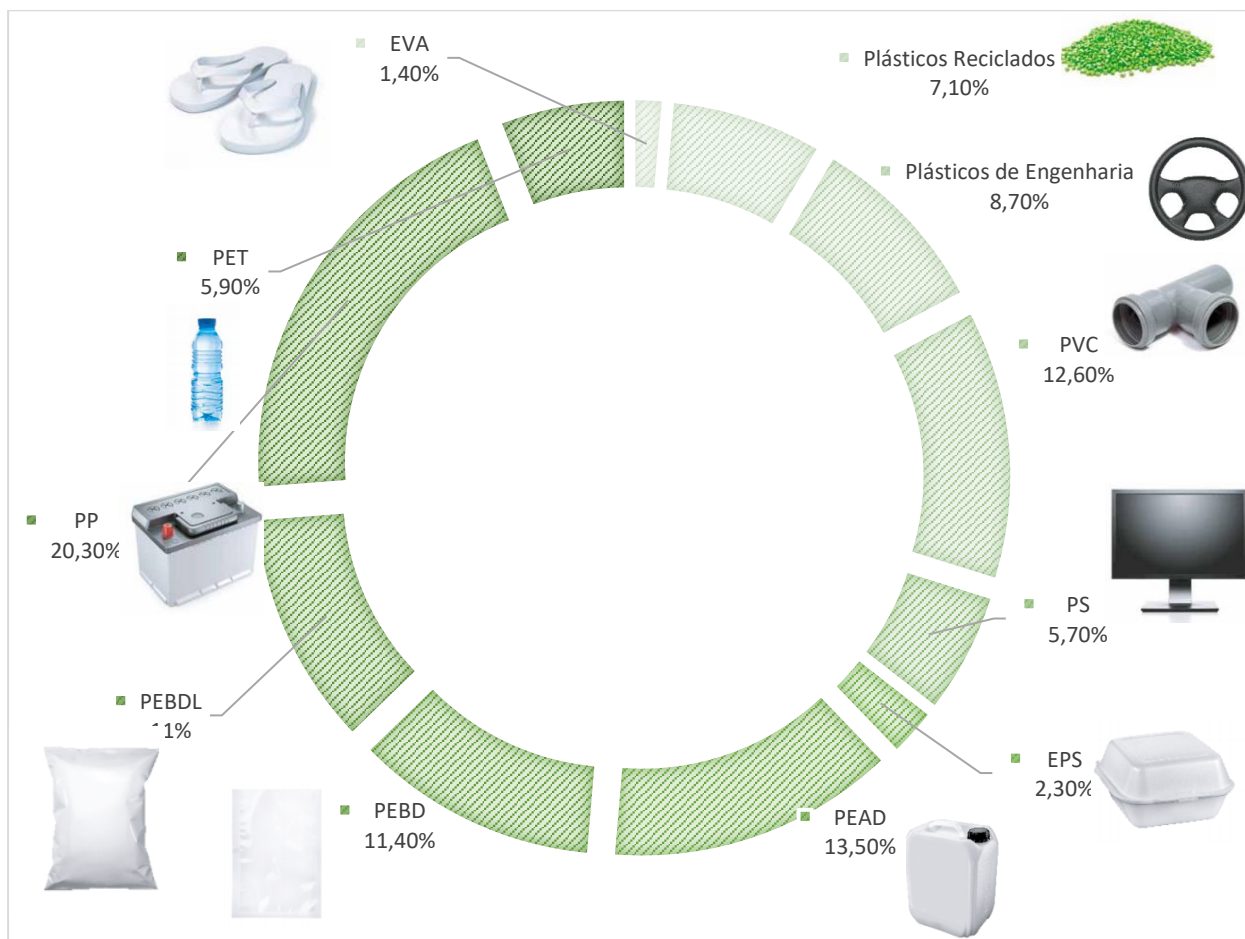


Figura 26 - Principais resinas consumidas no Brasil (%) e exemplos de aplicações. Fonte: Abiplast (2018).

7.5 Análise da Concorrência

Segundo levantamento da Abiplast, em 2019, o Distrito Federal contava, com 8 empresas no setor de reciclagem de material plástico, sendo que este dado foi obtido a partir de informações da RAIS e CAGED. Em 2019, se encontravam em funcionamento 1.073 empresas no Brasil, sendo que 29,2% eram estabelecidas somente no estado de São Paulo e cerca de 75% encontravam-se nas regiões Sul-Sudeste. O Distrito Federal abrigava somente 0,7% dos estabelecimentos totais, como pode ser observado na Figura 18.

Mesmo se considerando o novo cenário que se estabeleceu no Distrito Federal a partir da inauguração em dezembro de 2020 do Complexo Integrado de Reciclagem, que compõe um grande complexo de reciclagem com gestão compartilhada entre o poder público e cooperativas de catadores, não se descarta a possibilidade de se implantar uma nova estrutura mais compacta, inclusive com fornecimento de matéria prima oriunda da região do entorno próximo ao Distrito Federal, com destaque para Planaltina de Goiás, Águas Lindas de Goiás, Valparaíso de Goiás (e regiões vizinhas).

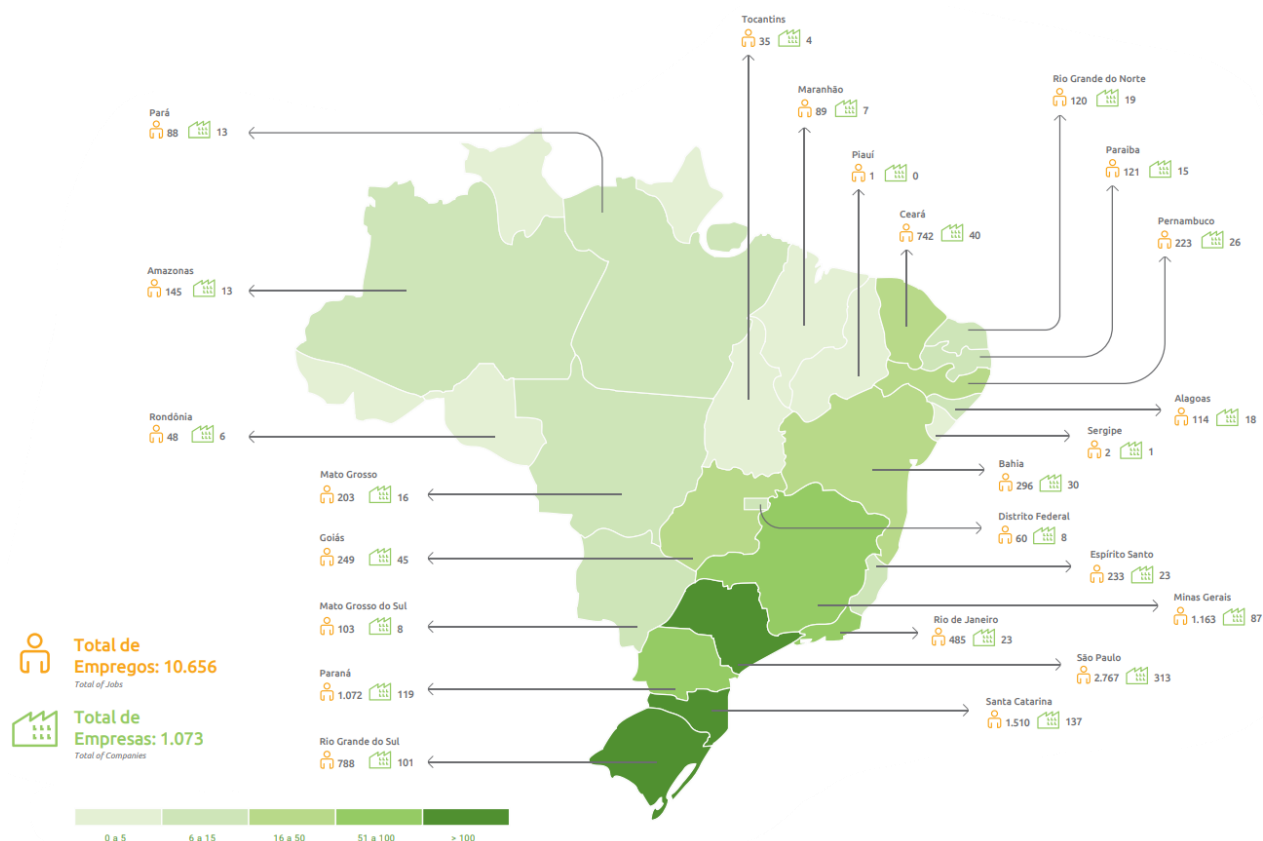


Figura 27 - Localização das empresas e empregos no setor de reciclagem de material plástico, por Estado. Empresas (2018), Empregos (2019). Fonte: Extraído de Abiplast (2019).

