ANÁLISE DE CUSTOS DA RECICLAGEM E REAPROVEITAMENTO DO MATERIAL PROVENIENTE DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DA REDE DE ESGOTO NO MUNICÍPIO DE JOINVILLE

Ysadora Ignacio[(1)]
Engenheira Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CCT (2023). Empregada Pública na Companhia Águas de Joinville desde 2020.

Endereço[(1)]**:** Rua XV de Novembro, 3950 – Bairro Glória - Joinville – Santa Catarina - CEP: 89216-202 - Brasil - Tel: +55 (47) 99938-6617 - e-mail: ysadora.ignacio@aguasdejoinville.com.br

RESUMO

O presente trabalho analisa a viabilidade do reaproveitamento do solo como alternativa sustentável na implantação de redes coletoras de esgoto sanitário. A partir dos dados de uma obra de expansão de esgoto e das características mecânicas do solo escavado em Joinville/SC, comparou-se o uso do solo reaproveitado com o uso de agregado reciclado para aterro de valas, bem como, com a utilização de areia de empréstimo. Os resultados indicaram uma economia de 6,65% com o uso de agregado reciclado em comparação com a areia, apesar de ser 72,13% mais caro que o reaproveitamento sem tratamento. Além dos benefícios econômicos, a prática de reciclagem do solo contribui para a minimização de impactos ambientais das obras de saneamento. Este estudo destaca a importância do reaproveitamento do solo como uma alternativa sustentável na implantação de redes de esgoto, promovendo a economia circular e otimização de recursos no setor de infraestrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Reaproveitamento de solo, Resíduos da construção civil, Usina de reciclagem.

INTRODUÇÃO

Este artigo aborda o reaproveitamento do material escavado em obras de saneamento, com ênfase em sua reciclagem e beneficiamento para reutilização como agregado reciclado nas valas. Segundo Carvalho e Motta (2021), a execução de redes subterrâneas para serviços essenciais requer escavações em forma de trincheiras, seguidas pelo reaterro das valas. Este processo pode ser realizado utilizando o próprio material escavado ou material de empréstimo, dependendo das características do solo. Nesse contexto, o estudo examina os métodos de reciclagem e melhoria do material escavado, visando evitar sua destinação para bota-fora. Considerações como a qualidade do serviço final, custos, logística da obra e preocupações ambientais são fundamentais na escolha do método de reaterro.

Com a dificuldade dos municípios em se adequarem às políticas de saneamento básico, especificamente no que se refere ao adequado processo de obras de implantação dos esgotos sanitários, surge a necessidade de pesquisas no ramo de métodos executivos para a execução das obras, que garantam qualidade nos serviços e diminuam o impacto ambiental, bem como os custos das obras. Segundo Botelho (1998), as dificuldades encontradas no reaterro de valas geralmente se referem ao alívio de tensões do solo durante a abertura da vala, esgotamento d'água, espaço estreito de execução da compactação e compactação imprópria do material de preenchimento.

Se não executadas em conformidade com as especificações técnicas, ou com materiais impróprios, as recomposições de pavimentos viários decorrentes de abertura de valas geram patologias que trazem como consequências não apenas prejuízos financeiros relacionados ao retrabalho, mas também comprometem de forma significativa os deslocamentos na via (ANDRADE, 2016).

Além disso, Lopes (2006) cita que quando a estrutura do pavimento não é recomposto seguindo as normas e manuais de controle de qualidade, o mesmo pode apresentar patologias como recalques, trincas, descolamentos, entre outros, e levar a ocorrência de acidentes e desconfortos aos usuários, bem como ter custos de reparos e retrabalhos no local. Desta forma, uma alternativa para a melhoria da qualidade dos pavimentos reparados pode ser a utilização de materiais alternativos de qualidade, com adequada capacidade de suporte para esta finalidade (CARVALHO; MOTTA, 2021).

A utilização de materiais recicláveis para a recomposição de valas, em países como a Inglaterra, também é alvo de preocupação dos órgãos ambientais, pois, segundo estudo publicado por Waste & Resouces Action

Programme (2007), as intervenções em redes de água e gás geram cerca de 4,8 milhões de toneladas de resíduos por ano.

Sendo assim, este trabalho justifica-se pela reciclagem do material escavado das valas para garantir reaproveitamento com qualidade, visto que o incentivo à reciclagem tem como princípios gerais: minimizar os resíduos depositados em aterros; reduzir as demandas por recursos primários e diminuir as distâncias percorridas durante o transporte de materiais. Ademais, tais princípios visam maximizar a recuperação e reciclagem de materiais oriundos das escavações de valas (ANDRADE, 2016).

Diante disso, a utilização de materiais recicláveis para o reaterro de valas emerge como uma alternativa viável, alinhada aos princípios de sustentabilidade ambiental. Este estudo se justifica pela necessidade de garantir o reaproveitamento do material escavado, minimizando a sobrecarga em aterros e promovendo a reciclagem de materiais provenientes das escavações de valas.

OBJETIVOS

O presente artigo tem por objetivo geral analisar a viabilidade técnica e econômica de reciclagem e reaproveitamento dos materiais provenientes de valas de obras públicas de saneamento da cidade de Joinville. Em paralelo foi necessário analisar os métodos de aterro de valas utilizados nas obras de saneamento da cidade de Joinville, em Santa Catarina, analisar os métodos de reciclagem e beneficiamento de resíduos da construção civil oferecidos no mercado e comparar custos utilizando como o aterro da vala o reaproveitamento do solo in natura, com material de empréstimo e destinação de bota-fora, e com o agregado reciclado proveniente da reciclagem do material de escavação.

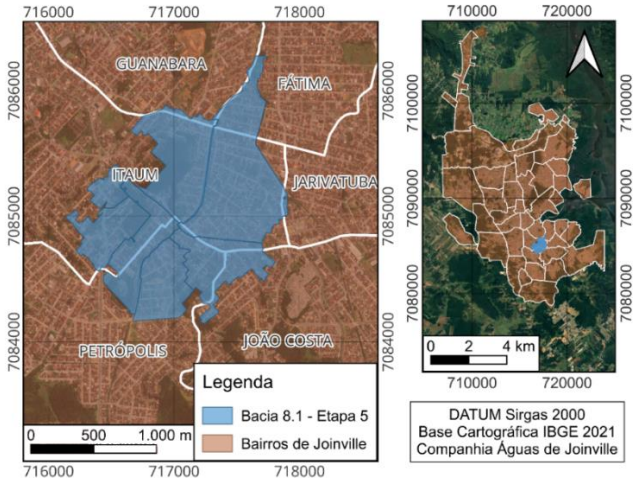
METODOLOGIA

Para objeto de estudo, foi utilizada uma obra de expansão de redes de esgoto da Companhia Águas e Joinville, e nela observou-se a classificação e quantidade dos materiais utilizados nos reaterros de valas da obra, bem como a destinação do material escavado não utilizado. Ademais, avaliou-se a aplicação dos métodos oferecidos no mercado para reciclagem e melhoramento de material para sua reutilização.

Escopo da obra

A obra escolhida para este estudo foi a obra de expansão da rede de esgoto da Bacia 8.1 Etapa 5 da Companhia Águas de Joinville. O escopo da mesma é a execução de 32.992 metros de rede de esgoto sanitário, e cinco elevatórias, sendo uma de grande porte e quatro de pequeno porte. A localização da obra se faz de modo a atender parcialmente nos bairros Guanabara, Fátima, Itaum, Petrópolis e João Costa, localizados na região sul do municípo de Joinville/SC, área indicada pelo mapa da Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização da obra – Bacia 8.1 Etapa 5



Fonte: A autora (2023).

