

III-072 - ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NAS BACIAS DOS RIOS SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA

José Constâncio da Silva Neto⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental (UCB), Pós-graduando em Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos e Líquidos (UFG)

Pedro Alves Duarte

Engenheiro Ambiental (UCB), Pós-graduando em Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos e Líquidos (UFG)

Simone Costa Pfeiffer

Engenheira Geológica. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Professora Adjunta da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Sérgio Luis da Silva Cotrim

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialista em Resíduos e Água nas Cidades pelo Ministério das Cidades. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), especialista sênior em infraestrutura de saneamento do Ministério da Integração Nacional.

Endereço⁽¹⁾: QE 28 conjunto D casa 28 - Guará II - Brasília - Distrito Federal - CEP: 71060-042 - Brasil – Tel: (61) 3567-0134 - e-mail: jose.csn@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo relacionar os custos envolvidos na implantação de aterros sanitários com diferentes portes. A composição dos custos foi baseada nos projetos desenvolvidos para municípios situados em sete estados das bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Parnaíba. Desta forma, foram projetados aterros sanitários para sete faixas populacionais que variaram de 10 mil a 250 mil habitantes. Foram considerados os itens de infraestrutura de aterro sanitário e execução de uma vala com a vida útil de três anos, composto por: preparação do terreno, escavação da vala, impermeabilização da base e taludes da vala, cercamento e cortinamento vegetal, poços de monitoramento de águas subterrâneas, acessos, edificações de apoio, instalações elétricas, sistemas de drenagens de gases, água pluvial e lixiviados, estação de tratamento de líquidos lixiviados e balança rodoviária. Também foram considerados os equipamentos necessários para a operação dos aterros. Os custos unitários utilizados na estimativa foram feitos com base no Sistema Nacional de Preços e Índices da Construção Civil (SINAPI) e no Custo Unitário Básico por metro quadrado (CUB/m²), o que permite a atualização periódica dos custos uma vez que estes índices são publicados mensalmente. Os aterros foram dimensionados com base em critérios e parâmetros do Termo de Referência do Edital 23/2009 da CODEVASF, sobre Projetos de Resíduos Sólidos nas bacias dos rios São Francisco e Parnaíba. Embora os estados da Bahia e Maranhão tenham apresentado maiores custos de implantação, e Alagoas e Piauí os menores custos, a variação entre os custos dos estados foi pequena. Os custos *per capita* de implantação decresceram com o aumento do porte do aterro, sendo obtidas diferenças não significativas entre o custo máximo e mínimo, o que permitiu a análise com base apenas nos custos máximos, que serviu para toda a região. Os itens dos aterros que apresentaram maiores custos foram os equipamentos, a implantação da vala - composta por preparo do terreno e escavação - e a impermeabilização das valas. O item que representou o menor custo foi o sistema de drenagem - composto pelas drenagens pluvial, de lixiviados e de gases. Os custos totais *per capita* de implantação dos aterros variaram de R\$ 184,06/hab, no aterro sanitário para 10 mil habitantes, a R\$ 30,16/hab, no aterro sanitário para 250 mil habitantes.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, disposição final, aterro sanitário, estimativa de custo.

INTRODUÇÃO

No Brasil, aproximadamente 35% dos municípios dispõem os resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. (ABRELPE, 2010). A disposição de resíduos em “lixões” gera impactos ambientais, como a poluição do solo, da água e do ar, por meio dos líquidos lixiviados e do biogás, oriundos da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos. Os líquidos lixiviados se caracterizam ainda por apresentar altas concentrações de nitrogênio amoniacal, salinidade e, dependendo da composição dos resíduos depositados, concentrações elevadas de metais pesados. Nestes ambientes, é comum a presença de pessoas excluídas

socioeconomicamente, inclusive idosos e crianças, trabalhando como catadores em condições precárias e insalubres (IBAM, 2007).

Entretanto, a principal alternativa indicada para a disposição adequada de resíduos sólidos urbanos no País é o aterro sanitário, sendo a solução mais viável técnica e economicamente, além de minimizar os impactos ambientais e de reduzir os danos à saúde pública.

Se o quadro atual da disposição de resíduos e a necessidade de universalização dos serviços de saneamento já impunham a implantação de soluções num curto período de tempo, a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, reforça em seu texto que deverá ser implantada a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos após a publicação da lei, em até 4 (quatro) anos.

Diversos projetos e obras de saneamento vêm sendo implantados no País, principalmente por meio dos programas de governo, como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). A Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) é uma empresa pública, vinculada ao Ministério da Integração Nacional, que vem implementando, com verbas do PAC, projetos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos nos estados de Alagoas, Bahia, Maranhão, Minas Gerais, Pernambuco, Piauí e Sergipe.

O presente trabalho parte da preocupação do Governo Federal em disponibilizar os recursos necessários para a execução dos projetos de resíduos sólidos urbanos, considerando uma concepção que facilite a gestão dos aterros sanitários pelos municípios ou consórcios intermunicipais, ou seja, visando a implantação de unidades de excelência, possibilitando uma operação mais simplificada das unidades.

Os termos de referência da CODEVASF para projetos de aterros sanitários consideram a vida útil para 30 anos e dividem sua execução ao longo do horizonte de projeto, em etapas: a primeira etapa, objeto deste trabalho, consiste em implantação de infraestrutura e execução de uma vala para aterramento dos resíduos sólidos com vida útil de três anos, contemplando os serviços de preparo do terreno, escavação da vala, impermeabilização da base e taludes da vala, construção de cerca e cortinamento vegetal, poços de monitoramento de águas subterrâneas, balança rodoviária, sistemas de drenagens de gases, água pluvial e lixiviados, estação de tratamento de lixiviados, deixando o aterro apto a ser operado. Esta estimativa de custos não considera o custo de aquisição das áreas para implantação dos aterros sanitários, nem a execução de valas sépticas para disposição de resíduos de serviços de saúde.

As outras etapas, que não são consideradas na estimativa, consistem apenas em ampliar o aterro, composto por escavação de novas valas, impermeabilização e implantação dos sistemas de drenagem.

Em função da falta de uma base de dados consolidada de custos de implantação de aterro sanitário, os órgãos financiadores de projetos frequentemente encontram dificuldades na avaliação econômica dos projetos de aterros sanitários. Desta forma, este trabalho se justifica por ser necessário o conhecimento dos custos de implantação de aterro sanitário, sabendo que esse varia de acordo com o porte do aterro.

