



**Projeto Técnico Para
a Área de Expansão do Aterro
Sanitário Municipal de Caçador - SC
Para Atendimento ao Item «f»
do Ofício SEC/AGRI Nº 08/2018
Emitido Pela Secretaria de
Agricultura, Desenvolvimento Rural
e Meio Ambiente**



Executante:



Engenharia & Meio Ambiente

Contratante:



OSA 2018-029
Contrato nº PA 2018-029
Abril de 2018

RELATÓRIO TÉCNICO

PROJETO TÉCNICO PARA EXPANSÃO DO ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE CAÇADOR - SC PARA ATENDIMENTO AO ITEM “F” DO OFÍCIO SEC/AGRI Nº08/2018

Preparado para:
MEIOESTE AMBIENTAL LTDA.
Porto Alegre - RS

Preparado por:
AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI - EPP
Porto Alegre - RS

Distribuição:

01 cópia Meioeste Ambiental Ltda.

01 cópia Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente de Caçador - SC (Distribuição Final).

NOTA

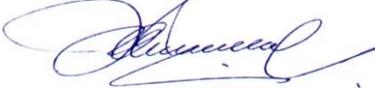
Este Relatório foi preparado pela Agrosig a partir das normas técnicas recomendadas para trabalhos desta natureza, em estreita observação aos ditames da Legislação vigente e dos termos e condições contratuais firmados com o Cliente. Considerada esta premissa, a Agrosig se isenta de quaisquer responsabilidades perante o Cliente ou terceiros pela utilização dos dados e conteúdos contidos neste Relatório, ainda que parcialmente, fora do contexto citado no Contrato de Prestação de Serviços. Reitera-se, que todo o conteúdo é confidencial e destinado à utilização exclusiva do Cliente, de forma que a Agrosig não se responsabiliza pela utilização do material, ainda que parcialmente, por terceiros. Cópias do conteúdo ou a utilização dos dados para outros fins somente poderão ser efetuadas a partir da obtenção da autorização formal do Cliente ou da Agrosig. A impressão ou reprodução deste documento sem autorização torna a cópia não controlada.

A primeira via deste documento contém todas as páginas devidamente rubricadas pelo(a) Responsável pela elaboração do Relatório.

| Mês/Ano | Ordem Serviço | Contrato | Código Documento |
|-------------|---------------|------------|--|
| Abril, 2018 | OSA 2018-029 | PA2018-029 | OSA2018-029-MEIOESTE-LIC-CELULA-ATERRO-CACADOR-R0.docx |

| Tipo de Relatório | Parcial | | Nº | Controle Versões | Documento | | Data Emissão |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|----|------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | Versão 1 | ■ |
| | | | | | Revisão 1 | ■ | 16/04/2018 |
| | | | | | Revisão 2 | <input type="checkbox"/> | |
| | Final | | ■ | | Versão Aprovada Cliente | ■ | 16/04/2018 |

Controle de Produção do Documento

| | Profissional | Qualificação | Registro Profissional | Assinatura |
|------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|
| Elaborado | Evandro Gottardo | Geólogo Ms Dr | CREA RS 83699 |  |
| Revisado | Romelito Regginato | Geógrafo e Graduando em Geologia | CREA RS 191059 |  |
| Aprovado | Jorge Vidal Olivera Duarte | Engenheiro Agrícola Ms Especialista | CREA RS 44141 |  |
| Autorizado | Jorge Vidal Olivera Duarte | Engenheiro Agrícola Ms Especialista | CREA RS 44141 |  |