Até a presente data deste trabalho, foi executada 77,13% das redes coletoras, e concluídas todas as elevatórias. Deste modo, os dados levantados sobre locação das redes, tipo de pavimento e porcentagem de material reaproveitado ou destinado á bota-fora é com base no histórico da obra.
Para fins de anális de custos, os valores utilizados neste artigo foram retirados do orçamento da obra objeto de estudo, fornecidos pela Companhia Águas de Joinville, conforme recorte apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Recorte da planilha de custos da obra de expansão de esgoto Bacia 8.1 Etapa 5

ACOMPANHAMENTO DE OBRAS
BOLETIM DE MEDIÇÃO

Águas de Joinville
Companhia de Saneamento Básico

Empreendimento	Localização
BACIA 8.1 Etapa 5	**JOINVILLE-SC**
Agente Promotor	Construtora
COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE	**MEGAGEO**

Orçamento da Obra

Nº do Item	Descrição do Serviço	unidade	Itens Licitados	
			quant	custo unitário
2.2.	**REDE COLETORA - SERVIÇOS**			
2.2.3	MOVIMENTO DE TERRA			
2.2.3.4	**Aterro/Reaterro**			
2.2.3.4.2	Aterro/reaterro de valas, poços e cavas, com fornecimento de areia e adensamento hidráulico, inclusive transporte	m³	14.672,49	114,19
2.2.3.4.3	Reaterro manual de valas com compactação mecanizada por soquete vibratório	m³	19.351,03	29,50
2.2.3.6	**Transporte de Solos**			
2.2.3.6.1	Transporte de qualquer tipo de solo, exceto rocha	m³ x km	788.685,32	0,92
2.2.3.7	**Disposição final de bota-fora**			
2.2.3.7.1	Disposição final de bota-fora	m³	54.371,33	4,45
2.2.7	ASSENTAMENTOS			
2.2.7.1	**Regularização de Fundo de Vala**			
2.2.7.1.1	Regularização de Fundo de Vala (Compactação manual fundo de valas com maço=10kg para rede de esgoto)	m²	25.029,06	5,85
2.2.7.2	**Tubulação de PVC, Ponta e Bolsa, Junta Elástica**			
2.2.7.2.1	Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 100	m	15.717,00	2,52
2.2.7.2.2	Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 150	m	29.184,36	3,07
2.2.7.4	**Embasamento de Tubulação**			
2.2.7.4.3	Lastro e envoltória de areia	m³	11.053,26	75,51
2.2.8	PAVIMENTAÇÃO			
2.2.8.3	**Recomposição de Pavimentos, Guias e Sarjetas sem Reaproveitamento do Material**			
2.2.8.3.6	Execução de pavimentação com fornecimento de saibro (seleção do material, espalhamento, compactação e regularização da superficie)	m³	2.362,64	60,57

Fonte: Companhia Águas de Joinville (2023).

Diagnóstico do atual procedimento de aterro de vala e destinação de bota-fora

A partir do perfil de solo fornecido, no orçamento da obra são estimados volumes de areia e material de jazida para fins de reaterro de vala e deverão ser usados em circunstâncias distintas. No Termo de Referência da contratação da obra, é esclarecido que a areia somente deverá ser utilizada como material de reaterro (exceto o berço da tubulação) quando houver ocorrência de chuvas que inviabilizem a utilização de material de jazida ou para os casos de rede implantada em locais com pavimentação asfáltica ou mediante orientação da equipe de fiscalização.

Durante a escavação do solo, é possível avaliar as camadas do perfil existentes, distinguindo o que é revestimento da pavimentação, base e aterro da vala. A Figura 3 mostra a vala escavada em uma obra de

expansão de esgoto da Companhia Águas de Joinville, ao lado da vala, nota-se o material julgado aceitável para sua reutilização como aterro.

Figura 3 - Vala escavada para obra de implantação de rede de esgoto



Fonte: A autora (2021).

Em campo, a fiscalização faz a análise tátil-visual do solo escavado para identificar se o mesmo pode ser reutilizado como aterro. Esta análise baseia-se em garantir que o material deve ser isento de matéria orgânica, e que a umidade seja o suficiente para formar um torrão de "barro" ao apertá-lo nas mãos, e ao manuseá-lo novamente, ele se desmanchar.

Para o reaterro das valas, conforme o Termo de Referência da obra estudada, os materiais a serem utilizados na execução dos aterros devem atender as seguintes características mecânicas e físicas, sendo que o solo destinado ao reaterro de valas deve ser, preferencialmente, o próprio material de escavação da vala, desde que este seja de boa qualidade. Caso contrário o material deve ser importado. O solo para reaterro deve possuir resistência do solo á penetração CBR > 8 % e expansão máximo 2% e ser isento de matéria orgânica, e que as determinações do grau de compactação (GC) devem ser realizadas utilizando-se os valores da massa especifica aparente seca de laboratório e da massa específica aparente in situ obtida em campo. Para corpo de aterro de solo, deve possuir GC>95%.

Para garantir a qualidade do material, é exigido que as jazidas de material de empréstimo forneçam laudos técnicos comprovando as respetivas características do material emprestado. Logo, neste artigo, foi considerado que os materiais de empréstimo suprem as características solicitadas.

Aterro da vala com reaproveitamento do solo *in natura*

Quando o solo escavado apresentar boas características, sem contaminação com matéria orgânica e excesso de umidade, é recomendado o reaproveitamento do material escavado como aterro, de acordo com o perfil de solo adotado. Conforme a Figura 4, este trecho da vala foi aterrado com o próprio material escavado, julgado como apropriado para reaproveitamento pela fiscalização, e compactado com o equipamento sapo mecânico. Este trecho foi locado no passeio e está localizado na rua Florianópolis, próximo ao nº120.

Figura 4: Reaproveitamento do material escavado



Fonte: A autora (2021).

O uso do próprio material escavado para o aterro da vala apresenta diversas vantagens, como a economia de recursos e a redução da quantidade de resíduos gerados. Além disso, o material escavado pode ser uma opção ambientalmente sustentável, uma vez que minimiza a necessidade de extração de outros materiais.

Por outro lado, é importante monitorar a qualidade do solo para garantir que ele seja adequado para o aterro da vala. A norma NBR define os parâmetros de qualidade do solo que devem ser avaliados para garantir a estabilidade e segurança da obra. De acordo com a norma NBR 7182 (ABNT, 2016), é necessário avaliar a granulometria, o teor de umidade, a densidade aparente e a resistência à penetração do solo (CBR).

O uso do próprio material escavado para o aterro da vala em uma obra de implantação de esgoto pode apresentar vantagens econômicas e ambientais. No entanto, é importante avaliar a qualidade do solo, como grau de compactação, umidade e resistência do solo à penetração (CBR), para garantir a estabilidade e segurança da obra. A norma NBR 7182 estabelece os parâmetros de qualidade do solo que devem ser avaliados e deve ser seguida para garantir a qualidade do aterro da vala.

Para a camada de aterro da vala, quando reaproveitado o material escavado não se tem custo com empréstimo de material de aterro, porém há o custo do serviço de reaterro manual de valas com compactação mecanizada por soquete vibratório (sapo), que segundo a planilha de custos da obra, conforme Figura 2, é de R$29,50 por metro cúbico.

Para garantir a qualidade, dentre os ensaios executados nas camadas de aterros das valas que foram reutilizados o material, para fins de estudo foi utilizado o ensaio de frasco de areia realizado na rua José Francisco Ramos, no dia 05 de maio de 2022, e os resultados encontrados no controle tecnológico das amostras ensaiadas foram apresentados na Figura 5, e a análise granulométrica por peneiramento apresentados na Figura 6.