O objetivo geral deste trabalho foi estimar os custos de implantação de aterro sanitário de acordo com o porte do empreendimento. Os objetivos específicos foram: analisar a variação dos custos *per capita* entre aterros de mesmo porte para estados diferentes, comparar os custos *per capita* obtidos entre aterros de diferentes portes, verificar os macroitens que apresentam custos mais significativos na implantação de um aterro sanitário, e gerar uma tabela com os custos *per capita* de implantação de aterro sanitário para uma menor amplitude populacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Definição dos estados considerados nas estimativas de custos

As estimativas de custos foram elaboradas para os seguintes estados: Alagoas, Bahia, Maranhão, Minas Gerais, Pernambuco, Piauí e Sergipe.

Definição das faixas populacionais para o dimensionamento dos aterros

Foram definidas sete faixas populacionais variando de 10 mil a 250 mil habitantes, pois de acordo com o IBGE (2009) mais de 95% dos municípios do País possuem população inferior a 250 mil habitantes. As taxas

de geração de resíduos *per capita* adotadas para cada faixa de população estão de acordo com o Termo de Referência do Edital 23/2009 da CODEVASF, que consideram os resíduos domésticos, os resíduos de pequenos estabelecimentos comerciais e os resíduos públicos conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Faixas populacionais e taxa de geração de resíduos *per capita* adotadas.

Faixas Populacionais (habitantes)	Taxa de geração de resíduos <i>per capita</i> (kg/habitante.dia)
até 10.000	0,6
de 10.001 a 30.000	0,65
de 30.001 a 50.000	0,65
de 50.001 a 100.000	0,7
de 100.001 a 150.000	0,8
de 150.001 a 200.000	0,8
de 200.001 a 250.000	0,9

Fonte: modificado de Codevasf 2009.

Concepção dos aterros em função do porte e descrição da planilha de custos

As concepções dos aterros foram definidas em função do porte, considerando os aterros sanitários em vala, para municípios de até 50.000 habitantes; e os aterros sanitários mistos com população superior a 50.000 habitantes.

Para os aterros em vala definiu-se os taludes com inclinação de 1V:2H com a disposição de resíduos na vala sem a entrada do caminhão no interior da mesma para disposição final dos resíduos; desta forma, não é feito um processo de compactação previsto na operação do aterro, entretanto, nesta fase, após atingir determinado nível de preenchimento de resíduos, o caminhão coletor transita sobre a camada subjacente de resíduos já dispostos, justificando a adoção da massa específica do resíduo aterrado de 0,40 t/m³. Entretanto, para os aterros de 50.000 habitantes, considerou-se a massa específica do resíduo aterrado de 0,70 t/m³, pois nestes foi prevista a compactação com trator de esteiras.

Para os aterros sanitários mistos, foi prevista a disposição dos resíduos em vala continuando com a formação de patamares (verticalização do aterro), ficando os taludes da vala com inclinação de 1V:2H e dos patamares na inclinação de 1V:3H, com a largura das bermas entre os patamares de 5m. Nesta concepção, ocorre a compactação dos resíduos com trator de esteiras, por isso, foi adotado o peso específico do resíduo aterrado de 0,70 t/m³.

Para todas as faixas populacionais, adotou-se uma profundidade de 5m na vala e, para os aterros mistos, as alturas dos patamares para a primeira etapa foram concebidas de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Altura das valas dos aterros sanitários por faixa de população.

Faixas populacionais (habitantes)	Tipo de aterro	Profundidade da vala (m)	Número de patamares	Altura do patamar (m)
até 10.000	Vala	5,0	0	-
de 10.001 a 30.000	Vala	5,0	0	-
de 30.001 a 50.000	Vala	5,0	0	-
de 50.001 a 100.000	Misto	5,0	1	5,0
de 100.001 a 150.000	Misto	5,0	1	5,0
de 150.001 a 200.000	Misto	5,0	1	5,0
de 200.001 a 250.000	Misto	5,0	2	5,0

Para a estimativa de custo de implantação do aterro sanitário elaborou-se uma planilha no software Microsoft Excel 2007 considerando os itens mais relevantes nos custos de aterros: os acessos; a movimentação de solo; o sistema de impermeabilização do aterro, com a compactação de argila e instalação da geomembrana; os sistemas de drenagem pluvial, de gases e de lixiviados; a estação de tratamento e acumulação de lixiviados; e os equipamentos usados na operação do aterro.

Nesta estimativa procurou-se seguir a ordem cronológica de execução da obra considerando os serviços preliminares, contemplados pela mobilização e desmobilização de equipamentos e pessoas, placa de identificação de obra de 12m², construção de uma edificação de apoio à obra, aluguel de veículo por 6 meses, durante a mobilização das obras, administração local e pela locação das unidades do aterro sanitário.

Os elementos de infraestrutura considerados foram: construção dos acessos internos em pedriscos, as instalações elétricas, contendo uma subestação de transmissão para os aterros a partir de 50.000 habitantes e os pontos de iluminação, o cercamento e um cortinamento vegetal da área do empreendimento, a construção de um escritório administrativo, a construção da guarita, a construção do escritório e fornecimento da balança rodoviária para pesagem dos resíduos sólidos, a execução dos poços de monitoramento de águas subterrâneas e a compra e instalação de um reservatório de água para abastecimento das unidades administrativas com 5m³. Foi previsto o plantio de grama em torno do escritório administrativo e da guarita.

No item referente à implantação da vala do aterro sanitário foi adotada uma vida útil de 3 anos considerando os serviços de preparo do terreno e de movimentação de solo pelos serviços de escavação, carga, transporte e espalhamento.

A impermeabilização da base e dos taludes da vala foi dividida em três partes: impermeabilização com argila, impermeabilização com geomembrana e proteção mecânica da geomembrana, contemplando a aquisição, o espalhamento e a compactação de material argiloso, com grau de compactação de 95% do Proctor Normal, fornecimento e instalação da geomembrana de PEAD de 1,50 mm de espessura, e a escavação, carga, transporte e espalhamento de material para proteção mecânica da geomembrana.

A drenagem foi concebida em três sistemas: drenagem pluvial, de lixiviados e de gases. Para o sistema de drenagem pluvial, consideraram-se drenos superficiais em canaletas pré-moldadas semicirculares de concreto DN 300 mm e drenos em vala escavada em seção quadrada, com 0,50m de profundidade e largura. Para o sistema de drenagem dos lixiviados, adotou-se tubo drenante de PVC DN 100 mm, envolvido em brita e geotêxtil, pois assim é descrita no indicador econômico utilizado, apesar da concepção defendida pelos autores utilizar os mesmos materiais, porém sem o envelopamento da brita com geotêxtil, evitando a possibilidade de colmatagem biológica do dreno. Os drenos de lixiviados são interligados ao sistema de drenagem de gases, que é composto por drenos verticais com tubos de concreto de DN 300 mm e malha metálica externa com o preenchimento de brita entre o tubo e a malha. Para cada dreno foi previsto apenas um tubo de concreto com 1,0m de altura, se elevando a partir da camada de proteção mecânica. Não foram previstos mais tubos, pois considera-se que a elevação do dreno é um item de operação de aterros, pois é feita de acordo com a disposição de resíduos em novas camadas.