A produção brasileira de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo, em 2018, apresentou leve alta em relação a 2017, conforme demonstrado no gráfico da Figura 19.

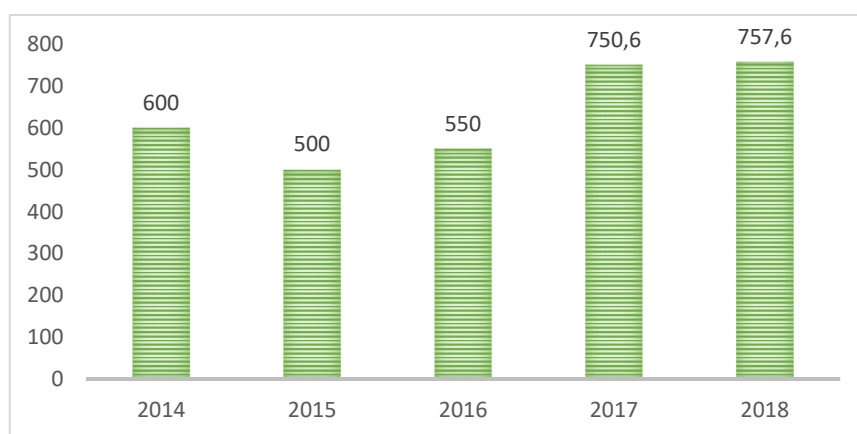


Figura 28 - Produção brasileira de resina plástica pós-consumo reciclada (em milhares de toneladas). Fonte: Abiplast (2019).

O processo de reciclagem mecânica pode ser separado em três tipos de procedimento produtivo: moagem e lavagem, extrusão e processo completo. As empresas recicladoras de plástico especializadas no processo de moagem e lavagem geralmente são empresas de pequeno porte e seus processos produtivos são de baixa complexidade, com baixo custo de produção, mas

constante mão de obra. O produto resultante do processo de moagem é bem mais barato que o produto granulado final e possuem dificuldade de manejo do produto dentro da fábrica onde o processo de carga e descarga geralmente é efetuado manualmente pelos funcionários.

As empresas que realizam o processo de extrusão têm em seu favor a agilidade do processo de produção, com equipamento exigindo pouco espaço e mão de obra. Essas empresas normalmente têm que analisar a matéria prima de seus fornecedores (empresas de moagem e lavagem). As empresas que realizam o processo completo são geralmente empreendimentos de grande porte, com maior estrutura organizacional. O preço do produto resultante desse processo possui um valor de mercado maior, porém com alto custo de produção.

O fluxo de reciclagem mecânica de materiais plásticos pode ser sumariado no organograma da Figura 20.

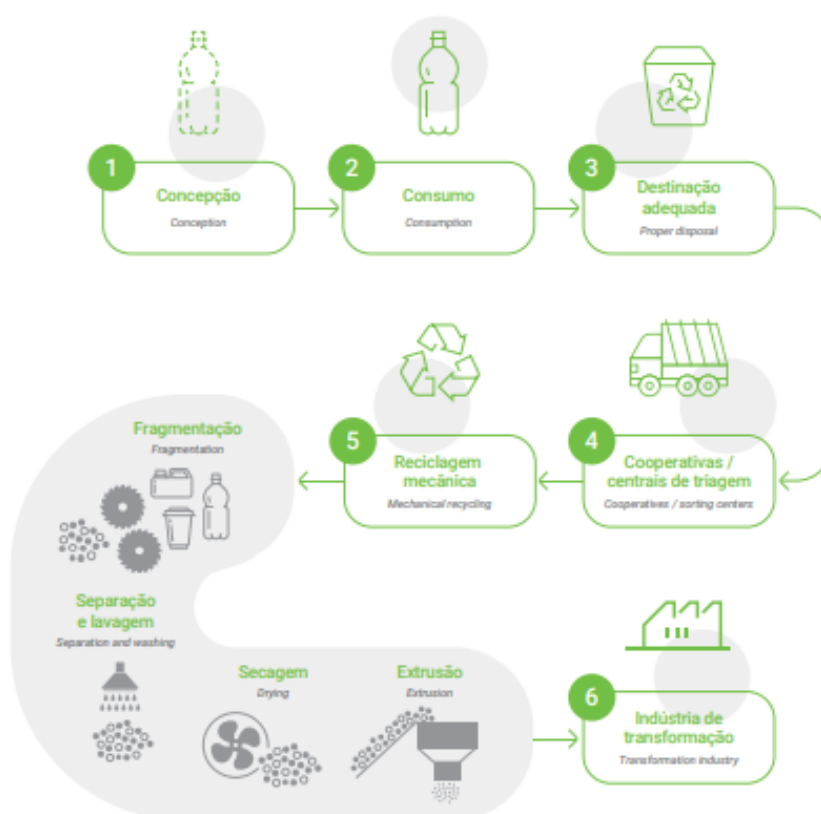


Figura 29 - Fluxo de Reciclagem de Materiais Plásticos. Fonte (Abiplast, 2019).

7.6 Mercado Consumidor

A indústria de reciclagem de plástico é fornecedora de matéria prima para a indústria de transformação do plástico no país. Os possíveis mercados que demandam plástico reciclado por parte de utilidades domésticas, construção civil, automobilístico, descartáveis, industrial, têxtil, agropecuária, eletrodomésticos, entre outros.

O principal mercado consumidor por resina plástica pós-consumo reciclada (PCR), em volume % é de (Abiplast, 2020):

- PET - 27% para higiene pessoal e limpeza doméstica
- PP - 37% para utilidades domésticas
- PEDB/L - 25% para agroindústria
- PEAD - 30% para construção civil
- PS - 27% para brinquedos
- EPS - 78% para construção civil
- PVC - 30% para construção civil

A Tabela 17 e a Figura 22 apresenta a cotação do plástico reciclado. O valor foi obtido através da compilação de informações das empresas RECICLA BsB, ACOBRAZ, Associação dos Catadores da Vila Estrutural, Cooperativa de Catadores do DF e PLASFERRO do mês de abril de 2021, através de dados de análises gravimétricas.

	Preço Máximo	Preço Mínimo	Preço Mercado
PEAD	R\$ 6,50	R\$ 2,35	R\$ 5,13
PEBD	R\$ 2,48	R\$ 0,15	R\$ 1,88
PP	R\$ 5,68	R\$ 1,50	R\$ 4,35
PS	R\$ 5,75	R\$ 1,58	R\$ 4,43

Tabela 17 - Cotação do plástico reciclado (Diferentes fontes de dados).

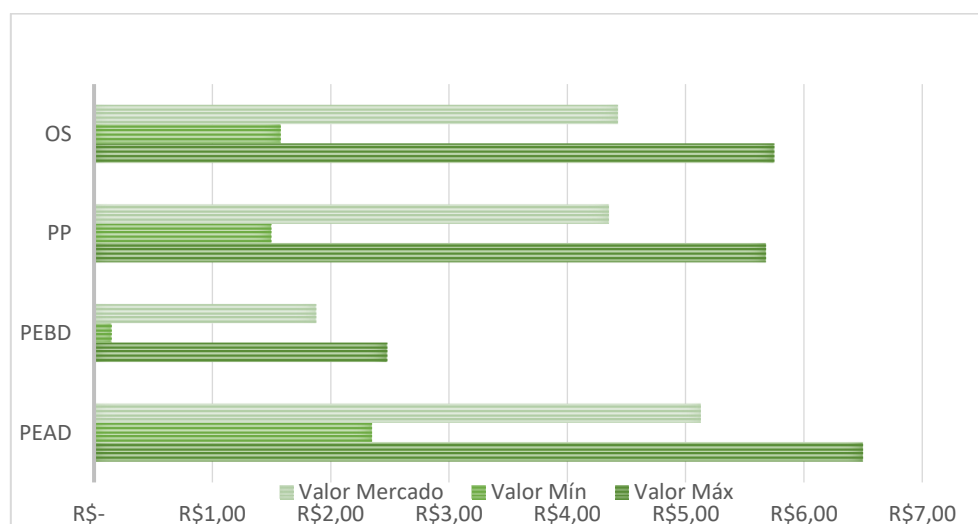


Figura 30 - Variação do preço das diferentes resinas plásticas consideradas no estudo.