Figura 5: Resultados da caracterização e ensaio de frasco de areia - Rua José Francisco Ramos

Ordem de Serviço:	**OS-22/392- Aterro**				
Localização:	**Rua José Francisco Ramos, 295**				
Data:	**05/maio**				
Empresa executora:	**MEGAGEO**				
Condições climáticas:	☐ **Nublado** ☒ **Sol** ☐ **Chuva**				
ENSAIO	NORMA	CRITÉRIOS	RESULTADO	CONFORME	NÃO CONFORME
Compactação (Proctor) - Aterro	CONFORME EDITAL	Intermediária	Intermediária	☒	☐
Resistência (CBR) - Aterro	CONFORME EDITAL	≥ 8%	9,15	☒	☐
Expansão (CBR) - Aterro	CONFORME EDITAL	≤ 2%	0,67	☒	☐
Granulometria (Peneiramento) - Aterro	DNIT IPR 719/06	A fração que passa na peneira 200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na peneira 40	A-7-6 P_{40} = 67,3 P_{200} = 53,8	☐	☒
Limite de Liquidez (LL) - Aterro	DNIT IPR 719/06	≤ 25%	70	☐	☒
Equivalente de Areia - Aterro	DNIT IPR 719/06	≥ 30%	9	☐	☒
Equivalente de Areia - 1	DNIT IPR 719/06	≥ 30%	2	☐	☒
Equivalente de Areia - 2	DNIT IPR 719/06	≥ 30%	13	☐	☒
Equivalente de Areia - 3	DNIT IPR 719/06	≥ 30%	10	☐	☒
Limite de Plasticidade (LP) - Aterro	DNIT IPR 719/06	≤ 6%	27	☐	☒
Desvio de Umidade– Aterro 1	CONFORME EDITAL	+- 2%	-5,52	☐	☒
Grau de Compactação (Frasco de Areia 1) - Aterro	CONFORME EDITAL	≥ 95%	89,55	☐	☒
Desvio de Umidade– Aterro 2	CONFORME EDITAL	+- 2%	-2,68	☐	☒
Grau de Compactação (Frasco de Areia 2) - Aterro	CONFORME EDITAL	≥ 95%	91,99	☐	☒
Desvio de Umidade– Aterro 3	CONFORME EDITAL	+- 2%	-6	☐	☒
Grau de Compactação (Frasco de Areia 3) - Aterro	CONFORME EDITAL	≥ 95%	90,22	☐	☒

Fonte: Companhia Águas de Joinville (2022).

Figura 6: Análise Granulometria - Rua José Francisco Ramos

Contratante:	Companhia Águas de Joinville	Data da coleta:	05/05/2022
Localidade :	Rua José Francisco Ramos, 295		
Aterro e Reaterro ☑		Base ☐	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

Limite de liquidez (%)	***70***
Limite de plasticidade (%)	***27***
Índice de plasticidade (%)	***43***
Índice de grupo	***14***
Classificação Sistema Rodoviário	***A-7-6***

GRANULOMETRIA		
Diâmetro (Pol)	Diâmetro (mm)	Passante (%)
2"	50	100,0
1-1/2"	38	100,0
1"	25	100,0
3/4"	19	90,1
3/8"	9,5	82,4
nº4	4,75	81,0
nº10	2	79,9
nº16	1,2	77,6
nº30	0,6	71,7
nº40	0,42	67,3
nº60	0,25	61,6
nº100	0,15	57,6
nº200	0,075	53,8

SUCS		
Pedregulho	(%)	18,98
Areia grossa	(%)	1,16
Areia média	(%)	12,58
Areia fina	(%)	13,54
Finos	(%)	53,75

(mm)	de	até
Pedregulho	<	4,750
Areia grossa	4,750	2,000
Areia média	2,000	0,430
Areia fina	0,430	0,075
Finos	0,075	>

Orgânico	NÃO

Breve análise

Segundo o Sistema Rodoviário o material:
Subgrupo A-7-6Inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a elevadas mudanças de volume.

De acordo com manual de pavimentação do DNIT (2006)

Tiago Anesio Beppler
Eng. Civil Tiago Anesio Beppler
CREA/SC 165.551-5

Joinville, 5 de maio de 2022

Fonte: Companhia Águas de Joinville (2022).

Aterro da vala com material de empréstimo

Já o uso de material de empréstimo para o aterro de obras de saneamento básico é uma prática comum quando o solo escavado não possui as características adequadas para essa finalidade. A escolha de uma jazida de boa qualidade é fundamental, levando em consideração critérios como granulometria, umidade, resistência e

estabilidade do solo. Esses aspectos garantem que o material de empréstimo seja capaz de proporcionar a sustentação adequada à vala. É necessário também considerar a logística da obra, como a distância de transporte e o armazenamento do material, para garantir a eficiência e a segurança da operação.

No entanto, é crucial ressaltar que a compra de material de empréstimo para o aterro de valas pode acarretar sérios impactos ambientais negativos, com consequências que vão além da simples extração do solo, além de aumentar os custos da obra. A exploração inadequada de jazidas naturais para obtenção desse material pode levar à degradação do meio ambiente, como a remoção de vegetação, alteração de ecossistemas locais e perda de habitats naturais.

Na obra objeto de estudo, quando o solo escavado não tem potencial de reaproveitamento, ou as condições climáticas não permitem, é exigido pelo Termo de Referência da obra a substituição do material de aterro por areia, e compactada. A Figura 7 apresenta a execução de um trecho da obra na rua Anitápolis, que foi aterrado com areia de empréstimo.

Figura 7: Vala aterrada com areia



Fonte: A autora (2022)

Quando utilizado areia no aterro da vala, conforme Termo de Referência da obra, deve ser realizado o processo de conformação do material. Para isso, geralmente nas obras há a utilização de caminhões pipa para molhar a areia e com o auxílio de um equipamento de vibração, o material é compactado.

Segundo a planilha de custos da obra objeto de estudo, o custo do metro cúbico de areia utilizada para o aterro/reaterro de valas, poços e cavas, com fornecimento de areia e compactação, inclusive transporte é de R$114,19.

Para garantir a qualidade do material, dentre os ensaios executados nas camadas de aterros das valas que foram utilizadas areia como material de aterro, para fins de estudo foi utilizado o ensaio de frasco de areia realizado na rua Guatemala, no dia 06 de abril de 2022. Os resultados encontrados no controle tecnológico das amostras ensaiadas foram apresentados na Figura 8.

Figura 8: Resultados da caracterização e ensaio de frasco de areia - Rua Guatemala

Ordem de Serviço:	**OS-22/ 309- Aterro**				
Localização:	**Rua Guatemala**				
Data:	**05/abril**				
Empresa executora:	**MEGAGEO**				
Condições climáticas:	**☒ Nublado ☐ Sol ☐ Chuva**				
ENSAIO	NORMA	CRITÉRIOS	RESULTADO	CONFORME	NÃO CONFORME
Compactação (Proctor) - Aterro	NBR 7182	Intermediária	Intermediária	☒	☐
Resistência (CBR) - Aterro	NBR 9895	≥ 8%	12,1	☒	☐
Expansão (CBR) - Aterro	NBR 9895	≤ 2%	-0,05	☒	☐
Granulometria (Peneiramento) - Aterro	DNER-ME 080/94	A fração que passa na peneira 200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na peneira 40	A-2-4 P_{40}= 84,4 P_{200} = 2,1	☒	☐
Limite de Liquidez (LL) - Aterro	DNER-ME 122/84	≤ 25%	NP	☒	☐
Equivalente de Areia - Aterro	DNER-ME 054/97	≥ 30%	61	☒	☐
Equivalente de Areia - 1	DNER-ME 054/97	≥ 30%	65*	☒	☐
Equivalente de Areia - 2	DNER-ME 054/97	≥ 30%	43*	☒	☐
Equivalente de Areia - 3	DNER-ME 054/97	≥ 30%	25*	☐	☒
Limite de Plasticidade (LP) - Aterro	DNER-ME 082/84	≤ 6%	NP	☒	☐
Desvio de Umidade– Aterro 1	DNER-ME 213/94	+- 2%	1,45	☒	☐
Grau de Compactação (Frasco de Areia 1) - Aterro	DNER-ME 092/94	≥ 95%	103,30	☒	☐
Desvio de Umidade– Aterro 2	DNER-ME 213/94	+- 2%	-1,36	☒	☐
Grau de Compactação (Frasco de Areia 2) - Aterro	DNER-ME 092/94	≥ 95%	108,12	☒	☐
Desvio de Umidade– Aterro 3	DNER-ME 213/94	+- 2%	0,78	☒	☐
Grau de Compactação (Frasco de Areia 3) - Aterro	DNER-ME 092/94	≥ 95%	107,65	☒	☐