Foi previsto um sistema de tratamento de lixiviados com a seguinte concepção: lagoa anaeróbia seguida de duas lagoas facultativas em série. Após o tratamento o efluente é encaminhado para um tanque de acumulação de lixiviados, de onde poderá ser recirculado no aterro sanitário ou encaminhado para estações de tratamento de esgoto sanitário, conforme apresentado na figura 1.

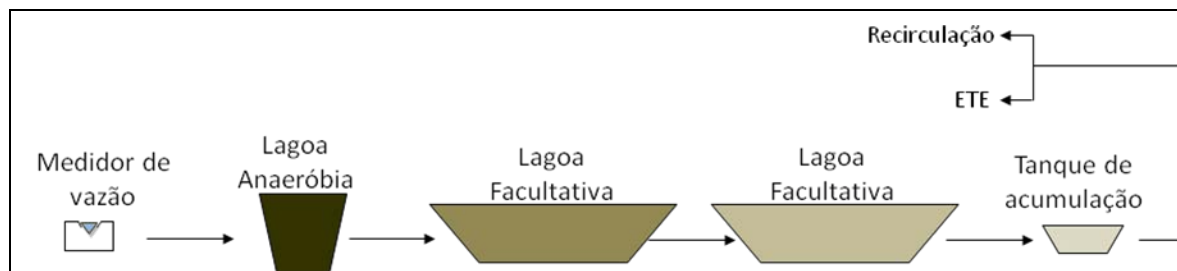


Figura 1: Concepção do sistema de tratamento de lixiviados

Os elementos de infraestrutura do sistema de tratamento são: a drenagem pluvial feita em canaletas pré-moldadas semicirculares de concreto DN 300 mm, o cercamento, o gramado, o medidor de vazão, as caixas de distribuição, as caixas de passagem de lixiviados a edificação de um laboratório para preservação de amostras, apenas para os aterros de 150 mil, 200 mil e 250 mil habitantes. Para a implantação das lagoas de tratamento considerou-se o preparo do terreno, a escavação, a carga, o transporte, o espalhamento e a compactação de argila com grau de compactação de 95% do Proctor Normal e o fornecimento e instalação da geomembrana de PEAD de 1,50 mm de espessura.

O laboratório de preservação de amostras é uma unidade que abriga os equipamentos e instrumentos para realização de análises rotineiras na operação da estação de tratamento de lixiviados, visando monitorar a eficiência do tratamento. Entretanto, não foi previsto o custo dos equipamentos, sendo considerada apenas a edificação do laboratório, sendo detalhada posteriormente.

Também foram estimados os custos dos equipamentos necessários para operação do aterro sanitário, na lógica de fornecimentos dos equipamentos pelo governo, de modo a facilitar a operação dos aterros pelos municípios. Os equipamentos previstos foram: retroescavadeira com peso de 5,20t; escavadeira hidráulica sob esteiras de 26t; caminhão basculante com capacidade de 5m³; trator de esteiras tipo D6 (ou similar) com peso acima de 15t, para realizar a compactação dos resíduos; caminhão com tanque cilíndrico em aço inox com capacidade de 9m³ com bomba de vácuo, próprio para transporte de chorume; aquisição e instalação de bomba hidráulica para recirculação de lixiviados; e o fornecimento e instalação da balança rodoviária com capacidade de 30 toneladas, apenas para os aterros a partir de 50.000 habitantes.

Para cada item da planilha utilizou-se a descrição e os códigos SINAPI com os preços referentes a fevereiro de 2010, sendo que foram feitas composições de custos para os itens de mobilização e desmobilização de equipamentos e pessoas, administração e manutenção do canteiro de obras, instalação elétrica, obra civil para a instalação da balança rodoviária, sistemas de drenagem pluvial e de gases, e execução das caixas de distribuição de fluxos, caixas de passagem de lixiviados e tanques de acumulação de lixiviados tratados. Para os itens de locação das obras, execução dos poços de monitoramento de águas subterrâneas, reservatório de água e aluguel de veículos durante a fase de obra, foram utilizados valores de referência da CODEVASF e, para o caminhão com tanque para transporte de lixiviados, o fornecimento e instalação da geomembrana e o fornecimento e instalação da balança rodoviária foi necessário fazer cotação de preços em fornecedores de referência no mercado brasileiro.

Para os itens em que foi previsto edificação, usou-se o CUB/m² calculado pelo SINDUSCOM de cada estado, com base nos preços de fevereiro de 2010, sendo considerado para o escritório administrativo o padrão: R1-N = residência unifamiliar padrão normal; e, para o escritório da balança e guarita, o padrão RP1Q = residência unifamiliar popular com um pavimento. Para o laboratório para preservação de amostras da estação de tratamento de lixiviados considerou-se o padrão R1-B = residência unifamiliar padrão baixo.

Incidiram sobre o preço unitário de cada item da planilha de custos o BDI de 18% e 30% para insumos e serviços, respectivamente.

A planilha elaborada para estimar os custos de implantação de um aterro sanitário contém 61 itens, excluindo-se as linhas de composição de custos vide planilha orçamentária em anexo, subdivididos em 7 macroitens, de acordo com a Tabela 3:

Tabela 3: Distribuição dos itens da planilha de custos.

Macroitem	Número de subitens
Serviços preliminares	7
Infraestrutura	15
Implantação da vala	3
Impermeabilização da base e	7
Sistemas de drenagem	4
Sistema de tratamento de lixiviados	17
Equipamentos	8
Total	61

Parâmetros de projeto e dimensionamento do aterro

As estimativas do custo de implantação do aterro sanitário consideraram a primeira etapa (vala para 3 anos), entretanto, alguns itens de infraestrutura dependem do cálculo do aterro para 30 anos, como o cercamento e o cortinamento vegetal. A geração de líquidos lixiviados também foi estimada considerando a vazão de final de plano, uma vez que a construção da estação de tratamento de lixiviados ocorre na primeira etapa e deverá atender a vazão total.