O valor de mercado foi obtido através da participação de mercado e da produção mensal, os quais foram, portanto, adotados para o modelo de fluxo de caixa.

7.7 Projeto de Centro de Reciclagem

A tecnologia a ser adotada no processo produtivo são máquinas que atendam a proposta da empresa em reciclar os modais de plástico selecionados visando eficiência do processo produtivo e qualidade do produto, a fim de agregar valor à empresa e ao produto. Os equipamentos empregados no processo produtivo serão avaliados a seguir, no CAPEX.

Estimativas de Custos de Investimento (CAPEX)

Os equipamentos a serem empregados no processo produtivo comporão o investimento inicial do projeto. Estes equipamentos são: o moinho; tanque de decantação; secadora; aglutinador; extrusor e a ponte rolante.

O moinho tem como função triturar e/ou moer o material a ser reciclado (Figura 23). O processo realizado pelo moinho é o que exige maior consumo energético entre todos os equipamentos.



Figura 31 - Ilustração de moinho para reciclagem de plásticos da fabricante Plastimax Máquinas.

O tanque de decantação (Figura 24) foi projetado para proporcionar a decantação das impurezas contidas no material processado (PP / PEAD / PEBD), desde resíduos em geral até outros tipos de plásticos que possuam densidades maiores que a água. Possui os chamados “batedores” que provocam turbulência na superfície da água proporcionando a desagregação das impurezas.



Figura 32 - Vista de um tanque de decantação da fabricante Plastimax Máquinas.

A secadora (Figura 25) é utilizada para retirada da umidade contida nos plásticos após o processo de moagem, lavagem e descontaminação e, além disso, o próprio equipamento possui sistema de formação de “ciclone” que envia o material até o local onde serão pré-armazenados, evitando a necessidade de um exaustor.



Figura 33 - Exemplo de secadora utilizada em reciclagem de materiais plásticos da fabricante Plastimax Máquinas.

Os aglutinadores (Figura 26) são responsáveis por aquecer, misturar, desumidificar e/ou aglutinar (unir, agrupar) a matéria plástica a ser processada. Esta etapa é extremamente importante, pois visa facilitar entrada de material no processo de extrusão e facilitar seu aquecimento no canhão. Uma aglutinação mal executada será responsável por uma redução considerável da produtividade da sua linha de recuperação dentre outros problemas.



Figura 34 - Vista geral de um aglutinador de plástico reciclado, da Plastimax Máquinas.

A extrusora é o equipamento que realiza a fusão do plástico a fim de torná-lo homogêneo, além de também realizar a granulação do plástico (Figura 27).



Figura 35 - Exemplo de extrusora utilizada na reciclagem de material plástico (Plastimax Máquinas).

A ponte rolante é uma máquina de elevação semelhante a um guindaste, que fará a carga e a descarga de produto reciclado e da matéria prima (Figura 28).



Figura 36 - Exemplo de ponte rolante utilizada para inúmeras aplicações industriais (marca Logismarket).

Com os equipamentos descritos acima, o projeto terá capacidade de produção de 500 kg de plástico reciclado por hora, possibilitando uma produção mensal de 80 toneladas considerando 8 horas de trabalho por dia e 20 dias por mês.

Os investimentos são classificados em Investimento em Imóvel, Investimento em Equipamentos (Máquinas, Veículos e Utensílios Gerais - 10%), Licenças e Registro e Capital de Giro (Tabela 18). As licenças e registro compreendem o registro na junta comercial, licenças gerais, taxas e alvarás, licenças ambientais, entre outros. O capital de Giro diz respeito aos gastos operacionais necessários para iniciar as atividades de uma empresa, contabilizando uma reserva técnica, pagamento de salários e o pagamento dos insumos necessários para a produção.

Discriminação	Valor
1) Investimento em Imóvel	331.650,00
2) Investimento em equipamentos	844.000,00
<i>Investimentos em máquinas e equipamentos</i>	720.000,00
Ponte rolante	40.000,00
Moinho	40.000,00
Tanque de decantação	10.000,00
Esteira	10.000,00
Secadora	35.000,00
Aglutinadora	35.000,00
Extrusora	550.000,00
Móveis de escritório	4.000,00
Veículos (caminhão usado)	48.000,00
Utensílios gerais	72.000,00
<i>Obras e Instalações</i>	331.650,00
Projeto do Pavilhão	11.650,00
Estrutura de concreto armado ou metálica	175.000,00
Alvenaria	38.000,00
Cobertura	30.000,00
Revestimento	30.000,00
Esquadrias	18.000,00
Instalações elétricas e hidrossanitárias	14.000,00
3) Licenças e registros	11.000,00
4) Capital de giro	920.978,91
TOTAL	2.107.628,91

Tabela 18 - Fluxo de investimento de capital (Capex) para implantação de uma fábrica de reciclagem de pequeno porte.

Estimativa de Custos de Operação (OPEX)

O OPEX será inicializado com o cálculo do custo da mercadoria vendida. Os valores de compra de mercadoria foram calculados com base em Trindade (2015) e, para meio de simplificação, a composição da produção será dedicada igualmente para cada produto. Dessa forma, cada produto participará em 25% do custo da mercadoria vendida, assim como 25% do produto final comercializado.

Para início de atividade, foi estimada uma utilização da capacidade de 61% (a partir de dados de capacidade ociosa da Abiplast), com aumento de 2,5% ao ano, até necessidade de novo investimento e ampliação de capacidade. O financiamento da estrutura de capital foi estimado para compreender 33% de capital próprio (a “juros” de 24%), 40% financiado pelo BNDES, a juros de 4,03% a.a. e 27% financiado por banco comercial, a juros de 9% a.a. Utilizando o custo médio ponderado do capital ao ano, a taxa de financiamento é estimada em 12%. O prazo de pagamento é de 60 meses.

A vida útil de máquinas e equipamentos foi estimada em 10 anos, com custo de manutenção de 5% e para o imóvel, foi estimada uma vida útil de 10 anos, com custo de manutenção de 2%. Ambas possuem seguro no valor de 1% do total. O custo mensal de mão de

obra contará com seis funcionários, um motorista, um supervisor de produção e quatro auxiliares de produção e demais custos em relação aos encargos exigidos por lei. Ademais, deverá ser contratado, de forma terceirizada, serviço de limpeza, de contabilidade e segurança.

Os valores de custos e receitas operacionais mensais referentes ao primeiro ano de atividades encontram-se discriminados na Tabela 19.

Custos e Receitas Operacionais		
Receita	Preço Médio (R\$ 3,52) x Produção Média Mensal (50 toneladas)	Receita Mensal (Ano 1) = R\$ 176.225,00
Custo de Mercadoria Vendida	Preço Médio dos Insumos Diretos (R\$ 1,47) x Quantidade de Insumos (50 toneladas)	Despesa Mensal (Ano 1) = R\$ 73.500,00
Despesas Administrativas	Água, Energia, Materiais de Expediente	Despesa Mensal (Ano 1) = R\$ 5.250,00
Despesas Com Terceiros	Limpeza, Contabilidade, Segurança	Despesa Mensal (Ano 1) = R\$ 4.700,00
Depreciação Manutenção e Seguros		Despesa Mensal (Ano 1) = R\$ 11.253,34
Mão de Obra e Encargos		Despesa Mensal (Ano 1) = R\$ 26.550,48
Impostos	Simples Nacional (Imposto Sobre Faturamento Bruto, 14,7%)	Despesa Mensal (Ano 1) = R\$ 25.905,08

Tabela 19 - Projeção dos custos de operação (OPEX) da fábrica de reciclagem de plástico por um ano.

Resultados Projetados

Inserindo na ferramenta desenvolvida no Microsoft Excel, as premissas anteriores, foram calculados os Fluxos de Caixa do Ativo presente na Tabela 20, com respectivos índices de Taxa Interna de Retorno (TIR), ponderado pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e período de pagamento do investimento (*payback*), assim como o Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa.