Fonte: Companhia Águas de Joinville, 2022

Destinação de material para bota-fora

O material que não é reaproveitado e precisa ser descartado é geralmente destinado a bota-fora ou aterro sanitário, sendo este último a opção mais indicada para evitar danos ambientais. É importante que o aterro sanitário seja devidamente licenciado e cumpra todas as normas e regulamentos ambientais.

Atualmente, a cidade de Joinville enfrenta dificuldades na busca por terrenos licenciados para utilização como bota-fora de solo escavado/aterro. Essa escassez de áreas disponíveis na própria cidade leva muitas vezes à necessidade de buscar terrenos em outras localidades, como na cidade vizinha, Araquari. No entanto, essa situação gera desafios logísticos consideráveis, uma vez que os caminhões precisam percorrer distâncias maiores para destinar o material escavado. Isso pode resultar em atrasos nas obras, aumento dos custos de transporte e impactos negativos na eficiência operacional. A dependência de terrenos externos dificulta o gerenciamento adequado dos resíduos e destaca a importância de uma gestão eficiente de recursos e planejamento urbano. A

exemplo, a distância entre o centro da obra objeto de estudo e o bota-fora licenciado utilizado localizado na cidade Araquari, é de 15,6km.

Além disso, é importante ressaltar que a quantidade de material descartado pode ser reduzida através de técnicas de gerenciamento de resíduos na obra, como a segregação do material em diferentes categorias (por exemplo, solo, concreto, asfalto, metais) e a reutilização ou reciclagem sempre que possível.

No que se refere à destinação do material não reaproveitado em uma obra de implantação de esgoto, a Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece que os resíduos da construção civil devem ser destinados a áreas licenciadas e cadastradas pelos órgãos competentes, e que o transporte e disposição final desses resíduos deve ser feito de acordo com as normas e regulamentos aplicáveis.

Em Santa Catarina, o IMA (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina) é o responsável pela execução da política ambiental do Estado de Santa Catarina. Suas principais atribuições são: licenciamento e fiscalização ambiental de empreendimentos e atividades potencialmente poluidoras, gestão de áreas protegidas, monitoramento e controle da qualidade ambiental, além de desenvolver projetos e ações para a conservação e preservação do meio ambiente no estado.

Sendo assim, a empresa responsável pela obra deve ser cadastrada como geradora do resíduo, e a empresa responsável pela execução da obra, cadastrada com transportadora. Além de que, o aterro para destinação do material deve ser cadastrado e devidamente licenciado para recebe-lo.

É necessário que cada carga transportada esteja acompanhada pelo Manifesto de Transporte de Resíduos, o qual contém informações sobre o resíduo, como sua classe e quantidade, assim como os dados do gerador, transportador e destinatário. Além disso, o manifesto também especifica o tipo de utilização da destinação do resíduo, como é no caso, para aterro.

No que diz respeito à logística da obra, é importante que o transporte do material destinado ao bota-fora seja feito de forma adequada, evitando-se a contaminação do solo e dos recursos hídricos ao longo do caminho. Para isso, é utilizado uma tela de proteção acima da caçamba do caminhão.

De acordo com Pinto (2000), ao direcionar os resíduos para áreas organizadas, é possível substituir a prática de despejo em bota-fora por centrais de reciclagem, onde o processamento dos resíduos deve seguir um fluxo simplificado, incluindo etapas de seleção, descontaminação, trituração e expedição. Essa transformação dos resíduos em uma nova matéria-prima permite sua utilização em serviços e obras da construção civil.

A tabela de custos da obra, apresenta que o valor de transporte de solos é de R$0,92 por metro cúbico, e para a destinação final destes materiais licitada no contrato é de R$4,45 por metro cúbico.

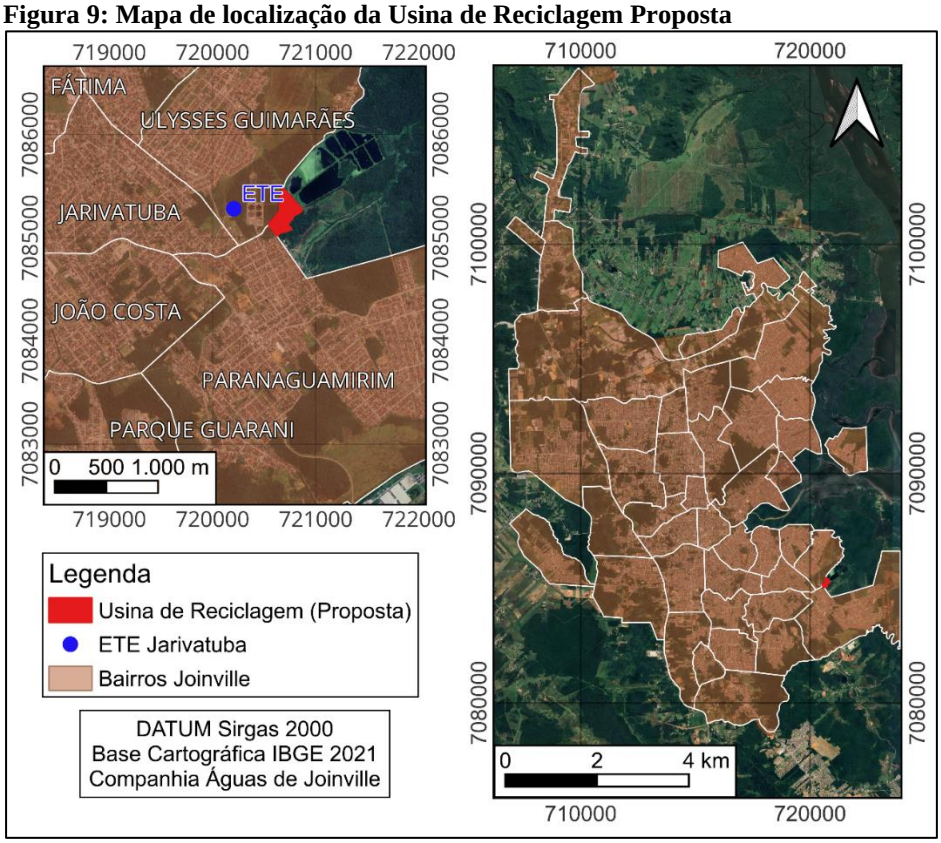
Proposta de usina de reciclagem

Visto que a NBR 15116 classifica o solo como Resíduo da Construção Civil Classe A, logo, esse tipo de resíduo possui potencial para ser reciclado e beneficiado pelas usinas de reciclagem de RCD, reduzindo assim o impacto ambiental e a necessidade de novas matérias-primas.

Em um projeto de estudo realizado pela Companhia Águas de Joinville sobre a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma usina de reciclagem na cidade de Joinville, foi consultada a empresa A.