Para o dimensionamento dos aterros, considerou-se uma situação hipotética de terreno plano com solo profundo e com permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s, com nível de lençol freático abaixo dos 6,50m, pois de acordo com a norma ABNT 13896/1997 deverá haver uma espessura mínima de 1,50m de solo insaturado entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. Considerou também a construção do aterro adotando a relação entre comprimento e largura de 1:1, ficando na forma de um quadrado, visto em planta, sendo prevista a expansão de um dos lados a partir do terceiro ano de implantação. Vale ressaltar, que para estimativa de volume de escavação, a relação entre comprimento e largura de uma vala, não interferem no custo, desde que a área, a profundidade de escavação e a inclinação dos taludes sejam mantidas.

Para a estimativa da geração de resíduos, em massa, considerou-se o limite superior da cada faixa de população atendida e a respectiva taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos. Na estimativa de volume de resíduos dispostos no aterro, consideraram-se as massas específicas do resíduo aterrado, definidas no item de concepção dos aterros, com $0,4 \text{ t/m}^3$ para aterros previstos para atender até 50.000 habitantes e $0,7 \text{ t/m}^3$ para aterros para atender populações superiores a 50.000 habitantes.

Adotou-se um volume para a cobertura diária de 15% do volume de resíduos aterrados, sendo o volume total composto pelo somatório dos resíduos e do recobrimento.

Para o cálculo da área total do empreendimento, foram dimensionadas valas para 30 anos, considerado um volume para material de cobertura diária de 15% e, acréscimo de 50% em relação à área das valas, distribuídos em 20% para reserva legal e 30% para implantação de infraestrutura.

Para o cálculo do volume do aterro usaram-se os parâmetros geométricos descritos no item de concepção dos aterros, como a profundidade e inclinação dos taludes da vala, o número de patamares, com as respectivas alturas, além das inclinações dos taludes e larguras das bermas dos maciços de resíduos. Com estes valores substituíram-se as dimensões do aterro, na fórmula do volume de tronco de pirâmide (1), de maneira que o volume final calculado pela fórmula se igualasse ao volume total acrescido de 1m de escavação, sendo 0,50m para compactação de argila e 0,50m para reposição, do solo escavado, para proteção mecânica da geomembrana.

$$V = \frac{h}{3} \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2}) \quad (1)$$

Através do cálculo do volume de escavação da vala foi possível determinar a área da mesma para uma vida útil de três anos e a área total do empreendimento. Esses parâmetros são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Volume de escavação, área da vala e área do empreendimento.

Faixas populacionais (habitantes)	Volume de escavação - 3 anos (m^3)	Área - 3 anos (ha)	Área do empreendimento (ha)
até 10.000	24.785	0,507	8
de 10.001 a 30.000	77.399	1,456	22
de 30.001 a 50.000	73.804	1,392	19
de 50.001 a 100.000	85.173	1,545	21
de 100.001 a 150.000	142.165	2,531	25
de 150.001 a 200.000	187.281	3,307	33
de 200.001 a 250.000	203.644	3,588	37

As áreas de geomembrana foram estimadas considerando a área do fundo da vala somada às áreas dos quatro taludes e uma faixa de 1,30m de largura em torno da vala para a ancoragem da manta. Acrescentou-se 10% a área calculada para compensar as perdas que ocorrem na instalação.

Foram previstos drenos pluviais em torno da vala, composto por meia cana de concreto DN 300 mm para três lados e drenos escavados em valas, para o lado da ampliação do aterro a partir do terceiro ano de operação.

Considerou-se a implantação de acesso em torno da vala, com 5m de largura. Adotou-se, ainda, um acesso ligando a entrada do aterro e a vala, com 150m de distância e 5m de largura.

Para a determinação do número de drenos de gás, adotou-se a distância entre drenos de 45m, com um tubo de concreto de 1,0m de altura, para cada dreno.

A Tabela 5 apresenta os principais componentes de infraestrutura dos aterros sanitários em função das faixas populacionais.

Tabela 5: Variação dos principais componentes de infraestrutura dos aterros nas faixas populacionais.

Faixas populacionais (habitantes)	Área do barracão da obra (m²)	Área do escritório administrativo (m²)	Área da guarita (m²)	Área do escritório da balança (m²)	Pontos de iluminação externa (unidade)	Locação de obras (ponto)
até 10.000	50	60	15	0	2	400
de 10.001 a 30.000	50	60	15	0	4	1.100
de 30.001 a 50.000	70	100	15	15	5	950
de 50.001 a 100.000	100	150	15	15	7	1.050
de 100.001 a 150.000	100	150	15	15	10	1.250
de 150.001 a 200.000	150	200	15	15	15	1.650
de 200.001 a 250.000	150	200	15	15	20	1.850

Foram previstos 4 poços de monitoramento das águas subterrâneas conforme estabelecido na norma ABNT 15495-1 de 2007, todos com profundidade de 20m.

Foi previsto o cercamento da área do empreendimento, composto por 11 fios de arame farpado com mourões de concreto espaçados a cada 3m e a partir da cerca adotou-se cortinamento vegetal com largura de 10m.

Considerou-se o plantio de grama em três taludes do aterro, em torno da guarita e do escritório administrativo, com uma faixa de 5m de largura.

Para o sistema de tratamento de lixiviados, projetou-se uma lagoa anaeróbia com tempo de detenção de 20 dias, e duas lagoas facultativas em série, ambas com tempo de detenção de 30 dias. Foram previstos tanques de acumulação de lixiviados tratados, com volume de 25m³, para posterior recirculação dos lixiviados para o maciço de resíduos ou envio para estações de tratamento de esgoto sanitário.

Foram previstos drenos pluviais em torno das lagoas, composto por meia cana de concreto DN 300 mm e plantio de grama em leivas nas áreas não edificadas, dentro do sistema.

Os itens de infra-estrutura das unidades de tratamento de lixiviados estão distribuídos em função do porte do aterro sanitário, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6: Distribuição dos itens de infraestrutura do sistema de tratamento de lixiviados.

Faixas populacionais (habitantes)	Número de tanques de acumulação	Número de caixas de passagem de lixiviados	Número de caixas de medição de vazão	Área do laboratório de preservação de amostras (m²)
até 10.000	1	3	1	0
de 10.001 a 30.000	1	3	1	0
de 30.001 a 50.000	1	4	1	0
de 50.001 a 100.000	2	5	1	0
de 100.001 a 150.000	4	7	1	40
de 150.001 a 200.000	4	10	1	40
de 200.001 a 250.000	4	10	1	60

Os critérios para o dimensionamento do volume de escavação das lagoas, limpeza do terreno, volume de argila compactada, área de instalação da geomembrana e cercamento foram os mesmo adotados para a vala de aterramento de resíduos sólidos.