Taxa de Retorno	11,58%
Período de <i>Payback</i>	6,18 anos
VPL (2,75%)	1.575.767,46
TIR Descontado (TMA 2,75% a.a.)	11,12%
<i>Payback</i> Descontado	6,28

Tabela 20 - Índices de retorno de investimento.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 21 dos índices de retorno do investimento, é possível uma visão de maior segurança em relação ao retorno do investimento em um centro de reciclagem na área do antigo Lixão da Estrutural. O VPL é de R\$ 1.575.676,46, com uma taxa de retorno de 11,58% e um período de retorno para o investimento de 6,18 anos.

Fluxo de Caixa com Geração Interna de Recursos (Projeto)								
	Atual	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Receita Bruta	-	2,114,700.00	2,167,568	2,221,757	2,277,301	2,334,233	2,392,589	2,452,404
Impostos s/ faturamento	-	(310,861)	(318,632)	(326,598)	(334,763)	(343,132)	(351,711)	(360,503)
Receita Líquida	-	1,803,839.10	1,848,935	1,895,158	1,942,537	1,991,101	2,040,878	2,091,900
Custos e Despesas Operacionais	-	(1,333,805.70)	(1,358,586)	(1,392,995)	(1,428,580)	(1,465,381)	(1,503,439)	(1,542,799)
Depreciação/Exaustão/Amortização	-	(135,040)	(135,040)	(135,040)	(135,040)	(135,040)	(135,040)	(135,040)
Lucro Operacional	-	334,993.40	355,309	367,124	378,918	390,680	402,399	414,061
Juros sobre Financiamentos	-	(157,650)	(127,039)	(88,133)	(31,476)	-	-	-
Lucro Líquido	-	177,344	228,270	278,991	347,442	390,680	402,399	414,061
Imposto s/ Lucro	-	(11,793)	(15,180)	(18,553)	(23,105)	(25,980)	(26,760)	(27,535)
(+) Depr./Exaustão/Amort.	-	135,040	135,040	135,040	135,040	135,040	135,040	135,040
Fluxo de Caixa Bruto	-	300,590.30	348,129.95	395,477.80	459,376.76	499,740.02	510,679.59	521,566.28
(-) Necessidade de Capital de Giro	-	543,353.91	13,228.26	22,568.72	(23,448.28)	(24,360.86)	(25,307.68)	(26,290.00)
(-) Investimentos	2,107,629	-	-	-	-	-	-	-
Fluxo de Caixa Líquido	(2,107,629)	(242,763.61)	334,901.69	372,909.08	482,825.04	524,100.88	535,987	547,856
Fluxo de Caixa Acumulado		(2,350,392.51)	(2,015,491)	(1,642,582)	(1,159,757)	(635,656)	(99,669)	448,188

Fluxo de Caixa com Geração Interna de Recursos (Projeto)			
	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Receita Bruta	2,513,714	2,576,557	2,640,971
Impostos s/ faturamento	(369,516)	(378,754)	(388,223)
Receita Líquida	2,144,198	2,197,803	2,252,748
Custos e Despesas Operacionais	(1,583,505)	(1,625,602)	(1,669,140)
Depreciação/Exaustão/Amortização	(135,040)	(135,040)	(135,040)
Lucro Operacional	425,653	437,160	448,568
Juros sobre Financiamentos	-	-	-
Lucro Líquido	425,653	437,160	448,568
Imposto s/ Lucro	(28,306)	(29,071)	(29,830)
(+) Depr./Exaustão/Amort.	135,040	135,040	135,040
Fluxo de Caixa Bruto	532,387.34	543,129.30	553,777.96
(-) Necessidade de Capital de Giro	(27,309.11)	(28,366.37)	(29,463.16)
(-) Investimentos	-	-	-
Fluxo de Caixa Líquido	559,696	571,496	583,241
Fluxo de Caixa Acumulado	1,007,884	1,579,380	2,162,621

Tabela 21 - Fluxo de caixa descontado para a instalação de uma fábrica de reciclagem de plástico.

É importante destacar, que para questões de simplicidade, a composição do produto vendido e do insumo consumido não considerou a melhor relação custo-benefício nem a maximização do retorno sobre o processo produtivo, cabendo um maior espaço para se aumentar a rentabilidade (Domingues, 2009).

Quando comparado com a planta fotovoltaica, a rentabilidade do projeto de centro de reciclagem é duas vezes maior. No entanto, o valor bruto arrecadado pela usina fotovoltaica no longo prazo é superior ao do centro de reciclagem.

8. INVESTIMENTOS EM SEGURANÇA

A região em que o Lixão da Estrutural foi desenvolvido e onde atualmente se dá a operação da Unidade de Recebimento de Entulhos apresenta problemas ligados à falta de segurança e violência. Este quadro provavelmente se deve ao histórico de ocupação da área e à sua posição geográfica. A área sempre foi utilizada para descarte de veículos furtados, que após a retirada dos componentes de maior valor são queimados nas áreas adjacentes ao lixão ou até mesmo no interior da poligonal do Parque Nacional de Brasília. No período de execução deste projeto foi possível testemunhar pelo menos seis ocorrências deste tipo.

A existência da comunidade de “Santa Luzia” é outro fator que infelizmente amplia o problema, pois há inúmeros registros de violência contra a pessoa, vandalismo, furtos e roubos que são cometidos por residentes naquela área de ocupação irregular.

A insegurança na região é um entrave a toda e qualquer iniciativa que vise à remediação dos impactos ambientais, pois a maior parte das ações requer instalação de infraestrutura e equipamentos que apresentam valores de mercado elevados.

Por exemplo, a instalação das baterias de poços e todos os acessórios (redes elétricas, bombas, cabos, quadros de energia, etc.), não pode ser viabilizada sem os investimentos prévios em segurança. Caso contrário, em um mínimo intervalo de tempo prevê-se a perda dos equipamentos por furtos e vandalismos. Esta afirmação é baseada na experiência de desenvolvimento do presente estudo. Parte dos poços de monitoramento foi vandalizada com a quebra dos sistemas de tamponamento e proteção e até manilhas de concreto foram totalmente estilhaçadas (mesmo sem nenhum valor aparente).

Até mesmo o processo de recomposição da vegetação nativa deve ser protegido por sistemas eficientes de cercamento e aceiros, pois a passagem constante de pessoas e acesso de animais (cavalos) já causou a perda de várias espécies plantadas (por queima, ou simples quebra de árvores já em amplo desenvolvimento).

No caso de se utilizar a área para geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos a questão da segurança seria uma variável limitante, pois os furtos inviabilizariam qualquer iniciativa. Esta afirmação também é baseada na experiência acumulada durante a execução deste projeto, em que foram furtados equipamentos de medição de nível de água em poços, a piscina de vinil utilizada para o experimento de *wetland* e baterias estacionárias durante a perfuração dos poços de monitoramento. Além dos furtos de equipamentos as equipes de técnicos do Serviço de Limpeza Urbana - SLU e do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio que trabalham na região relataram inúmeros casos de furtos e roubos a pesquisadores ocorridos na região. Da mesma forma, as cercas são constantemente cortadas para acesso, tanto na área do Lixão, quanto na região do Parque Nacional de Brasília.

A falta de segurança e os riscos aos equipamentos e às pessoas são extremos, de forma que a administração do SLU desaconselhou as equipes deste projeto a trabalhar em dias de restrito movimento (domingos e feriados). Nestes dias, a ausência de movimentação de máquinas e caminhões parece encorajar ainda mais a realização de delitos na região.

O quadro de insegurança observado é um entrave à execução das ações de remediação de forma que, os investimentos nesta questão deverão ser compulsórios e ser realizados concomitantemente à implantação das técnicas recomendadas para a mitigação dos impactos ambientais.

A segurança deverá ter diferentes frentes de atuação, incluindo: cercamento da área com uso de alambrados, arame farpado, uso de concertina e outras formas que impossibilitem o acesso de veículos e pessoas no interior da área. Alternativamente para se minimizar os custos, as barreiras podem ser feitas com cercas de arame acompanhadas de trincheiras profundas (escavadas com auxílio de retroescavadeiras). Equipamentos como poços, quadros elétricos e outros acessórios devem ter uma proteção específica.

Além das barreiras físicas para se evitar o acesso não autorizado, a segurança deve contar com sistemas de vídeo vigilância, principalmente nas áreas remotas, com monitoramento contínuo e possibilidade de respostas imediatas a vandalismos e tentativas de furtos. Sistemas de alarmes com sensores de presença também devem ser considerados para ampliação da efetividade da segurança.