Para a implantação da usina de reciclagem, foi considerado o local das lagoas de tratamento de esgoto desativados na Estação de Tratamento de Esgoto Jarivatuba, no projeto, mostrado no mapa da Figura 9, há uma distância de 3,5km do centro da obra objeto de estudo.

Figura 9: Mapa de localização da Usina de Reciclagem Proposta



Fonte: A autora (2023).

Na consulta realizada, a Companhia Águas de Joinville forneceu as informações de quantidades de materiais utilizados no processo de aterro das obras de expansão e manutenção no ano de 2022, tanto o que foi reaproveitado, quanto o material de empréstimo, além da quantidade de materiais destinados a bota-fora. A partir destes dados, a empresa A forneceu a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma usina de reciclagem na cidade de Joinville.

Na apresentação de viabilidade foram fornecidos os dados de custo de reciclagem do material retirado das escavações das obras, sendo os principais produtos deste processo, o solo-brita reciclado, a bica corrida reciclada e o rachão reciclado.

No orçamento apresentado, foi considerado que a densidade do RCD que entra na usina, é de 1,2 toneladas por metro cúbico, e que para uma usina de reciclagem do porte que atenda a cidade de Joinville, o custo de beneficiamento mensal deste material é de R$80,28 por metro cúbico, para qualquer agregado reciclado, conforme proposta apresentada nas Figuras 10 e 11.

Figura 10: Proposta de Usina de reciclagem em Joinville

Administração e operação de USINA DE RECICLAGEM - valores para 01 mês				
A PROPOSTA INICIAL É A COLOCAÇÃO DE UMA PARTE DE EQUIPAMENTOS E OPERAR POR 12 MESES PARA ENTÃO TER UMA IDÉIA REAL DOS RESÍDUOS A SEREM GERADOS E DAS DIFICULDADES DE BENEFICIAMENTO. A mão de obra será local, exceto profissionais chaves. Geração estimada de 50.700 m3 / mes. Etapas: pré peneirar com tromel peneira 25 mm, depois pick station, depois britar e então classificar com PENEIRA 4 DECKS e o solobrita vai para estocagem e secagem.				
descrição	**unid**	**quant**	**pr. Unit**	**total**
DESPESAS MENSAIS - CUSTO				
MDO				
engenheiro responsável (50%)	mês	0,5	R$ 23.206,15	R$ 11.603,08
encarregado geral	mês	2	R$ 11.829,88	R$ 23.659,76
gerente	mês	1	R$ 18.935,96	R$ 18.935,96
assistente administrativo	mês	6	R$ 5.469,68	R$ 32.818,05
ajudante geral - com insalubridade	mês	45	R$ 6.767,55	R$ 304.539,58
ajudante geral - com PERICULOSIDADE - abastecimento	mês	1	R$ 8.772,73	R$ 8.772,73
tecnico em segurança do trabalho	mês	2	R$ 8.438,32	R$ 16.876,64
mecanico	mês	3	R$ 9.526,98	R$ 28.580,93
auxiliar de mecanico	mês	3	R$ 6.297,33	R$ 18.891,98
soldador	mês	2	R$ 8.663,36	R$ 17.326,72
auxiliar de soldador	mês	2	R$ 5.807,64	R$ 11.615,27
faxineira	mês	2	R$ 5.469,68	R$ 10.939,35
almoxarife	mês	1	R$ 4.676,09	R$ 4.676,09
borracheiro	mês	2	R$ 5.600,00	R$ 11.200,00
ajudante de borracheiro	mês	2	R$ 6.297,33	R$ 12.594,65
controlador de acesso	mês	3	R$ 6.153,56	R$ 18.460,67
eletricista	mês	1	R$ 8.892,47	R$ 8.892,47
vigilante armado	mês	1	R$ -	R$ -
EQUIPAMENTOS				
carro utilitário saveiro/gol	unid	3	R$ 3.303,99	R$ 9.911,97
combustivel para o carro utilitário - 60 km / dia	litro	132	R$ 5,50	R$ 726,00
pré peneira MÓVEL >>>>>> tromel peneira 25 mm	unid	2	R$ 72.000,00	R$ 144.000,00
combustivel - 10 litros por hora x 180 horas	litro	3600	R$ 7,00	R$ 25.200,00
eh 315	unid	3	R$ 40.000,00	R$ 120.000,00
combustivel - 16 litros por hora x 180 horas	litro	5040	R$ 7,00	R$ 35.280,00
pick station - ___ posições	unid	2	R$ 40.000,00	R$ 80.000,00
BRITADOR	unid	1	R$ 120.000,00	R$ 120.000,00
combustivel -25 litros por hora x 180 horas	litro	4500	R$ 7,00	R$ 31.500,00
PENEIRA COM ESTEIRAS 4 decks	unid	1	R$ 100.000,00	R$ 100.000,00
combustivel - 14 litros por hora x 180 horas	litro	3600	R$ 7,00	R$ 25.200,00
REVOLVEDOR DE LEIRA	mês	2	R$ 30.000,00	R$ 60.000,00
combustivel - 10 litros por hora x 180 horas	litro	3600	R$ 7,00	R$ 25.200,00
PÁ CARREGADEIRA	unid	3	R$ 32.400,00	R$ 97.200,00
combustivel - 14 litros por hora x 180 horas	litro	7560	R$ 7,00	R$ 52.920,00
CAMINHÃO BASCULANTE TRUCK TRAÇADO 01	unid	1	R$ 27.000,00	R$ 27.000,00
combustivel -9 litros por hora x 180 horas	litro	1620	R$ 7,00	R$ 11.340,00
CAMINHÃO BASCULANTE TRUCK TRAÇADO 02	unid	1	R$ 27.000,00	R$ 27.000,00
combustivel -9 litros por hora x 180 horas	litro	1620	R$ 7,00	R$ 11.340,00
CAMINHÃO BASCULANTE TRUCK TRAÇADO 03	unid	1	R$ 27.000,00	R$ 27.000,00
combustivel -9 litros por hora x 180 horas	litro	1620	R$ 7,00	R$ 11.340,00
CAMINHÃO BASCULANTE TRUCK TRAÇADO 04	unid	1		R$ -
combustivel -9 litros por hora x 180 horas	litro	1620		R$ -
CAMINHÃO POLI GUINDASTE	unid	1	R$ -	R$ -
combustivel - 8 litros por hora x 180 horas	litro	1440	R$ 7,00	R$ 10.080,00
CAMINHÃO MUNCK	unid	1	R$ 28.500,00	R$ 28.500,00
combustivel - 8 litros por hora x 180 horas	litro	1440	R$ 7,00	R$ 10.080,00
CAMINHÃO COMBOIO	unid	1	R$ 28.500,00	R$ 28.500,00
combustivel - 8 litros por hora x 180 horas	litro	1440	R$ 7,00	R$ 10.080,00
caminhão roll on off / cb / pipa	unid	2	R$ 40.000,00	R$ 80.000,00
combustivel - 8 litros por hora x 180 horas	litro	2880	R$ 7,00	R$ 20.160,00
banheiro químico e remoções	unid	5		R$ -
container para escritório	unid	2		R$ -
container banheiro e vestiário	unid	3		R$ -
container refeitório	unid	3		R$ -
container almoxarifado	unid	2		R$ -
ferramentas manuais E cabos de aço	vb	0,08	R$ 25.000,00	R$ 2.000,00
despesas com fornecimento de água e afastamento esgoto	vb	1		R$ -
despesas com fornecimenbto de energia elétrica	vb	1		R$ -
EPIs	vb	1	R$ 8.604,63	R$ 8.604,63
montagem das estuturas - materiais de construção, guindaste, eh, pc,	vb	0,08	R$ 200.000,00	R$ 16.666,67

Fonte: Companhia Águas de Joinville (2023).