Os equipamentos previstos no projeto variaram em função das necessidades operacionais e do porte do aterro sanitário, sendo distribuídos de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7: Equipamentos utilizados no aterro sanitário para cada faixa populacional.

Faixas populacionais (habitantes)	Trator de esteiras	Retroescavadeira	Escavadeira hidráulica	Caminhão basculante	Caminhão com tanque em inox	Balança Rodoviária
até 10.000	-	1	-	1	-	-
de 10.001 a 30.000	-	1	-	1	-	-
de 30.001 a 50.000	1	1	-	1	-	1
de 50.001 a 100.000	1	1	-	1	-	1
de 100.001 a 150.000	1	-	1	2	1	1
de 150.001 a 200.000	1	-	1	2	1	1
de 200.001 a 250.000	1	-	1	3	1	1

Composição da planilha de custos

Com os valores dos quantitativos calculados com base nos critérios dimensionais e os custos unitários dos insumos e serviços do SINAPI, foi preenchida a planilha de custos com os 61 itens já descritos. Esta planilha foi elaborada seguindo a sequência de subtítulos composta pelos sete macroitens: serviços preliminares, infraestrutura, implantação da vala com vida útil de três anos, impermeabilização da base e taludes, sistemas de drenagem, sistema de tratamento de líquidos lixiviados e equipamentos.

Tratamento estatístico

O tratamento estatístico teve como objetivo a verificação das variações de custos entre os diversos portes de aterros, entre os estados e entre os macroitens da planilha, por meio do cálculo das médias, desvios-padrão, custos *per capita* e linhas de tendências.

Inicialmente foram geradas as tabelas com os custos totais para todos os sete portes de aterros nos sete estados em estudo e, ainda, foram determinadas as médias e os desvios-padrão do custo total de implantação, comparando os estados entre si.

Os custos *per capita* de implantação, obra civil e equipamentos, foram calculados por meio da divisão dos valores, em reais, pela maior população da faixa populacional respectiva.

O custo médio *per capita* foi gerado pela relação entre os custos médios de implantação e a população adotada de final de plano. Foram estabelecidos os custos *per capita* máximos e mínimos, para avaliar a diferença entre estes custos.

Os custos *per capita* dos macroitens foram determinados pela divisão entre os custos do macroitem e a população adotada de final de plano, para cada porte de aterro sanitário.

Foi elaborado um gráfico de dispersão para identificar a linha de tendência do custo *per capita* da obra civil do aterro sanitário, ou seja, o custo *per capita* total de implantação do aterro é obtido pela soma do custo *per capita* dos equipamentos com o custo *per capita* de obra civil.

Com a equação de regressão para a obra civil e interpolação dos custos de equipamentos, gerou-se uma tabela contendo os custos *per capita* para amplitude populacional menor, intervalos de 5 mil habitantes até atingir os 50 mil habitantes, e intervalos de 10 mil habitantes a partir de 50 mil habitantes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a elaboração da tabela de custos de implantação dos aterros sanitários por porte para cada estado (Tabela 8) a seguir apresentada, verificou-se que os estados com os maiores custos de implantação dos aterros sanitários foram: Bahia para 10 mil, 30 mil, 50 mil e 100 mil habitantes e Maranhão para 150 mil, 200 mil e

250 mil habitantes. Os menores custos foram do Piauí para 10 mil habitantes e de Alagoas para o restante das faixas populacionais.

Tabela 8: Custos de implantação dos aterros sanitários por população para cada estado.

População (habitante)	Alagoas (R\$)	Bahia (R\$)	Maranhão (R\$)	Minas Gerais (R\$)	Pernambuco (R\$)	Piauí (R\$)	Sergipe (R\$)
10.000	1.790.477,50	1.840.582,57*	1.804.305,47	1.835.541,21	1.793.960,36	1.773.723,06 **	1.778.769,09
30.000	2.961.665,67 **	3.058.091,93 *	3.030.091,96	3.021.200,62	2.991.696,13	2.971.448,82	3.023.341,85
50.000	4.063.626,40 **	4.193.041,34 *	4.165.866,38	4.125.618,68	4.123.711,71	4.106.009,30	4.122.291,14
100.000	4.364.056,39 **	4.513.085,40 *	4.484.982,41	4.434.102,75	4.435.036,30	4.415.892,87	4.431.497,50
150.000	5.758.856,63 **	5.905.732,35	5.912.880,54*	5.813.004,51	5.841.828,38	5.852.254,23	5.871.812,48
200.000	6.698.555,48 **	6.894.297,11	6.907.699,57*	6.728.007,46	6.809.889,98	6.822.169,92	6.861.191,59
250.000	7.336.582,59 **	7.524.222,07	7.540.336,32*	7.416.753,19	7.441.595,29	7.460.728,72	7.501.211,29

(*) maiores custos

(**) menores custos

Nota-se na tabela 9, pela análise do desvio-padrão, que os custos de implantação tiveram pouca variação entre os estados em relação à média, apresentando o maior coeficiente de variação, que é a relação entre desvio-padrão e custo médio, de 1,35% para os aterros de 10 mil habitantes com valor mínimo para os aterros de 150 mil habitantes, de 0,85%.

Ao analisar o custo por habitante, percebe-se uma redução do custo *per capita* com relação ao aumento do porte dos aterros; e ao analisar o custo médio, não se verifica esse aspecto, pois estes custos tendem a crescer concomitantemente com o porte do aterro.

Tabela 9: Análise estatística do custo de implantação.

População (habitantes)	Custo médio (R\$)	Desvio-padrão	Coeficiente de variação (%)	Custos <i>per capita</i> (R\$/hab)			Amplitude entre os custos <i>per capita</i> (R\$/hab)
				Médio	Máximo	Mínimo	
10.000	1.802.479,89	24.360,37	1,35	180,25	184,06 (BA)	177,37 (PI)	6,69
30.000	3.008.219,57	31.971,47	1,06	100,27	101,94 (BA)	98,72 (AL)	3,21
50.000	4.128.594,99	38.444,70	0,93	82,57	83,86 (BA)	81,27 (AL)	2,59
100.000	4.439.807,66	44.472,99	1,00	44,40	45,13 (BA)	43,64 (AL)	1,49
150.000	5.850.909,87	49.681,39	0,85	39,01	39,42 (MA)	38,39 (AL)	1,03
200.000	6.817.401,59	73.852,25	1,08	34,09	34,54 (MA)	33,49 (AL)	1,05
250.000	7.460.204,21	65.156,83	0,87	29,84	30,16 (MA)	29,35 (AL)	0,82

Devido à pequena amplitude entre os custos *per capita* máximos e mínimos, optou-se em utilizar somente os custos máximos de forma homogênea para toda a região das bacias hidrográficas, que é uma maneira de se ter uma margem de segurança na estimativa dos custos *per capita*. Dessa forma, os custos serão iguais ou menores aos apresentados a partir deste item.