Ainda para se ampliar a segurança devem ser instalados postos de controle e vigilância em locais estratégicos, uma vez que, a poligonal é grande e o tempo de resposta pode ser muito longo.

Para se minimizar as questões de falta de segurança sugere-se que este serviço especializado seja prestado por empresas terceirizadas. Este tipo de problema não é exclusivo desta região em estudo. A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB

que opera poços de abastecimento público localizados em áreas periurbanas tem a prática de contratação de empresa de segurança, que mantém a vigilância permanente de poços tubulares situados em áreas isoladas (exemplo: cidade de São Sebastião, DF).

9. CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO

A proposição de um cronograma físico para a recuperação de áreas degradadas depende de inúmeros fatores, dentre os quais se destacam como mais importantes: decisão técnica e métodos mais aplicáveis, disponibilidade dos recursos financeiros para instalação e operação das estruturas, licenciamento ambiental de certas operações, variáveis climáticas para início da instalação / operação, prazos para licitações e contratações, dentre outros.

Desta forma, o cronograma proposto não apresentará períodos determinados, mas apenas a distribuição dos prazos em semestres após início de desenvolvimento das ações. Caso se pretenda aplicar a proposta deve-se apenas substituir os respectivos semestres por datas realistas (que inclusive podem ser substituídos por meses). Como as diferentes ações deverão ser implantadas de forma sucessiva, será importante propor cronogramas específicos e detalhados para cada ação / iniciativa a ser viabilizada.

A Tabela 22 traz o cronograma para execução das diferentes ações de recuperação com os devidos ajustes para realização de cada uma das ações, em termos de sucessão no tempo. O escalonamento entre cada ação decorre de contingências entre uma atividade e outra, como por exemplo, a instalação da usina fotovoltaica deve ser iniciada depois da impermeabilização das fontes de produção de chorume.

Para otimização do cronograma é importante que se trabalhe de forma sinérgica, cumulativa e inteligente, entre as ações, como por exemplo, aproveitar a terraplanagem e a drenagem superficial das águas pluviais necessárias para enclausurar o maciço de resíduos para a instalação das bases dos painéis necessários para a geração fotovoltaica. Ou preparar os solos para o plantio previamente ao início do período chuvoso, de forma a se evitar gastos com a irrigação das mudas no início do seu ciclo de desenvolvimento.

Ações de Mitigação	Etapas	Semestres																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Recomposição da vegetação nativa	Limpeza e conformação do relevo	X	X																
	Fertilização do solo		X	X															
	Coveamento e Plantio			X	X														
	Cercamento e implantação de aceiros			X	X														
	Replanteio e manutenção					X	X												
	Replanteio e manutenção							X	X										
Bombeamento e Recirculação	Instalação das baterias de poços	X	X																
	Instalação dos reservatórios secundários		X	X															
	Instalação de tubulação adutora		X	X															
	Instalação de bombas e sistemas elétricos			X															
	Operação do sistema				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Enclausuramento da fonte	Serviços de topografia	X																	
	Terraplenagem		X																
	Obras de compactação			X															
	Obras de impermeabilização			X															
	Instalação da drenagem pluvial			X	X														
Instalação de usina fotovoltaica	Instalação das estruturas de suporte			X	X	X													
	Instalação das placas solares				X	X	X												
	Interligação dos sistemas						X												
	Instalação dos inversores						X												
	Instalação da rede de alta tensão						X												
	Operação do sistema						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Instalação de fábrica de reciclagem de plástico	Construção do galpão da fábrica	X	X																
	Instalação dos equipamentos			X															
	Operação do sistema	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sistema de segurança	Instalação de cercas e alambrados	X	X																
	Instalação de vídeo segurança		X																
	Operação do sistema	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabela 22 - Cronograma preliminar para implantação das ações de mitigação e instalação de usina fotovoltaica e fábrica de reciclagem.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1 Considerações Finais

Após a conclusão do diagnóstico ambiental, avaliação dos pilotos de remediação, análise econômica das alternativas e proposição do cronograma de execução, algumas considerações finais devem ser elencadas para formalização e síntese das melhores práticas a serem implantadas na área do Lixão da Estrutural e adjacências para se melhorar as condições ambientais e minimizar os impactos ambientais ainda ativos na região.

As técnicas pilotos instaladas e monitoradas não alcançaram os resultados esperados, pois os solos não apresentam teores anômalos de metais e o tratamento das águas contaminadas, por técnicas não convencionais não responderam de forma adequada. No caso dos solos, a fitorremediação e a estabilização não encontraram resposta, pois os teores de metais apresentam baixa concentração. No caso das águas contaminadas, as duas técnicas testadas não reduziram a contaminação sendo que o filtro de zeólita causou a elevação de cloreto, sódio, cálcio e magnésio e a *wetland* construída não possibilitou a estabilização das algas utilizadas.

Como os pilotos não alcançaram resultados satisfatórios, novos dados foram gerados e outras ações para remediação dos problemas foram propostas, as quais podem ser sintetizadas em: i) enclausuramento da fonte, ii) estabilização da pluma de contaminação e iii) recomposição da vegetação nativa.

O enclausuramento da fonte pode ser feito com aplicação de duas técnicas: compactação e impermeabilização ou compactação e revestimento com piso de concreto ou outro tipo de material impermeável. Ambas as alternativas devem ser acompanhadas da instalação de um sistema de drenagem das águas pluviais. A opção mais adequada para o Lixão da Estrutural seria a compactação com impermeabilização superficial, devido aos custos extremos da impermeabilização com concreto.

A recomposição vegetal da faixa leste entre o maciço de resíduos e o limite com o Parque Nacional de Brasília é considerada a melhor prática para minimização dos impactos que afetaram aquela área. Antes do início do plantio a área deverá ser preparada com a supressão da vegetação exótica, incorporação da biomassa aos horizontes superficiais dos perfis e reconformação topográfica. O plantio deverá privilegiar espécies arbóreas de cerrado e de mata galeria, de maior porte, que sejam adaptadas aos solos dos ácidos e alumínicos da região.

A estabilização da pluma de contaminação, por bateria de poços, deverá conter o espalhamento subterrâneo do lixiviado gerado no maciço de resíduos. O efluente bombeado deverá ser reinjetado na pilha de resíduos. A recirculação do efluente deverá neutralizar grande parte da carga poluente, com destaque para amônia e demanda química de oxigênio.

Por se tratar de um efluente de composição química complexa, a opção de se tratar o efluente bombeado esbarra no elevado custo de operação da ETE. O custo de tratamento de chorume bruto varia entre R\$ 60,00 e R\$ 120,00 por metro cúbico. Considerando que o efluente a ser tratado é mais brando que o chorume, foi proposto um preço de R\$ 30,00 por metro cúbico, e mesmo sob este cenário mais favorável o custo para operação por 6 anos alcança quase sessenta e sete milhões de reais. Em função da área e do volume de aquífero afetado estima-se que o tempo de tratamento poderá durar duas décadas até que as águas subterrâneas alcancem sua qualidade de *background*. Dessa forma, considerando que não há usuários de água subterrânea cadastrados nas áreas urbana da Cidade Estrutural e nas propriedades rurais situadas à oeste da poligonal do antigo lixão, sugere-se enfaticamente que a alternativa de bombeamento e recirculação seja adotada.

As estimativas de custos para implantação das medidas de remediação supracitadas deverão incluir:

- Conformação do relevo e recomposição da vegetação nativa **R\$ 1.660.023,10**;
- Bombeamento e reinjeção R\$ 816.428,29 (Capex) + R\$ 4.617.188,65 (Opex por seis anos) = **R\$ 5.433.616,94**;
- Enclausuramento da fonte (compactação e impermeabilização) R\$ 4.180.000,00 + (drenagem) R\$ 107.074,50 = **R\$ 4.287.074,50**.

Assim, considerando apenas as alternativas de mitigação de menor custo, com operação do bombeamento e reinjeção por seis anos seriam necessários **R\$ 11.380.714,54**.

Com relação à destinação para uso e ocupação futura da área foi realizada uma análise considerando diferentes opções. A opção considerada mais adequada foi a de instalação de uma usina de geração de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas. Os recursos obtidos com a operação da usina deverão ser aplicados, parcialmente, à amortização dos investimentos e, parcialmente, ao custeio da operação dos sistemas de remediação das águas subterrâneas.