Figura 11: Proposta de Usina de reciclagem em Joinville

equipamentos e acessórios escrit, vest., almox. Refeit (computador, impress,. Nobreak, mesas, cadeiras, bancos, tapetes,	unid	0,08	R$ 55.000,00	R$ 4.583,33
material de escritório e café	vb	1	R$ 550,00	R$ 550,00
material de limpeza	vb	1	R$ 600,00	R$ 600,00
passagens aéreas - 2RH+ADM+FRAN+3 OPER.+1MANUT por mês	UNID	8	R$ 1.500,00	R$ 12.000,00
HOTEL 8 PESSOAS X 3 DIAS	diaria	24	R$ 250,00	R$ 6.000,00
refeição - café almoço jantar	diaria	24	R$ 105,00	R$ 2.520,00
GALPÃO DE LONA - 3.000 m2	m2	3000		R$ -
caçambas de 05 m3	mês	8	R$ 500,00	R$ 4.000,00
caçambas de 32 m3	mês	6	R$ 2.000,00	R$ 12.000,00
placas de identificação do empreendimento	unid	0,08	R$ 7.500,00	R$ 625,00
alojamento	vb	1,00	R$ 7.000,00	R$ 7.000,00
outros não previstos	vb	0,08	R$ 50.000,00	R$ 4.166,67
			TOTAL GERAL	**R$ 1.871.258,21**
			total com bdi	**R$ 4.067.952,62**

obs.: jornada normal de trabalho 7-17 h, com 1 hora de almoço
obs.: receita com metais, madeiras e recicláveis -- será da contratante

adm e rh serão no local

bdi	
impostos	22
adm indireta	12
lucro	20
total	54
diferença	46

capacidade de processamento - 2 TROMELLS	**200**	m3/hora
capacidade diária de processamento	2000	m3/dia
volume de material a processar	50.672,48	m3
tempo necessário	25,33624092	dias
paralisação por chuva e outros	20%	
tempo total necessário	30,40348911	
arredondamento	30	dias
VALOR por dia	**R$ 135.598,42**	
valor total	**R$ 4.067.952,62**	
VALOR POR M3	**R$ 80,28**	

FAZER HORA EXTRA

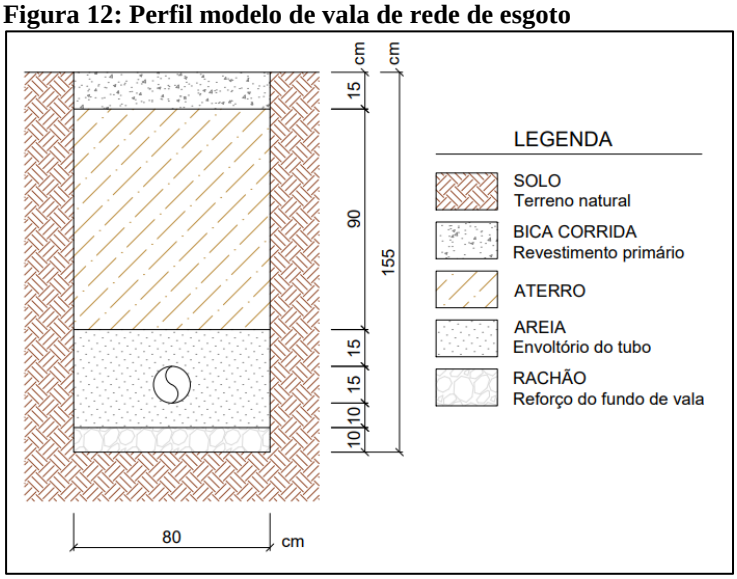
Fonte: Companhia Águas de Joinville (2023).

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os valores do custo de processo de reciclagem, e calculado a viabilidade técnica e econômica para a obra objeto de estudo, de forma a determinar o comparativo do que foi utilizado no modelo tradicional de aterro, com material de reaproveitamento e de empréstimo, e com a utilização de agregado reciclado para aterro das valas.

Trecho modelo

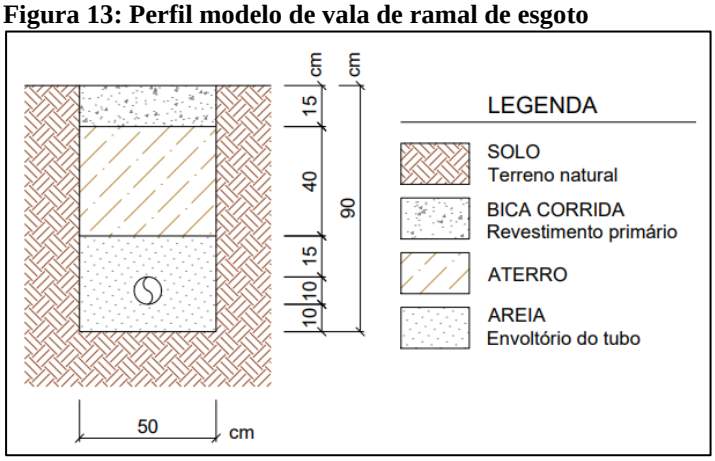
A partir dos dados dispostos, foi considerado um trecho modelo, sendo que para as redes, se tem o perfil de vala conforme a Figura 12, e as dimensões de 1,55m de profundidade e 0,80m de largura, e para os ramais, se tem o perfil de vala conforme a Figura 13, e com as dimensões de 0,90m de profundidade e 0,50m de largura.

Figura 12: Perfil modelo de vala de rede de esgoto



Fonte: A autora (2023).

Figura 13: Perfil modelo de vala de ramal de esgoto



Fonte: A autora (2023).

O trecho modelo considerado, tem 100m de extensão de rede de 150mm de diâmetro e 12 ramais de 100mm de diâmetro com 5,50m de comprimento cada, logo para este trecho foi cortado 214,40m³ de material escavado, e para a implantação da rede e o reaterro da vala, foi utilizado 10m³ de rachão para o reforço de fundo de vala, 63,10m³ de areia para o envoltório do tubo, 116,40m³ de aterro compactado, e 24,90m³ de bica corrida compactada no revestimento primário.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos levantamentos apresentados, foi analisado o comparativo entre o aterro da vala utilizando o reaproveitamento do solo in natura, o empréstimo de material (areia), e utilizando os agregados reciclados pela usina de reciclagem.

Aterro da vala com reaproveitamento do solo *in natura*

Para análise da utilização do reaproveitamento do solo *in natura*, ou seja, sem quaisquer tipos de beneficiamento, foi considerado os perfis de solo das Figura 12 e 13, e informações apresentadas no capítulo anterior, como custo do serviço de aterro de vala considerando o reaproveitamento do solo e o ensaio realizado na rua José Francisco Ramos.

No trecho considerado, o volume do solo cortado foi de 214,40m³, e o volume do solo reaproveitado para o aterro das valas foi de 116,50m³ compactado, o que totaliza 98m³ de solo escavado excedente, não reutilizado. Considerando o empolamento de 40% para solo argiloso, o solo cortado equivale a cerca de 137,20m³ solo solto que será destinado para bota-fora licenciado, localizado na cidade de Araquari/SC, que fica cerca de 15,6km de distância do centro da obra. Para o transporte, foi considerado 11 viagens de um caminhão caçamba de capacidade de 13m³.

A análise de custo do assentamento da tubulação, considerando o reaproveitamento do solo do trecho modelo é apresentada na Tabela 1. Os valores unitários foram obtidos da planilha de custos da obra fornecida pela Companhia Águas de Joinville, apresentados na Figura 2.