Observa-se na Tabela 10, a seguir, que os macroitens equipamentos, implantação da vala e impermeabilização apresentaram os custos *per capita* mais expressivos, seguidos dos serviços preliminares, de infraestrutura e do tratamento de lixiviados que tenderam a diminuir de acordo com o aumento do porte do empreendimento. Os sistemas de drenagem representaram os custos *per capita* menos expressivos para todos os portes.

Tabela 10: Custos *per capita* (R\$/hab) máximos de implantação dos macroitens para cada faixa populacional.

Macroitens	População (habitantes)						
	10.000 (BA)	30.000 (BA)	50.000 (BA)	100.000 (BA)	150.000 (MA)	200.000 (MA)	250.000 (MA)
Serviços preliminares	R\$ 34,80	R\$ 12,47	R\$ 7,43	R\$ 3,80	R\$ 2,46	R\$ 1,96	R\$ 1,60
Infraestrutura	R\$ 27,94	R\$ 11,73	R\$ 8,83	R\$ 5,20	R\$ 3,66	R\$ 3,26	R\$ 2,67
Implantação da vala	R\$ 26,08	R\$ 24,00	R\$ 13,71	R\$ 7,80	R\$ 8,40	R\$ 8,20	R\$ 7,12
Impermeabilização	R\$ 24,27	R\$ 21,74	R\$ 12,50	R\$ 7,60	R\$ 7,90	R\$ 7,60	R\$ 6,56
Drenagem	R\$ 1,19	R\$ 0,97	R\$ 0,55	R\$ 0,32	R\$ 0,41	R\$ 0,39	R\$ 0,35
Tratamento de lixiviados	R\$ 16,71	R\$ 13,32	R\$ 7,68	R\$ 3,83	R\$ 3,54	R\$ 3,34	R\$ 3,00
Equipamentos	R\$ 53,07	R\$ 17,69	R\$ 33,16	R\$ 16,58	R\$ 13,04	R\$ 9,78	R\$ 8,86
TOTAL	R\$ 184,06	R\$ 101,94	R\$ 83,86	R\$ 45,13	R\$ 39,42	R\$ 34,54	R\$ 30,16

Também se verifica que os custos dos macroitens - infra-estrutura e serviços preliminares - diminuam expressivamente com o aumento do porte do aterro, uma vez que os seus subitens - placa de obra, administração, manutenção do canteiro de obras, mobilização e desmobilização de equipamentos e pessoas - mantiveram-se constantes para os diferentes portes.

O item de implantação da vala tendeu a diminuir com o aumento do porte, entretanto para as populações de 150 mil e de 200 mil habitantes ocorreu um acréscimo do custo, devido ao fato de que o volume de escavação não é proporcional a diferença da população e a geração de resíduos não é linear, pois faixas de população diferentes possuem taxas de geração de resíduos *per capita* diferentes. O mesmo ocorre para os itens de impermeabilização do aterro e drenagens, pois o custo principal é em função da área e do volume escavado.

Plotou-se a Tabela 11 com os custos *per capita* de implantação dos aterros sanitários. Percebe-se redução dos custos da obra civil e total com o aumento do porte do aterro. Os custos *per capita* dos equipamentos variaram em função dos diferentes tipos previstos para cada porte, especificados para serem utilizados apenas na operação dos aterros, sendo notado um acréscimo nos custos *per capita* dos equipamentos entre as populações de 30 mil e 50 mil habitantes, em função da inclusão do trator de esteiras no aterro para 50 mil habitantes, alcançando maiores compactações dos resíduos dispostos.

Tabela 11: Custos *per capita* (R\$/hab) de implantação dos aterros sanitários.

Grupos de custos	População (habitantes)						
	10.000 (BA)	30.000 (BA)	50.000 (BA)	100.000 (BA)	150.000 (MA)	200.000 (MA)	250.000 (MA)
Equipamentos	R\$ 53,07	R\$ 17,69	R\$ 33,16	R\$ 16,58	R\$ 13,04	R\$ 9,78	R\$ 8,86
Obra civil	R\$ 130,99	R\$ 84,25	R\$ 50,70	R\$ 28,55	R\$ 26,38	R\$ 24,76	R\$ 21,30
Custo total	R\$ 184,06	R\$ 101,94	R\$ 83,86	R\$ 45,13	R\$ 39,42	R\$ 34,54	R\$ 30,16

Com base na Tabela 11 foi elaborado o gráfico da Figura 2 para a visualização das tendências dos custos *per capita* da obra civil com relação à população atendida. Nesse gráfico observa-se que este custo decresce à medida que o porte do aterro aumenta.

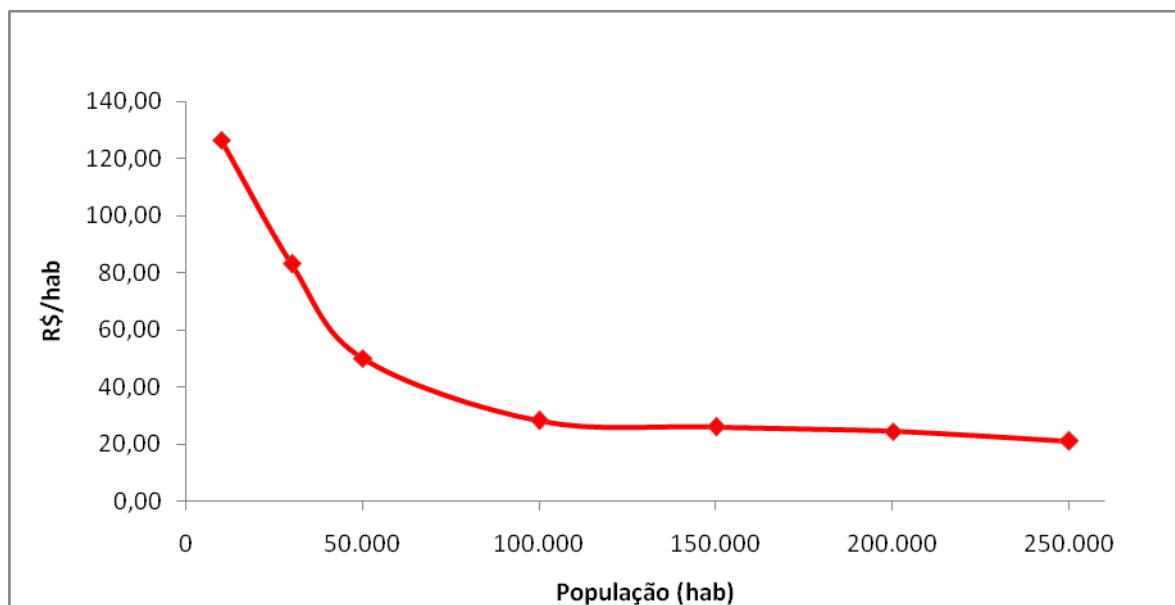


Figura 2: Custos *per capita* da obra civil dos aterros sanitários em função da população.