O investimento para instalação de uma usina com ocupação de uma área de 100 hectares deverá alcançar **R\$ 19.276.229,88**.

O investimento para instalação de uma fábrica de reciclagem de resíduos plásticos de pequeno porte deverá alcançar **R\$ 2.107.628,91**. Por sua importância social e ambiental a implantação desta iniciativa deve ser ponderada inclusive se considerando possibilidade de importação dos materiais a partir do entorno próximo ao Distrito Federal (regiões de Planaltina de Goiás, Águas Lindas de Goiás e Valparaíso de Goiás, de forma a se ampliar o emprego e a renda da população que se ocupa de toda a cadeia da reciclagem).

Todas as estimativas de custos apresentadas neste documento devem ser consideradas mínimas, pois com a atual instabilidade econômica, aumento do câmbio do dólar e elevação da

inflação muitos equipamentos com fabricação externa e mesmo com origem nacional têm sofrido majoração de preços.

A viabilidade para implantação das três ações de remediação combinadas e de destinação da área (para geração de energia fotovoltaica e instalação de fábrica de reciclagem) passa por investimentos em segurança, a qual deverá envolver isolamento da área por alambrados ou telas reforçadas, vigilância por sistema de vídeo, vigilância por controle humano e inclusive vigilância com apoio de sistemas de alarmes. Esta particularidade com relação à segurança se deve ao elevado valor dos equipamentos e materiais empregados nas ações. Os componentes elétricos, bombas e cabos utilizados nos poços de bombeamento apresentam valor elevado e alto índice de furtos. Da mesma forma, as placas fotovoltaicas têm elevado valor no mercado de peças usadas e índice de furtos muito alto.

10.2 Conclusões

Como este relatório é o último produto vinculado ao Contrato 101/2019 celebrado entre o Global Environment Facility, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e a Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos, este item de conclusões incluirá os principais resultados dos produtos 3 e 4, além dos resultados deste Produto 5 para melhor enquadramento do leitor.

Os estudos geofísicos integrados aos hidroquímicos (resultantes de amostras de águas obtidas em poços de monitoramento) são suficientes para delimitação da pluma de contaminação por chorume produzido na área do aterro de resíduos sólidos.

Dos três cursos d'água que drenam a partir da área do antigo Lixão da Estrutural: Córrego do Acampamento, Ribeirão Bananal e Córrego Cabeceira do Valo, apenas o último se encontra contaminado a partir da pluma de chorume, os demais ainda apresentam-se de excelente qualidade sendo classificados como da Classe Especial.

As análises de solos de amostras obtidas a diferentes profundidades e em diferentes cenários indicam que as coberturas pedogenéticas não estão contaminadas por metais pesados. Esta constatação é explicada pela natureza dos rejeitos aterrados, que são de origem doméstica com restrita produção deste tipo de contaminante. As análises de águas subterrâneas também mostram restrita concentração de metais.

O volume dos gases produzidos pela decomposição dos resíduos orgânicos tem mostrado tendência de redução ao longo dos últimos anos. Esta constatação não conta com dados de medição, contudo, é corroborada pela diminuição das tochas de combustão ou pela extinção das chamas e redução do odor característico emitido pelos drenos em que o fogo foi extinto pela ação dos ventos ou chuvas intensas.

O volume e a massa de resíduos acumulados foram obtidos pela integração de métodos com aplicação de geoprocessamento e análises *ex situ* de resíduos. Os resultados foram muito similares a outros estudos de estimativas desenvolvidos por outras metodologias.

Após a conclusão dos estudos de diagnósticos, pode-se afirmar que os impactos negativos efetivos vinculados ao lixão são menos intensos do que se esperava no início do desenvolvimento dos estudos. A contaminação dos aquíferos freáticos é, sem dúvida, o ponto mais crítico que deve ter atenção especial na remediação. A degradação da vegetação natural na faixa embargada, bem como a degradação dos solos por acumulação e remoção de resíduos é outro ponto que merecerá atenção nas ações de remediação.

Os testes pilotos de remediação aplicados no presente estudo, por diferentes razões, não alcançaram os resultados esperados. A tentativa de aplicação da técnica de fitorremediação, testada em dois tipos de experimentos, mostrou que os solos não apresentam teores anômalos de metais. Entretanto, os resultados são promissores para casos em que os solos apresentem teores elevados de metais. Os tratamentos de pluma de contaminação com técnicas não convencionais também não resultaram na eliminação dos contaminantes.

Dados de sondagens tipo SPT (Standard Penetration Test) indicam que as propriedades geotécnicas dos saprolitos em locais submetidos à pluma de chorume com maiores concentrações são sensivelmente modificadas. Esta mudança resulta em materiais plásticos classificados como moles a muito moles até profundidades maiores que 15 metros. Esta característica resulta no aumento do custo de implantação de fundações de edificações com maior porte (três ou quatro pavimentos), o que pode inviabilizar a ocupação das áreas adjacentes ao lixão para assentamento de pessoas que ocupam áreas irregulares.

A partir dos resultados do diagnóstico ambiental, da caracterização detalhada dos aquíferos freáticos, do mapeamento da pluma de contaminação e suas variações de concentrações, e dos testes pilotos foram propostas ações para mitigação dos efeitos negativos resultantes do Lixão da estrutural: i) Estabilização da migração da pluma de contaminação com instalação de bateria de poços de bombeamento e recirculação do maciço de resíduos. Esta ação deverá bloquear a expansão da pluma que migra em direção às nascentes de cursos d'água superficiais; ii) impermeabilização enclausuramento da superfície na zona crítica de produção de chorume (porção norte da atual Unidade de Recebimento de Entulhos). Esta iniciativa deverá minimizar a produção primária de chorume e auxiliar o bombeamento e injeção na função de estabilização da pluma; iii) recuperação da vegetação nativa na faixa de 60 hectares denominada de área embargada. Ação que resultará na ampliação da função de proteção do Parque Nacional de Brasília; iv) dar continuidade à queima do metano que emana dos drenos de gases gerados pela decomposição da matéria orgânica contida no aterro. A combustão do metano sob a

presença de oxigênio gera vapor de água e dióxido de carbono ($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$), que é uma mistura de gases com menor potencial de causar o efeito estufa ou outros efeitos deletérios à atmosfera.

Outras ações que deverão ampliar a qualidade da atmosfera da região da Estrutural são a continuidade de aspersão de águas nas vias de acesso com tráfego contínuo de caminhões e máquinas e a estabilização de vegetação em áreas em que a continuidade de acumulação de entulhos não seja mais possível.

10.3 Recomendações

De forma a subsidiar o Governo do Distrito Federal e seus órgãos associados (secretarias de governo e autarquias) a enfrentar a questão do passivo ambiental vinculado ao antigo Lixão da Estrutural, recomenda-se a adoção das seguintes iniciativas:

i) Viabilização de novas áreas para recebimento de resíduos da construção civil, podas de árvores e limpeza de ruas e jardins de áreas urbanas no Distrito Federal. A concentração da Unidade de Recebimento de Entulhos da Estrutural aumenta sobremaneira o custo de transporte destes tipos de rejeitos oriundos das áreas leste do DF. A viabilização das novas áreas pode ser feita pelo Serviço de Limpeza Urbana - SLU em associação com empresas terceirizadas ou por Parcerias Público-Privadas - PPPs, especificamente destinadas a este fim. A viabilidade ambiental das novas áreas deve ser feita a partir de licenciamento específico, com estudos enfatizando as características do meio físico, com destaque para os solos, geologia e hidrogeologia locais;

ii) Para a mitigação da contaminação das águas subterrâneas nas adjacências da área do Lixão da estrutural recomenda-se a adoção da opção de bombeamento e reinjeção, que é uma técnica consagrada e aplicada em casos de contaminação de aquíferos no mundo. O bombeamento deve ser realizado em regiões específicas em que a pluma apresenta maior concentração a partir de baterias de poços. As informações até então existentes mostram que três baterias de poços são suficientes para conter o fluxo da pluma e proteger as nascentes dos córregos Cabeceira do Valo e Acampamento;

iii) A impermeabilização da área principal de produção atual de chorume é outra ação que deve minimizar a produção do contaminante e mitigar a contaminação das águas subterrâneas e superficiais. As águas interceptadas pela superfície compactada e impermeabilizada devem ser lançadas para infiltração nas zonas marginais externas ao lixão, de forma a diluir as águas subterrâneas já contaminadas em um processo de tratamento *in situ*. Caso necessário, baciões, terraços e outras estruturas de dissipação devem ser instaladas para garantir a percolação das águas;

iv) A recomposição da vegetação natural na faixa denominada de “Área Embargada” entre o limite leste do lixão e a cerca do Parque Nacional de Brasília é outra iniciativa que deverá ampliar a qualidade ambiental da região, além de ampliar a função de proteção daquela faixa de cerca de 60 hectares como área tampão do Parque Nacional.