RELATÓRIO TÉCNICO

PROJETO TÉCNICO PARA EXPANSÃO DO ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE CAÇADOR - SC

MUNICÍPIO DE CAÇADOR - SC

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1 - INTRODUÇÃO | 4 |
| 2 - SITUAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO EMPREENDIMENTO | 4 |
| 3 - ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA O LEVANTAMENTO AÉROFOTOGRAMÉTRICO NA ÁREA DO EMPREEDIMENTO | 6 |
| 4 - EQUIPAMENTOS TÉCNICOS..... | 7 |
| 5 - RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE DADOS..... | 9 |
| 5.1 - Condições Climáticas | 9 |
| 5.2 - Parâmetros Técnicos do Voo | 9 |
| 5.3 - Rede de Pontos de Apoio de Campo..... | 11 |
| 5.4 - Geração do Ortomosaico de Fotografias Aéreas e Modelo Digital de Superfície | 12 |
| 5.5 - Levantamento Planialtimétrico da Área do Empreendimento..... | 14 |
| 6 - PARÂMETROS TÉCNICOS PARA EXPANSÃO DO ATERRO SANITÁRIO..... | 15 |
| 6.1 - Configuração Final dos Taludes Positivos da Célula 01..... | 15 |
| 6.1.1 - Configuração dos Taludes da Célula 01 na Frente Noroeste | 16 |
| 6.1.2 - Configuração dos Taludes da Célula 01 no Centro da Frente Nordeste | 17 |
| 6.1.3 - Configuração dos Taludes da Célula 01 no Centro da Frente Sudeste | 17 |
| 6.2 - Cálculo do Volume e Estimativa de Vida Útil da Célula 01..... | 17 |
| 7 - DETALHAMENTO DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO | 18 |
| 7.1.1 - Diretrizes..... | 18 |
| 7.1.2 - Procedimentos Construtivos Para Implantação | 20 |
| 7.1.2.1 - Solo Natural | 20 |
| 7.1.2.2 - Camada 1 de Argila Compactada..... | 20 |
| 7.1.2.3 - Colchão Drenante de Areia Grossa..... | 20 |
| 7.1.2.4 - Geomembrana | 21 |
| 7.1.2.5 - Camada 2 de argila compactada..... | 21 |
| 8 - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL | 22 |
| 8.1.1 - Dimensionamento das Canaletas de Drenagem..... | 23 |
| 8.1.2 - Dimensionamento das Bacias de Retenção..... | 24 |
| 9 - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO LIXIVIADO | 25 |
| 10 - DETALHAMENTO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS | 26 |
| 11 - IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA CONSULTORA..... | 27 |
| 12 - EQUIPE TÉCNICA | 28 |
| 13 - ANEXOS..... | 28 |

1 - INTRODUÇÃO

Os estudos que seguem buscam atender a Legislação pertinente ao tema Licenciamento Ambiental de atividades de disposição de resíduos sólidos urbanos, com o devido suporte técnico e documental, de forma a obter a Licença Ambiental de Operação para o empreendimento denominado ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE CAÇADOR - SC, o qual constituirá uma área de disposição final de resíduos sólidos urbanos, totalmente controlado e operado segundo os padrões de gerenciamento e de saneamento ambiental pela Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente de Caçador - SC.

Para que fosse possível a consecução desses estudos destaca-se primeiramente que o empreendedor do projeto é o proprietário legal da gleba.

Os estudos em tela buscam atender ao Termo de Referência sugerido pelo Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina, em atenção ao Ofício nº 0.097/2018/CMO, complementado pela necessidade de atendimento à legislação específica incidente sobre o tema.

Dessa forma, primeiramente, são apresentados os dados gerais, a situação e localização e os dados do empreendimento e do empreendedor. Posteriormente, o projeto técnico apresentando dimensionamento e detalhamento da estrutura da nova célula do aterro sanitário, o qual fornece subsídios para o memorial descritivo de engenharia.

2 - SITUAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO EMPREENDIMENTO

O Aterro Sanitário Municipal situa-se no município de Caçador - SC localizado no meio-oeste do Estado de Santa Catarina, distante aproximadamente 396 km da capital Florianópolis - SC. A distância em relação a área urbana do município é de 5km seguindo pela SC-303 até entroncamento com a SC-350. Na Figura 1 e Figura 2 consta a situação e a localização do empreendimento.

Em termos específicos a área licenciada do empreendimento abrange 19 hectares com acesso pela rodovia SC 303 - km 155. As coordenadas aproximadas do centro da área são as seguintes (Quadro 1):

Quadro 1 - Coordenadas aproximadas do centro da área do empreendimento.

| Item | Sistema de Coordenadas | | Datum |
|------|------------------------|-------------------------------|-------------|
| 1 | GEODÉSICAS (DECIMAL) | -51.036539° O e -26.819040°S | SIRGAS 2000 |
| 2 | GEOGRÁFICAS | 51° 2'11.54" O e 26°49'8.54"S | SIRGAS 2000 |
| 3 | UTM | 496369,56 E e 7033607,52 S | SIRGAS 2000 |