Analisando a Figura 2 verificaram-se duas tendências de custos divididas na população de 50 mil habitantes. Portanto, optou-se pela divisão do gráfico dos custos máximos de implantação *per capita* de aterros em dois grupos populacionais: um até 50 mil habitantes e outro a partir de 50 mil habitantes.

Plotou-se, então, um gráfico com a população variando de 10 mil até 50 mil habitantes e outro com a população variando de 50 mil até 250 mil habitantes, conforme as Figuras 3 e 4, respectivamente.

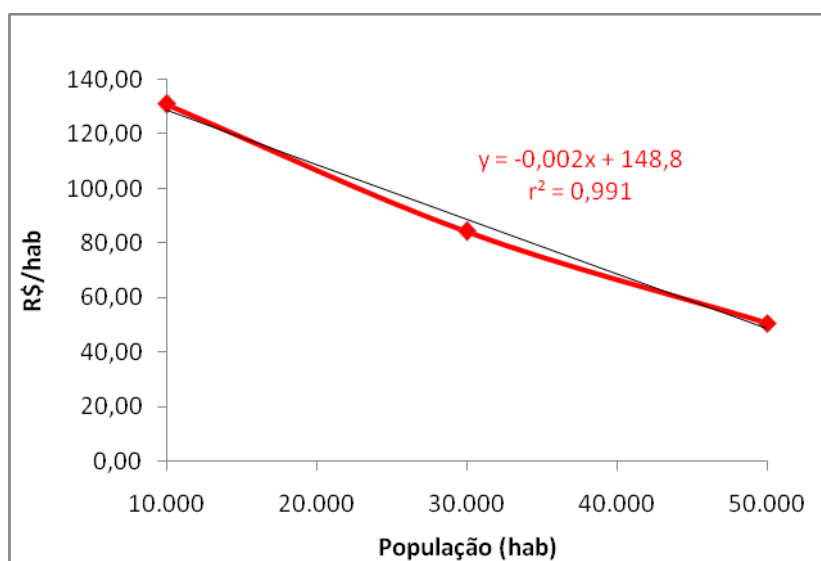


Figura 3: Custos *per capita* de da obra civil dos aterros sanitários para populações até 50 mil habitantes.

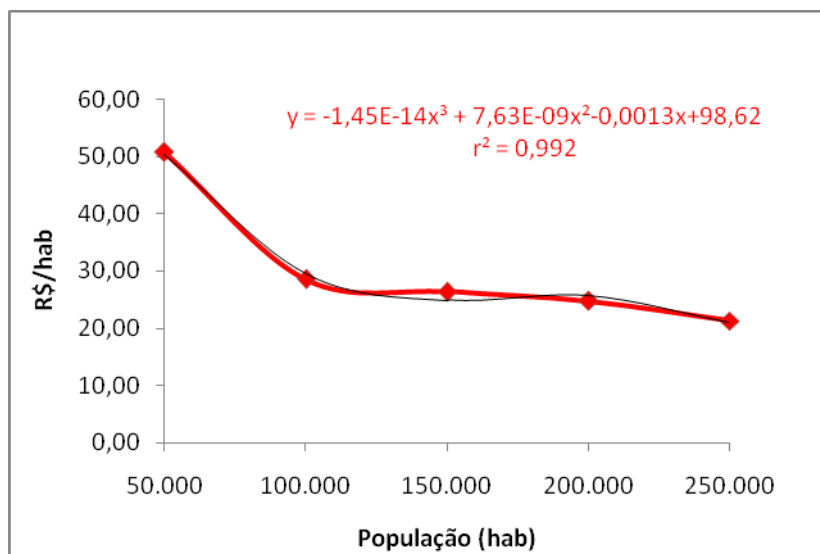


Figura 4: Custos *per capita* da obra civil dos aterros sanitários para populações a partir de 50 mil habitantes.

Com esta divisão populacional pode-se obter os melhores coeficientes de determinação para as curvas da obra civil. Para o primeiro grupo populacional (até 50 mil), o custo *per capita* total foi mais bem representado por uma regressão linear com um coeficiente de correlação $r^2=0,991$, e para o segundo grupo (de 50 mil a 250 mil), o custo *per capita* total foi mais bem representado por uma regressão polinomial de terceiro grau com um coeficiente de determinação $r^2=0,992$.

Após a análise dos custos para as sete faixas pré-determinadas, verificou-se a necessidade de reduzir a amplitude populacional entre as faixas para poder estimar os custos com maior precisão, então com base nas equações de regressão das Figuras 2 e 3 estimou-se os custos da obra civil com a variação de 5 mil habitantes até a população de 50 mil habitantes e variando em 10 mil, a partir da população de 50 mil habitantes, conforme resultados de interpolação apresentados na Tabela 12.

Para a interpolação dos custos *per capita* dos equipamentos, tendo em vista que serão os mesmos para qualquer população da faixa, calculou-se o custo *per capita* pela razão do custo dos equipamentos da referida faixa pela população da cada faixa intermediária.

Para a interpolação dos custos *per capita* da obra civil, optou-se em utilizar as equações obtida pelas regressões, pois estes custos variam em relação à quantidade de resíduos gerados e, por consequência, com relação a população.

A Tabela 12 apresenta os custos *per capita* de implantação dos aterros sanitários, sendo determinados a partir das equações de regressão e interpolação simples. Os custos totais foram calculados somando-se os valores dos custos da obra civil e dos equipamentos.

Tabela 12: Custos *per capita* de implantação dos aterros sanitários.