Além das iniciativas previamente listadas, ainda são recomendadas a execução das seguintes ações no sentido de complementar os trabalhos de levantamento de dados e de pesquisas primárias iniciadas pelo presente estudo:

i) Dar continuidade ao monitoramento mensal dos níveis freáticos e medições de parâmetros físico-químicos das águas freáticas, incluindo pH, temperatura e condutividade elétrica. Estes dados serão fundamentais para a estimativa da recarga nas áreas naturais (no interior do Parque Nacional de Brasília), áreas de aterro de aterros de resíduos (no interior da URE) e áreas urbanas (na cidade Estrutural);

ii) Estimar o volume de efluentes *in situ* no aquífero, com separação de pelo menos três zonas de concentrações. Para se alcançar este resultado serão necessários dados de porosidade efetiva (já existentes), áreas das faixas de concentrações (a serem obtidas com auxílio de geoprocessamento) e espessuras das zonas contaminadas (a serem obtidas a partir de estudos diretamente nos poços de monitoramento);

iii) Intensificar os estudos sobre os gases liberados pelo aterro, com destaque para medição da concentração e vazão dióxido de carbono e metano, reconhecidamente os mais abundantes, a partir dos estudos prévios;

iv) Desenvolver pesquisas específicas sobre a exposição dos organismos e do meio ambiente às substâncias poluentes produzidas pelo aterro de resíduos. Neste sentido, é fundamental a adequação das análises sobre risco a que os diferentes estratos podem estar submetidos incluindo humanos, animais silvestres, biota aquática e cobertura vegetal;

v) Por fim, adequar os resultados às diferentes diretrizes normativas, segundo à Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, uma vez que o Instituto Brasília Ambiental - IBRAM recentemente adotou estas normas como referência para os estudos de gerenciamento de áreas contaminadas no Distrito Federal.

Com relação à ocupação irregular, denominada de “Santa Luzia” situada em área imediatamente contígua ao Parque Nacional de Brasília, causando impactos àquela unidade de conservação ambiental, recomenda-se que toda a população seja removida para outras regiões passíveis de regularização fundiária no Distrito Federal. Esta recomendação é baseada no fato de que a ocupação de Santa Luzia não é passível de regularização ambiental, pois em parte ocupa antigas áreas de aterros de resíduos (com ocupação vedada por legislação específica) e integralmente ocupa área tampão do Parque Nacional (da mesma forma com ocupação urbana

não permitida). A experiência durante os 20 meses de realização do presente estudo, com visitas constantes à região é de que esta ocupação apresentou expansão contínua durante este período (de dezembro de 2019 a julho de 2021). O cadastramento da população para remoção futura é necessário para se evitar a ampliação do passivo social na região. Não raramente já se observa a construção de edificações de alvenaria, com até dois pavimentos e o parcelamento de lotes (já reduzidos).

10.4 Financiamento das Ações de Mitigação

Com relação ao financiamento das ações de recuperação e mitigação dos impactos ambientais não se pode descartar a possibilidade de criação de uma taxa específica para este fim, a ser paga pelos proprietários de imóveis de todo o Distrito Federal. Como o Serviço de Limpeza Urbana - SLU não é um empreendimento com fins lucrativos e sua atuação ao longo do tempo foi uma atividade que favoreceu toda a população do DF, a aplicação direta do princípio do “Poluidor-Pagador” pode não ser a opção mais justa. Conforme os preceitos legais a aplicação das regras do poluidor pagador se aplica a empreendimentos com fins lucrativos que causam impactos ao meio ambiente (que é considerado um bem coletivo) e desta forma prejudica a população como um todo (atual e futura) o que pode ser considerado como enriquecimento ilícito, pois a recuperação ambiental futura fica a cargo do estado. Entretanto, no caso do Lixão da Estrutural a questão é mais complexa, pois, toda a coletividade do Distrito Federal foi favorecida diretamente com a operação do depósito de acumulação de resíduos, mesmo que sem os devidos controles ambientais. Assim, não seria injusto que o Serviço de Limpeza Urbana fosse responsabilizado pela recuperação dos passivos ambientais, com financiamento mesmo que parcial pela população. De outra forma, em última análise o poder público, no caso o Governo do Distrito Federal - GDF, deverá arcar com os custos de instalação e operação das ações de mitigação do passivo gerado pelo lixão, pois o SLU é uma autarquia vinculada ao governo distrital.

Além da opção de arrecadação de taxa específica para custear as ações de recuperação ambiental, há a possibilidade de se reverter parte dos recursos gerados pelo uso futuro da área para financiamento destas ações. Como exemplo, cita-se um dos usos considerados para a área, vinculado à instalação de usina fotovoltaica interligada que tem potencial para gerar dividendos que em parte podem ser vinculados à proteção física e recuperação ambiental da área.

10.5 Lições Aprendidas

Com a conclusão de todas as etapas do presente contrato, algumas questões podem ser incluídas em um último tópico destinado à descrever as “lições aprendidas” sobre o lixão da

Estrutural e as futuras ações para efetiva mitigação dos impactos gerados ao meio ambiente e à população que permanece de alguma forma vinculada.

Inicialmente é importante informar que as ações enquadradas nas técnicas de fitorremediação dos solos devem sempre ser precedidas das análises dos horizontes superficiais e mais profundos dos perfis pedogenéticos. A frustração da aplicação desta técnica à área estudada se deveu ao não conhecimento da contaminação ou da não contaminação das coberturas e dos próprios por metais pesados. Caso esta constatação fosse obtida na etapa inicial da pesquisa, as ações vinculadas a esta etapa poderiam ser destinadas a outro aspecto, como por exemplo, estudos dos gases de efeito estufa. De qualquer modo, as etapas de plantio e acompanhamento do desenvolvimento das plantas resultaram em ampliação do conhecimento sobre a recomposição da vegetação natural em áreas próximas a unidades de conservação ambiental.

O grande número de análises de solos em áreas de aterro, áreas naturais e até áreas preservadas mostrou que o Lixão da Estrutural não foi responsável pela contaminação das coberturas pedogenéticas por metais pesados.

O tratamento de chorume e efluentes contidos nas águas subterrâneas (pluma da contaminação) por técnicas não convencionais não é uma tarefa simples. Todas as técnicas não comerciais são realizadas em nível de pesquisa acadêmica ou em pilotos de pequena escala em que os resultados são parciais ou onde não é possível avaliar os custos em maiores escalas. A aplicação de técnicas convencionais disponíveis no mercado parece ser o mais viável atualmente. A tentativa de uso de filtro a base de zeólita pelo presente estudo não mostrou viabilidade, pois apesar de baixar o conteúdo de amônia, causou a elevação de sódio, cálcio, cloreto e magnésio, que já apresentam teores elevados no efluente da pluma.

A estabilização de metais nos solos se mostrou uma técnica viável e efetiva, embora os solos testados não tenham apresentado teores anômalos de metais. A calagem dos solos com consequente elevação do pH resulta na precipitação de diferentes metais o que pode ser útil para locais efetivamente contaminados por metais ou outras substâncias que apresentam o mesmo comportamento.

Estudos geofísicos são efetivamente importantes para determinação da espacialização de plumas de contaminação de chorume, contudo, a interpretação dos dados deve ser realizada com bastante cuidado, pois a eletrorrevistividade é muito sensível a qualquer elevação ou mudança no solo e zona saturada do aquífero. Neste estudo, ficou evidente que áreas preliminarmente identificadas como contaminadas, não se mostraram alteradas com relação à pluma de chorume depois que os poços foram instalados e a qualidade das águas subterrâneas monitoradas por uma sucessão de análises.