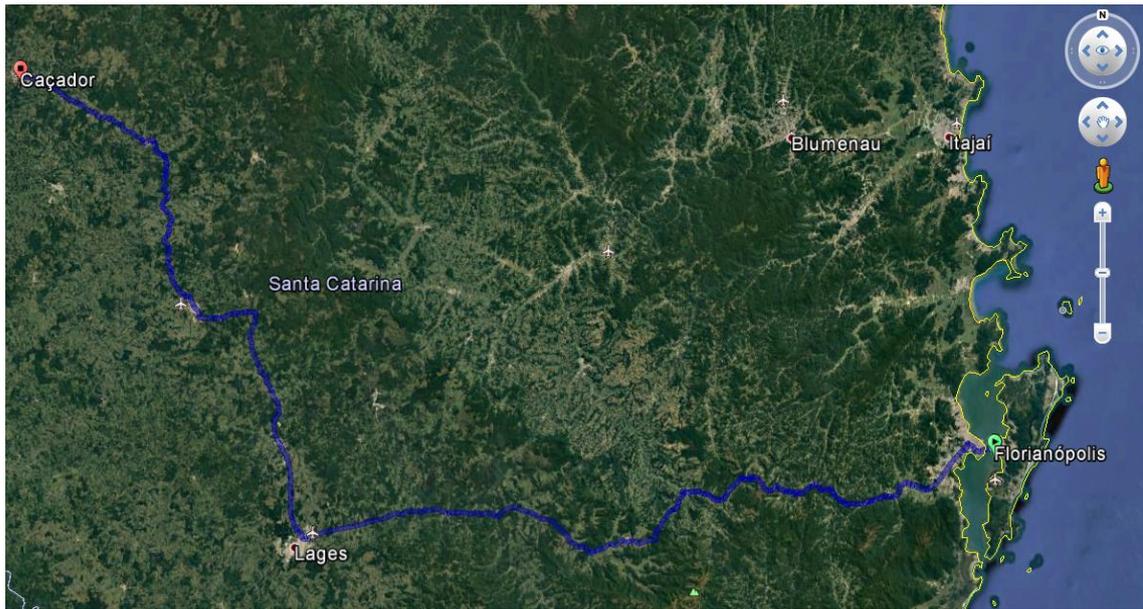


Figura 1 - Situação do empreendimento em relação à capital do estado, Florianópolis (distância de aproximadamente 396 km para Noroeste), seguindo o percurso da rodovia federal BR 282 até a rodovia estadual SC 303 no município, que constitui o principal acesso ao empreendimento. Fonte: GOOGLE MAPS.



Figura 2 - Localização do empreendimento (poligonal em amarelo) em relação ao município de Caçador - SC. Fonte: GOOGLE MAPS.

3 - ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA O LEVANTAMENTO AÉROFOTOGRAMÉTRICO NA ÁREA DO EMPREEDIMENTO

O imageamento de alta resolução com drones é uma tecnologia que tem avançado a passos largos nos últimos anos em função do aprimoramento de diversos ramos das ciências computacionais, aviônica, visão de máquina, algoritmos de estrutura do movimento, mecanismos precisos de navegação e geoposicionamento e registro de imagens.

A partir de diversos equipamentos, sensores, instrumentos e algoritmos é possível atualmente gerar produtos aerofotogramétricos a muito menor custo e com elevada precisão e acurácia, altamente aplicáveis a dimensões em área que abrangem desde alguns poucos até mesmo centenas de hectares.

Desta forma, para os projetos de geomática e ambientais, esta revolução tem trazido extensas possibilidades, que permitem a geração de imagens fotográficas de altíssima resolução espacial muito atualizadas e que são georreferenciadas, ortorretificadas e mosaicadas para gerar mapas de ampla utilidade para as equipes projetistas e para os fiscalizadores do empreendimento.

Sob este prisma, na área de interesse foi efetuado um imageamento de alta resolução com drone multirrotor conforme procedimentos relatados a seguir e organizados no fluxograma metodológico-operativo da Figura 3.