População (habitantes)	Tipo de aterro	Geração de resíduos (t/dia)	Custos da obra (R\$/hab)	Custos dos equipamentos (R\$/hab)	Custos totais (R\$/hab)
10.000	Vala	6,00	130,99	53,07	184,06
15.000	Vala	9,75	118,80	35,38	154,18
20.000	Vala	13,00	108,80	26,54	135,34
25.000	Vala	16,25	98,80	21,23	120,03
30.000	Vala	19,50	84,25	17,69	101,94
35.000	Vala	22,75	78,80	47,37	126,17
40.000	Vala	26,00	68,80	41,45	110,25
45.000	Vala	29,25	58,80	36,85	95,65
50.000	Vala	32,50	50,70	33,16	83,86
60.000	Misto	42,00	44,44	27,63	72,07
70.000	Misto	49,00	39,43	23,69	63,11
80.000	Misto	56,00	35,33	20,73	56,05
90.000	Misto	63,00	32,05	18,42	50,48
100.000	Misto	70,00	28,55	16,58	45,13
110.000	Misto	88,00	27,65	17,78	45,43
120.000	Misto	96,00	26,33	16,30	42,63
130.000	Misto	104,00	25,50	15,05	40,55
140.000	Misto	112,00	25,06	13,97	39,03
150.000	Misto	120,00	26,38	13,04	39,42
160.000	Misto	128,00	25,00	12,22	37,22
170.000	Misto	136,00	25,21	11,51	36,71
180.000	Misto	144,00	25,46	10,87	36,32
190.000	Misto	152,00	25,66	10,29	35,96
200.000	Misto	160,00	24,76	9,78	34,54
210.000	Misto	189,00	25,59	10,55	36,14
220.000	Misto	198,00	25,13	10,07	35,21
230.000	Misto	207,00	24,28	9,63	33,92
240.000	Misto	216,00	22,95	9,23	32,19
250.000	Misto	225,00	21,30	8,86	30,16

Relação (R\$/US\$ 1,84) fevereiro (2010) (BCB)

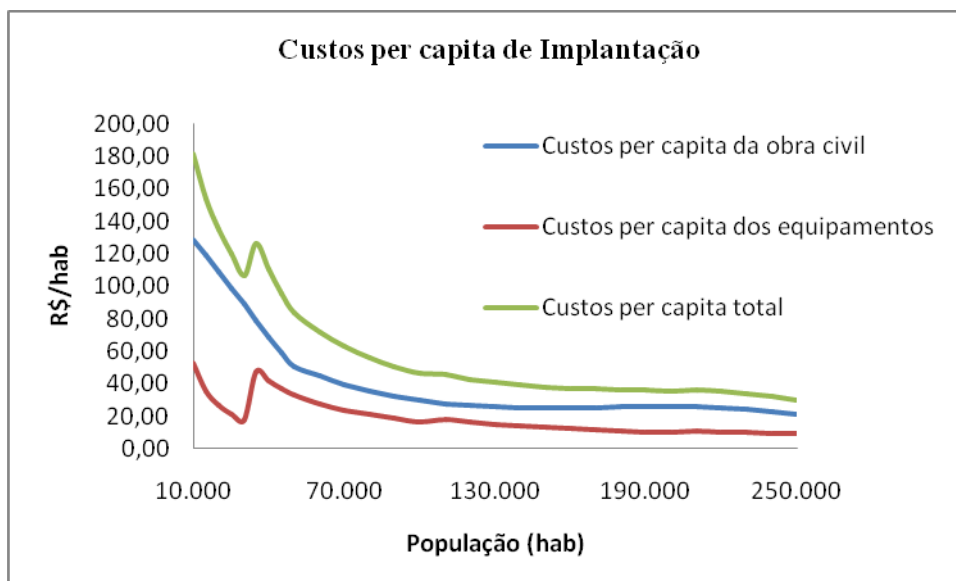


Figura 5: Custos *per capita* de implantação dos aterros sanitários em função da população.

Observa-se na Figura 5, gerada a partir da Tabela 11, que há uma descontinuidade na tendência decrescente do custo dos equipamentos e totais. Isto decorre do fato de que os custos totais dos equipamentos são constantes na mesma faixa e os custos da obra civil são proporcionais as populações intermediárias das faixas.

Vale ressaltar que este trabalho considera o ponto de vista do Governo Federal, de implantar e fornecer os equipamentos necessários para a operação do aterro, por isso o que é considerado como custo da obra civil, pode ser considerado, como o custo de implantação de aterro, bastando, para se ter noção do custo de um aterro, multiplicar o custo *per capita* da obra civil pela população do município, na tabela acima. Também é importante ressaltar que a comparação de custos entre aterros sanitários deve levar em consideração a concepção dos mesmos, bem como os materiais, equipamentos e insumos utilizados.

CONCLUSÕES

A estimativa realizada dos custos de implantação de aterro sanitário considerou 61 dos principais elementos contidos em projetos e obras deste tipo de empreendimento; portanto, pode se concluir que os custos apresentados representam valores que podem ser utilizados com segurança para o planejamento orçamentário de instituições públicas e privadas.

A diminuição dos custos *per capita* de implantação dos aterros - de R\$ 184,06/hab (para 10 mil habitantes) para R\$ 30,16/hab (para 250 mil habitantes) - demonstra claramente a relação inversa do porte do empreendimento com o desembolso *per capita*, indicando que a formação de consórcios intermunicipais é a solução mais viável economicamente para a disposição final de resíduos sólidos.

Este trabalho foi embasado em uma planilha de custos com os principais elementos de projeto para sete faixas de população e pode servir como referência para a regionalização de custos de implantação de aterros sanitários para todo o território nacional, bastando apenas regionalizar e atualizar os preços unitários do SINAPI e do CUB/m², pois estes índices são publicados mensalmente para os estados considerados nas estimativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2009. 210p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2007. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção: NBR-15495-1. Rio de Janeiro, 25p.
3. BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxas de Câmbio. 2010 – Disponível em: <http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/PtaxRPesq.asp?idpai=TXCOTACAO>

4. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
5. CAIXA. Sistema Nacional de Preços e Índices da Construção Civil, SINAPI. - Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.asp.
6. CODEVASF, 2009. Termo de Referência do Edital 23/2009.
7. IBGE, 2009. Estimativas de população de 2009. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/POP_2009_TCU.pdf
8. MENDES, Osmar; PFEIFFER, Simone Costa. Disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários: elementos norteadores e custos decorrentes no estado de Goiás. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte/MG , 2007. 11p.
9. REICHERT, Geraldo Antônio. Manual: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários, 2007. 117p.
10. SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. Custo Unitário Básico (CUB/m²): principais aspectos. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. 112p.
11. VAN Elk, Ana Ghislane Henriques Pereira. Redução de emissões na disposição final. Coordenação de Karin Segala – Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p. 21 cm.