As análises gravimétricas *ex-situ* mostraram que os resíduos sofrem rápida transformação após seu aterramento. Neste sentido, observa-se que a matéria orgânica é rapidamente transformada e a porção inorgânica passa a dominar amplamente. No caso do Lixão da Estrutural há amplo domínio de restos de obras civis, terra e plástico no aterro (mesmo considerando aterros anteriores à fase URE do Lixão).

Por fim, pode-se afirmar que um grande ganho de conhecimento é relativo ao impacto global do antigo lixão ao meio ambiente, sendo que os resultados mostram claramente que os efeitos negativos são menos intensos que o esperado no início do desenvolvimento dos estudos. Esta constatação é vinculada ao fato dos resíduos serem oriundos de fontes urbanas e domésticas sem contribuição de indústrias ou outras fontes com maior potencial de poluição e também da grande resiliência da natureza. Neste sentido, observa-se que a pluma de contaminação que afeta os aquíferos freáticos é rapidamente atenuada com o fluxo do chorume pela zona saturada. A retenção e eliminação de certos contaminantes ainda devem ser estudadas com maior detalhe para se entender os diferentes mecanismos e processos que resultam neste quadro.

Por fim, uma grande lição alcançada pelos dados gerados no estudo é de que a pluma de contaminação pode ser contida a partir de baterias de poços com recirculação de forma a proteger os recursos hídricos superficiais. As barreiras hidráulicas podem conter a migração dos contaminantes desde que situadas nos locais adequados com aplicação dos parâmetros hidráulicos corretos, incluindo: vazões, distâncias entre poços, raios dos cones de depressão e manutenção dos rebaixamentos a cinco metros de profundidade com relação aos níveis naturais.

11.EQUIPE TÉCNICA

Equipe Responsável pelo Produto 5

José Eloi Guimarães Campos
Geólogo, Coordenador do Projeto

Fernando Fellows Dourado
Economista, Análise Econômica

Equipe Responsável pelo Contrato

Responsável Técnico

José Eloi Guimarães Campos
Geólogo, Coordenador do Projeto

Membros da Equipe

Welitom Rodrigues Borges
Geólogo, Estudo Geofísico

Rejane Ennes Cicerelli
Engenheira Cartógrafa, Cartografia Digital

Jeremié Garnier
Geólogo, Hidroquímica e Química dos Solos

Julio Henrichs de Azevedo
Engenheiro Agrônomo, Massa Foliar e Química dos Solos

Colaboradores

Lucas Santos Batista Teles
Geólogo, Estudo Geofísico, Construção dos Poços e Geoprocessamento

Drielly Souza Rodrigues
Geóloga, Amostragem de Água e Solos

André Walczuk Gomes
Geólogo, Estudo Geofísico e Construção dos Poços

Flavio Henrique Freitas e Silva
Geólogo, Estudo Geofísico e Amostragem dos Solos

Cristiane Moura de Oliveira
Geóloga, Estudo Geofísico e Amostragem dos Solos

Brasília, 30 de Agosto de 2021.

12.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIPLAST. 2019. **Perfil 2018 Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Materiais Plásticos**. Associação Brasileira de Indústria de Plástico.
- ABIPLAST. 2020. **Perfil 2019 Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Materiais Plásticos**. Associação Brasileira de Indústria de Plástico.
- ABIPLAST. 2021. **Perfil 2020 A Indústria de Transformação e Reciclagem de Plásticos no Brasil**. Associação Brasileira de Indústria de Plástico.
- AGÊNCIA BRASIL. 2021. **Índice de reciclagem de plástico no país cresceu 8,5% em 2019**. 2021. Acessado em 10/05/2021. Disponível em: Índice de reciclagem de plástico no país cresceu 8,5% em 2019 | Agência Brasil (ebc.com.br)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**. 1997. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**. 1992. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro.
- BOFF, F.E. 1998. Estudo da seletividade iônica na interação solo-contaminante aplicado a liners. São Carlos: EESC/USP. Seminário (Seminários Gerais em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CASARIN, G.V. 2019. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica baseado em um estudo de caso**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina.
- CATERPILLAR INC. 1987. **Manual de Produção Caterpillar**. 12 ed. São Paulo: Caterpillar Brasil SA.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO MMA 2013. Ministério do Meio Ambiente. **Planilhas de custos para análise de PRAD: Valores Médios**.
- COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento. 2016. **Tabela de Custo Unitário para Obras e Serviços de Engenharia: Com desoneração e com encargos complementares**. Recife.
- CORRÊA, R.S. 2007. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado: Manual para revegetação**. 2. Ed ed. Brasília: Universa.
- DANTAS, S.G.; POMPERMAYER, F.M. 2018. **Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2017. **Manual de custos de Infraestrutura de Transportes**. v.8, Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil.
- DOMINGUES, M. G. 2009. **Viabilidade Econômica de Reciclagem do PET**. Finanças e Gestão Corporativa, Universidade Cândido Mendes. Rio de Janeiro.
- EPE. 2020. **Balanço Energético Nacional de 2020**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- GOBBO, G.G. 2018. **Estudo de Viabilidade Econômica de uma Usina Fotovoltaica na Universidade Estadual de Londrina**. [s.l.] Universidade Estadual de Londrina.
- KIPPER, A. 2015. **Drenagem urbana: comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista) e compensatória com microrreservatórios**. Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- LANZA, V.C.V.; CARVALHO, A.L. 2006. **Orientações básicas para operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 34 p.
- LOCASTRO, João K.; ANGELIS, Bruno L. D. 2016. **Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e

- LOMOLINO, A.L.G. 2017. **Plano de Recuperação de Área Degradada: Restauração da área do antigo lixão do município de Estrela do Sul-MG.** [2017] Universidade Federal de Uberlândia.
- MIRANDA, A.B. 2014. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE.** [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- NUNES, D.M.; SILVA, M.R.; NIGRO, I.S. 2007. **Viabilidade econômica de um Empreendimento para Reciclagem de garrafas pet na Cidade de Uberlândia/MG.** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu.
- PAULA, G.S. 2017. **Investigação das Técnicas de Impermeabilização de Aterros Utilizadas no Estado do Paraná.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- RECESA, 2008. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte: ReCESA. 120 p
- RODRIGUES, N.G.; ALMEIDA, A.N. 2018. **Custo para recuperar uma área degradada: um projeto para a cascalheira do Parque Sucupira.** Brasília.
- ROEHRS, G. et al. 2019. **Avaliação do tratamento de chorume do Aterro Sanitário de Lajeado, utilizando Sistema Físico-Químico e Osmose Reversa.** 10 Forum Internacional de Resíduos Sólidos. Anais...João Pessoa - PB.
- SANTOS, E.; UNGARI, H.C.N.; SANTOS, M. 2008. **Principais Técnicas de Remediação e Gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos no Estado de São Paulo.** [s.l.] Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.
- SANTOS, F.A.; SOUZA, C.A.; DALFIOR, V.A.O. 2016. **Energia Solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG.** XIII Simpósio de Excelência em Gestão de Tecnologia. Anais...
- SILVA, G.T.M.M. 2015. **Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de usina fotovoltaica em Nova Iguaçu - RJ.** [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SINDIPLAST. 2021. **Índice de plástico reciclado pós-consumo cresceu em 2019, segundo estudo encomendado pelo Picplast.** Acessado em 10/05/2021. Disponível em: ÍNDICE DE PLÁSTICO RECICLADO PÓS-CONSUMO CRESCEU EM 2019, SEGUNDO ESTUDO ENCOMENDADO PELO PICPLAST » Sindiplast.
- SLU, Serviço de Limpez Urbana. 2013. **Plano de recuperação de áreas degradadas - PRAD.** Brasília: Disponível em: http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/04/PRAD_SITE_ORCAMENTO.pdf.
- TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). 2014. **Orientação para Elaboração de Planilhas Orçamentárias de Obras Públicas.** Brasília.
- TRINDADE, K. 2015. **Estudo de viabilidade para uma empresa de reciclagem de plástico em Ijuí/RS.** Departamento de Ciências Administrativas, Contábeis, Econômicas e da Comunicação, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí.
- VASCONCELLOS, J.F.S. 2017. **Estudo de viabilidade para utilização de H₂O₂/O₃ na remediação de água subterrânea contaminada por etenos clorados.** Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- VASCONCELLOS, J.F.S.; FONSECA, F.V. 2017. **Avaliação de custos de sistema de remediação utilizando peroxone para tratamento de etenos clorados.** Rio de Janeiro.