Os serviços técnicos abrangeram as seguintes atividades:

- Mapeamento aerofotogramétrico do terreno definido na poligonal de interesse;
- Geração do mosaico fotográfico ortorretificado e georreferenciado da área de interesse;
- Elaboração do modelo numérico de superfície da área de interesse;
- Remoção, o tanto quanto possível da cobertura vegetal, edificações e outros elementos, para obtenção do modelo numérico de terreno;
- Extração das curvas de nível a partir do modelo numérico de terreno.

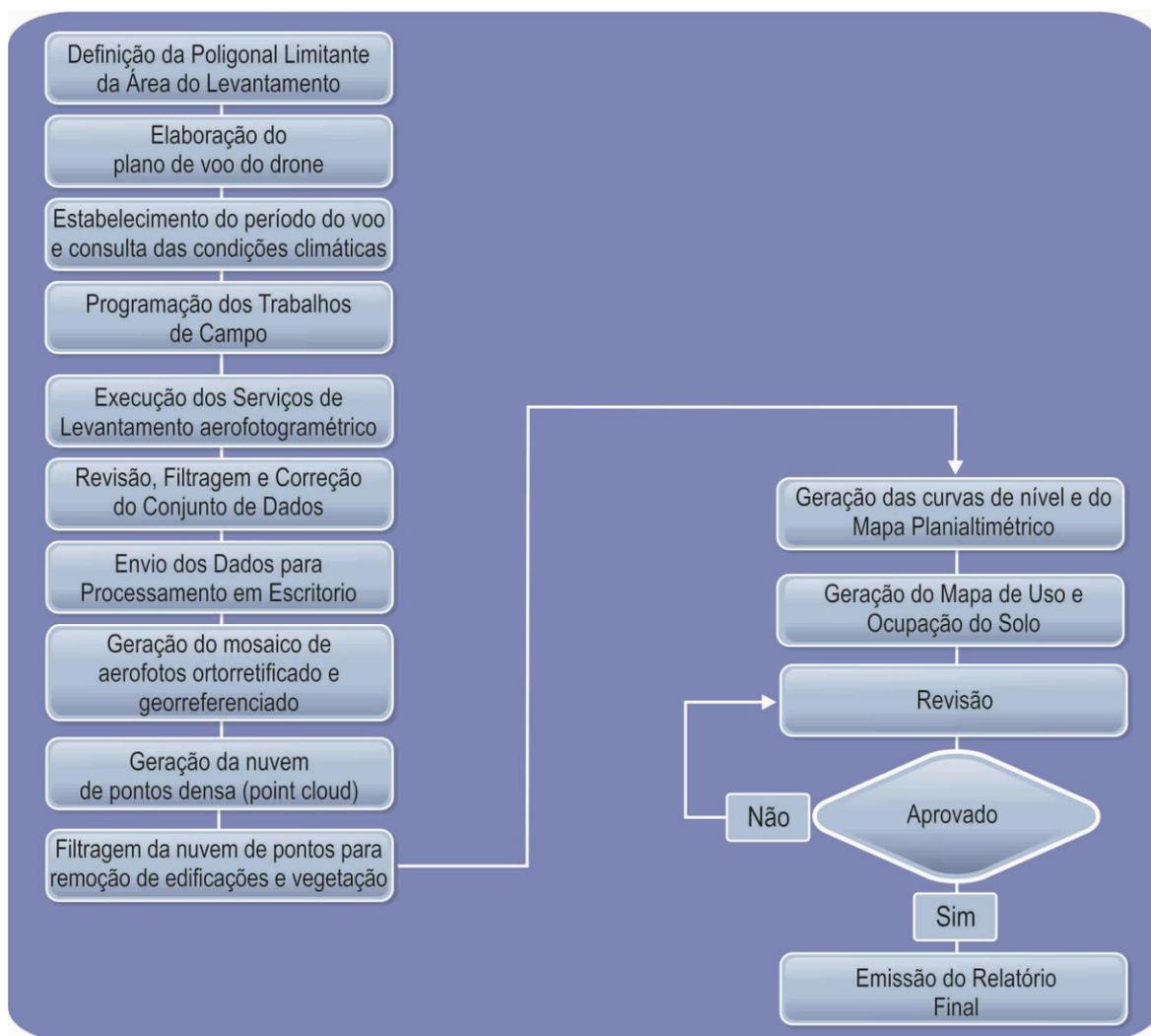
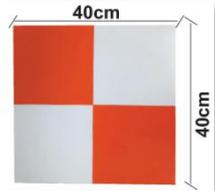


Figura 3 - Fluxograma metodológico e operacional do imageamento aerofotogramétrico de alta resolução realizado com drones na área de interesse.