Tabela 1: Análise de custos – reaproveitamento do solo

Serviço	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R$)	Custo total (R$)
Regularização de Fundo de Vala (Compactação manual fundo de valas com maço=10kg para rede de esgoto)	m²	113	5,85	661,05
Lastro de Rachão	m³	10	113,53	1135,30
Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 100	m	66	2,52	166,32
Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 150	m	100	3,07	307,00
Lastro e envoltória de areia	m³	63,1	75,51	4764,68
Reaterro manual de valas com compactação mecanizada por soquete vibratório	m³	116,4	29,5	3433,80
Execução de pavimentação com fornecimento de saibro (seleção do material, espalhamento, compactação e regularização da superfície)	m³	24,9	60,57	1508,19
Transporte de bota-fora (caminhão caçamba de 13m³)	km	171,6	0,92	157,87
Destinação de bota-fora	m³	137,2	4,45	610,54
			TOTAL	**12744,76**

Fonte: elaboração própria a partir dos dados da Companhia Águas de Joinville (2023).

Deste modo, o custo da execução da implantação da rede de esgoto no trecho modelo é de R$ 12.744,76. Porém, além na análise econômica do método de execução do aterro, deve ser considerado a qualidade do material utilizado no processo.

Como a obra objeto de estudo está localizada na região sul de Joinville, a partir das considerações do capítulo 2, pode-se afirmar que o solo da região pode ser definido entre Solos Indiscriminados de Mangue e Cambissolo Háplico, segundo GAPLAN (1986). Nos casos em que na escavação, seja avaliado o solo como Mangue, o mesmo não deve ser reaproveitado, e deve ser despejado direto no caminhão que fará o transporte até o local de bota-fora. Porém, se o solo tiver características visuais de material argila arenoso, sem contaminação de matéria orgânica, e sem excesso de umidade, seja por condições climáticas ou por umidade natural do terreno, o material pode ser julgado como próprio para reaterro da vala.

Neste estudo, foi considerado que o solo reaproveitado corresponde ao tipo citado no capítulo anterior, com ensaios apresentados nas Figuras 5 e 6, que caracterizam o solo como argila siltosa, que apesar de atingir o CBR, apresentou que o equivalente de areia e limites de liquidez e plasticidade não atenderam à normatização vigente, além da granulometria estar fora do padrão estabelecido. Outro fator que deve ser considerado na qualidade do material de reaterro é o desvio de umidade, que neste trecho se apresentou elevado.

Neste caso, o material foi reprovado para sua utilização, logo, conforme termo de referência da obra, o material da vala deve ser trocado por 100% de areia compactada.

Aterro da vala com material de empréstimo (areia)

Para análise do aterro da vala com material de empréstimo, no caso areia, foi considerado os perfis de solo das Figuras 12 e 13, e informações apresentadas no capítulo 3, como custo do fornecimento da areia e serviço de compactação, bem como, as informações de ensaio realizado na rua José Guatemala.

Como nesta análise será considerado que 100% do material escavado será destinado para o bota-fora, pois o aterro será constituído somente de areia fornecida, deve-se analisar o transporte e destinação deste material. No trecho considerado, o volume do solo cortado foi de 214,40m³ compactado, considerando o empolamento de 40% para solo argiloso, o solo cortado equivale a cerca de 300,16m³ solo solto que será destinado para bota-fora licenciado, localizado na cidade de Araquari/SC, que fica cerca de 15,6km de distância do centro da obra. Para o transporte, foi considerado 23 viagens de um caminhão caçamba de capacidade de 13m³.

A análise de custo do assentamento da tubulação, considerando o aterro das valas do trecho modelo com areia, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1: Análise de custos – aterro com areia

Serviço	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R$)	Custo total (R$)
Regularização de Fundo de Vala (Compactação manual fundo de valas com maço=10kg para rede de esgoto)	m²	113	5,85	661,05
Lastro de Rachão	m³	10	113,53	1135,30
Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 100	m	66	2,52	166,32
Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 150	m	100	3,07	307,00
Lastro e envoltória de areia	m³	63,1	75,51	4764,68
Aterro/reaterro de valas, poços e cavas, com fornecimento de areia e compactação, inclusive transporte	m³	116,4	114,19	13291,72
Execução de pavimentação com fornecimento de saibro (seleção do material, espalhamento, compactação e regularização da superfície)	m³	24,9	60,57	1508,19
Transporte de bota-fora (caminhão caçamba de 13m³)	km	358,8	0,92	330,10
Destinação de bota-fora	m³	300,16	4,45	1335,71
			TOTAL	**23500,07**

Fonte: elaboração própria a partir dos dados da Companhia Águas de Joinville (2023).

Deste modo, custo desta vala utilizando areia como aterro ficou em R$23.500,07, logo, é possível afirmar que, o custo deste método ser 84,34% a mais que com o reaproveitamento do solo. Porém, a utilização da areia adensada para o aterro de vala, segundo ensaios, atinge a resistência do aterro solicitada, bem como, os demais parâmetros exigidos.

Aterro da vala com agregado reciclado

Na análise de reciclagem do material, foi considerado que 100% do material escavado é destinado para a usina de reciclagem, para ser beneficiado e separado, e que o aterro será constituído somente dos agregados reciclados pela usina, logo foi considerado o transporte e o custo do beneficiamento do material. No trecho considerado, o volume do solo cortado foi de 214,40m³ compactado, considerando o empolamento de 40% para solo argiloso, o solo cortado equivale a cerca de 300,16m³ solo solto que será destinado para a usina de reciclagem, cuja sua localização proposta é anexa a ETE Jarivatuba, conforme Figura 9, que fica cerca de 3,5km de distância do centro da obra. Para o transporte do material, foi considerado 46 viagens de um caminhão caçamba de capacidade de 13m³, sendo 23 de transporte de solo escavado até a usina, e 23 viagens para transporte de agregado reciclado até a obra, totalizando 161 km.

Para a camada de aterro, o agregado reciclado escolhido para a análise foi o solo-brita, que apresenta características físicas que atendem as especificações solicitadas pelo termo de referência para ser utilizado como aterro de vala.

Para a execução de pavimentação com fornecimento de bica corrida reciclada, foi atribuído o valor de regularização mecanizada de superfície para o serviço de espalhamento e regularização da superfície, e de R$80,28 do fornecimento do agregado reciclado. A análise de custo do assentamento da tubulação, considerando o aterro das valas do trecho modelo com agregado reciclado, é apresentada na Tabela 3.

Tabela 2: Análise de custos – aterro com agregado reciclado

Serviço	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R$)	Custo total (R$)
Regularização de Fundo de Vala (Compactação manual fundo de valas com maço=10kg para rede de esgoto)	m²	113	5,85	661,05
Lastro de Rachão Reciclado	m³	10	80,28	802,80
Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 100	m	66	2,52	166,32
Assentamento de tubulação de PVC de parede maciça para esgoto DN 150	m	100	3,07	307,00
Lastro e envoltória de areia	m³	63,1	80,28	5065,67
Solo-brita reciclado para aterro	m³	116,4	80,28	9344,59
Reaterro manual de valas com compactação mecanizada por soquete vibratório	m³	116,4	29,5	3433,80
Fornecimento de bica corrida reciclada	m³	24,9	80,28	1998,97
Regularização mecanizada de superfícies	m²	113	0,08	9,04
Transporte até a usina (caminhão caçamba de 13m³) - ida e volta	km	161	0,92	148,12
			TOTAL	**21937,36**

Fonte: elaboração própria a partir dos dados da Companhia Águas de Joinville (2023).