4 - EQUIPAMENTOS TÉCNICOS

Para realização dos serviços de levantamento aerofotogramétrico foram utilizados equipamentos específicos, conforme relacionado no Quadro 2.

Quadro 2 - Relação de equipamentos técnicos utilizados para a realização dos serviços.

| Item | Descrição | |
|------|---|---|
| 1 | Sistema aéreo não tripulado (RPAS/VANT/drone) multirotor (quadricóptero) marca DJI, modelo INSPIRE 1 PRO X5 (16MP) para fotogrametria e videografia aérea |  |
| 2 | Receptor GNSS com correção diferencial em modo RTK marca PENTAX modelo LGN-100N RTK |  |
| 3 | Tablet para controle de voo do drone asa fixa e apoio aos serviços de campo |  |
| 4 | Alvos de acrílico com dimensão controlada para apoio de campo e georreferenciamento dos mosaicos aerofotogramétricos gerados pelos drones |  |
| 5 | Anemômetro digital para medição de velocidade do vento |  |
| 6 | Binóculo de longo alcance para avistagem e observação de detalhes em campo |  |

5 - RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE DADOS

Os elementos da campanha de levantamento, tais como altura do voo, geometria das linhas de voo, número de pontos de controle de campo, resolução das imagens fotográficas e precisão e acurácia vertical e horizontal do levantamento e os respectivos resultados serão descritos em continuidade.

5.1 - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

As condições meteorológicas do período de levantamento foram bastante favoráveis, com céu claro, poucas nuvens e velocidade do vento compatível com o drone em uso, o que propiciou a execução do voo com pouca turbulência e boas condições ambientais para captura das imagens fotográficas.

5.2 - PARÂMETROS TÉCNICOS DO VOO

O voo realizado buscou atender ao objetivo do serviço, qual seja, possibilitar a medição do volume de minério disposto em pilhas na área de beneficiamento da unidade.

O ponto de lançamento considerou uma área com amplo espaço livre para possibilitar a decolagem segura da aeronave e adequadamente posicionado em relação à área proposta para levantamento.

A poligonal limitante considerou uma área de levantamento maior do que a área efetivamente utilizada para disposição das pilhas, com intuito de possibilitar o descarte de imagens de borda onde as deformações geométricas e radiométricas tendem a ocorrer com maior incidência e magnitude.

O voo considerou como premissa principal da programação e planejamento a execução de linhas de voo bastante próximas, com recobrimento acentuado - cerca de 80% tanto longitudinal quanto lateral, conforme recomendado pela literatura técnica especializada para serviços de mapeamento topográfico.

A altura do voo também foi determinada a uma altitude elevada para reduzir a deformação geométrica das fotografias aéreas.

A observação dessas diretrizes possibilitou a obtenção de um mosaico com elevada resolução e densidade da nuvem de pontos utilizada para extração de topografia. Destaca-se ainda a qualidade digital dos registros obtidos que permitem uma elevada resolução espacial dos objetos imageados a campo.

De maneira sintética constam no Quadro 3 os principais parâmetros da campanha fotogramétrica realizada na área.

Quadro 3 - Principais parâmetros da campanha aerofotogramétrica.

| Item | Descrição | |
|------|--|---|
| 1 | Data do aerolevanteamento | 16/03/2018 |
| 2 | Período | Manhã e Tarde |
| 3 | Classe do drone | Microdrone multirrotor marca DJI modelo INSPIRE 1 |
| 4 | Sensor imageador | Câmera fotográfica de pequeno formato DJI X5 com Pixels Efetivos: 16 Mpx; Resolução máxima de 4608x3456p; ISO: 100-25600; Velocidade do obturador: 8 s-1/8000 s; Campo de Visão: DJI MFT 15mm f/ 1,7 ASPH 72° |
| 5 | Área total do levantamento | 23 hectares |
| 6 | Altura do voo | 120 m |
| 7 | Recobrimento longitudinal dos registros fotográficos | 80% |
| 8 | Recobrimento transversal dos registros fotográficos | 80% |
| 9 | Número de registros fotográficos do mosaico | 28 |
| 10 | Resolução espacial efetiva no solo (pixel da imagem) | 3,90 cm |

Na Figura 4, a seguir, observa-se os pontos de tomada das fotografias aéreas com o respectivo número de superposições das fotografias.