Sendo assim, o custo da execução da implantação da rede de esgoto no trecho modelo é de R$ 21.937,36, para a vala aterrada com agregado proveniente da reciclagem do material escavado, o que equivale a 6,65% de economia em comparação com o modelo de utilização de areia como aterro, e 72,13% mais caro que modelo de reaproveitamento do solo escavado sem tratamento. Apesar do valor da reciclagem do material em comparação aos métodos apresentados anteriormente, a maior economia se dá na não destinação de bota-fora, visto que para obras em uma cidade como Joinville, onde não há terrenos licenciados para esta destinação, a tendência é ser

direcionado as cidades vizinhas, aumentando a distância. Além de que, no processo de reciclagem, todo o material escavado é levado para a usina, o que elimina o custo das taxas de destinação de bota-fora.

Análise dos impactos ambientais

O reaproveitamento do material escavado, quando viável, apresenta vantagens ambientais significativas. Reduz a demanda por recursos naturais, como a areia, diminuindo a extração de recursos do meio ambiente. Além disso, evita a disposição desse material em aterros, reduzindo a geração de resíduos e minimizando os impactos associados ao transporte. Porém não há garantia da qualidade do material, o que leva as empresas de saneamento fazerem a troca do material escavado por material de empréstimo, como areia, afim de evitar patologias nas valas, como recalque.

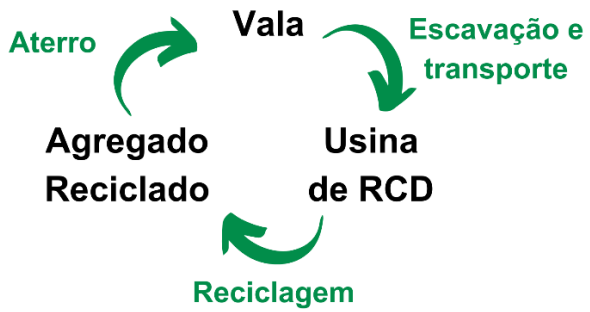
A utilização de areia comprada como material de aterro para as valas escavadas apresenta alguns aspectos a serem considerados. A extração de areia pode causar danos aos ecossistemas costeiros e fluviais, além de impactar negativamente os recursos hídricos. O transporte da areia também gera emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para as mudanças climáticas.

O uso de agregado reciclado, proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, pode ser uma alternativa que gera menos impactos ambientais no processo de aterro das valas escavadas. Ao utilizar esse material, há a redução da demanda por recursos naturais e a diminuição da quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários. Além disso, contribui para a economia de energia e a redução das emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de materiais virgens.

A comparação dos impactos ambientais entre as opções de material escavado, areia comprada e agregado reciclado deve considerar diversos aspectos, como a disponibilidade e qualidade dos recursos, os impactos da extração e transporte, as emissões de gases de efeito estufa, a gestão de resíduos e os efeitos na biodiversidade e nos recursos hídricos. É necessário realizar estudos específicos e avaliações de ciclo de vida para obter uma visão abrangente dos impactos ambientais em cada cenário.

Ao escolher reaproveitar esse material, estamos fechando o ciclo de vida dos recursos, evitando a extração desnecessária de recursos naturais e diminuindo a quantidade de resíduos gerados. Essa prática impulsiona a transição de um modelo linear de produção e consumo para um modelo circular, no qual os materiais são mantidos em uso pelo maior tempo possível, reduzindo assim a necessidade de novas extrações e a produção de resíduos. A economia circular promove a eficiência no uso dos recursos, a redução dos impactos ambientais e a criação de oportunidades econômicas sustentáveis, assegurando a preservação dos ecossistemas e o bem-estar das gerações vindouras. A Figura 14 apresenta o fluxograma do modelo da utilização dos agregados reciclados provenientes do material de escavação nas valas de saneamento, pela visão de economia circular.

Figura 1: Fluxograma do método de reciclagem como economia circular



Fonte: A autora (2023).

Em suma, a escolha do material para o aterro das valas escavadas deve ser baseada em uma abordagem sustentável e equilibrada, levando em conta os aspectos ambientais, econômicos e técnicos. Dessa forma, será possível minimizar os impactos ambientais, promover a sustentabilidade e garantir a eficiência das obras de implantação de rede de esgoto.

CONCLUSÕES

A partir da análise realizada sobre a reciclagem e reaproveitamento de material proveniente de escavação das obras públicas de saneamento em solo de Joinville, podemos concluir que essa prática apresenta benefícios significativos em termos de sustentabilidade ambiental, redução de custos e otimização de recursos disponíveis.

Os objetivos do estudo foram alcançados, visto que foi realizado o comparativo entre o método de reciclagem do material retirado da vala para reutilização no aterro com o método de aterro com areia e com o reaproveitamento de material "in natura", e validado satisfatoriamente. Com isso, foi possível constatar que o a reciclagem do material para a utilização no aterro das valas garante a qualidade do aterro, diminuição de custos da obras, e diminuição dos impactos ambientais.

A análise das características mecânicas do solo e a viabilidade econômica dos diferentes tipos de aterros foram fundamentais para embasar os resultados deste estudo. Com base nas planilhas de custo fornecidas pela Companhia Águas de Joinville e a proposta de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil, e a partir de um trecho de rede coletora de esgoto modelo, foi possível comparar os resultados de economia de recursos proporcionado pelo uso de agregado reciclado no aterro das valas, que equivale a 6,65% de economia em comparação com o modelo de utilização de areia como aterro, e apesar de ser 72,13% mais caro que modelo de reaproveitamento do solo escavado sem tratamento, garante a qualidade solicitada no reaterro.

Além dos benefícios econômicos em comparação com o método que utiliza areia como material de aterro, a prática de reciclagem e reaproveitamento do solo contribui para a redução de custos na obra e promove a sustentabilidade ambiental. A eliminação da destinação em bota-fora do solo escavado representa um ganho em termos de gestão de resíduos, minimizando o impacto ambiental associado a essas atividades.

Portanto, este estudo destaca a importância de considerar a reciclagem para o reaproveitamento do solo como uma prática a ser adotada nas obras públicas de saneamento, visando à redução de custos e à adoção de práticas sustentáveis. A reciclagem e o beneficiamento do solo proveniente da construção civil apresentam-se como alternativas viáveis, promovendo a economia circular, visto que utilizando a reciclage, o material escavado que seria um resíduo, retorna para a vala com qualidade de aterro, minimizando o impacto ambiental e contribuindo para a construção de um futuro com maior sustentabilidade.

Diante de tais considerações, recomenda-se para trabalhos futuros um maior aprofundamento sobre os modelos de reciclagem e beneficiamento do solo como resíduos da construção civil, bem como de um estudo de monitoramento do comportamento de uma vala aterrada com material proveniente da reciclagem do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, Leandro Reis. Boas práticas para obras de reaterro de valas e recomposição de pavimentos. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2016.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7182: Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2016.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

4. BOTELHO, M. H. C. (1998). Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades. 2º ed. Edgard Blucher, São Paulo.

5. CARVALHO, João Paulo Barbosa; MOTTA, Rosângela dos Santos. Estudo laboratorial do comportamento mecânico de agregados reciclados para aplicação em reaterro de valas. Transportes, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 103-116, 30 abr. 2021. Lepidus Tecnologia. http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v29i1.2228.

6. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) – Resolução CONAMA número 307, de 05 de julho de 2002.

7. LOPES, Humberto Naberezny. Recomposição da pavimentação das vias urbanas de São Paulo em decorrência da abertura de valas no pavimento. 2006. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

8. PINTO, T. P. Reciclagem no canteiro de obras – responsabilidade ambiental e redução de custos. Revista Téchne. n. 49, p.64-68. nov/dez 2000.

9. SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática (GAPLAN). Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173p.

10. WASTE & RESOURCES ACTION PROGRAMME (Inglaterra). *Recycled and stabilised materials in trench reinstatement*. 2007. Disponível em: <www.wrap.org.uk>. Acesso em: 19 nov. 2022.