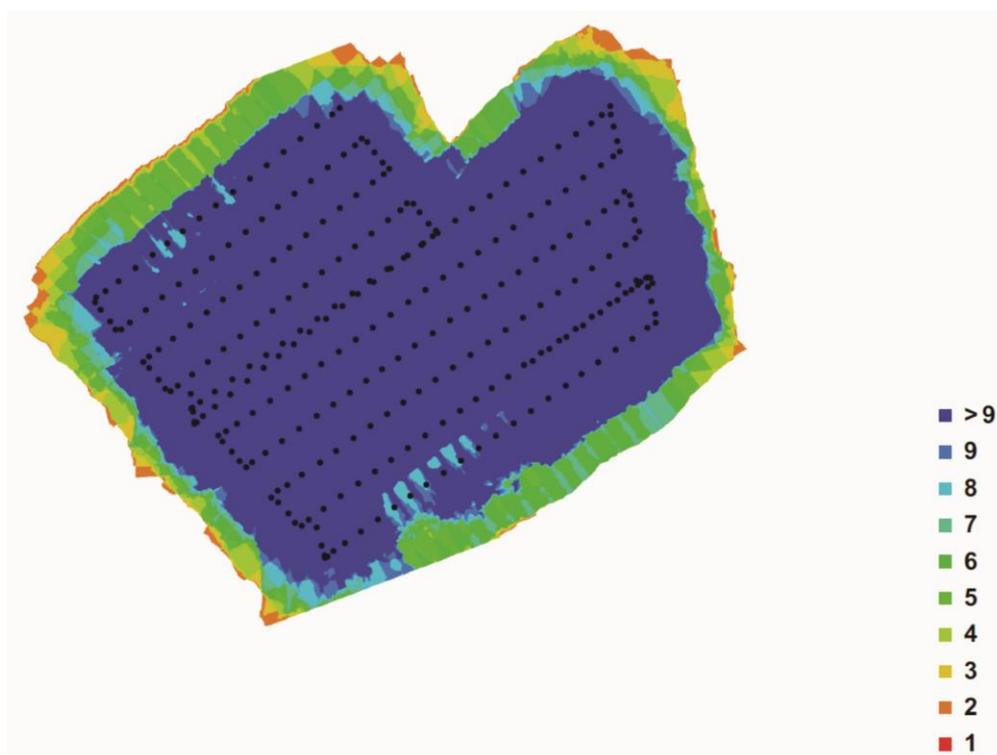


Figura 4 - Distribuição dos pontos de tomada das fotografias e número de superposições em escala de cores.

A observação da Figura 4 permite concluir que a maior parte do levantamento alcançou um número de mais de 9 fotos superpostas na maior parte da área, o que é considerado muito adequado para elaboração dos procedimentos subsequentes de processamento

computacional.

5.3 - REDE DE PONTOS DE APOIO DE CAMPO

O levantamento topográfico está referenciado ao sistema de projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, no Datum SIRGAS2000. A altitude ortométrica foi calculada no programa MAPGEO 2015 - Versão 1.0 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os parâmetros topográficos do levantamento são os seguintes:

- Pontos de apoio de campo (*ground control points*) georreferenciados: foram coletados 20 pontos de apoio georreferenciados com equipamento GNSS em modo RTK com precisão média de 0,055 cm na projeção horizontal e 0,0133cm na projeção vertical (cota do terreno) cuja distribuição na área da gleba pode ser verificada na Figura 5.
- O erro médio do georreferenciamento do mosaico em relação aos pontos de controle foi de 8,673 cm na projeção horizontal e 3,379 cm na projeção vertical (cota do terreno).
- As curvas de nível foram geradas a partir da extração de uma nuvem de pontos obtida sobre o mosaico de fotografias aéreas ortorretificadas e georreferenciadas, com uma equidistância vertical de 1,0 m.
- As divisas do terreno foram delimitadas a partir de informações disponibilizadas pelo contratante.

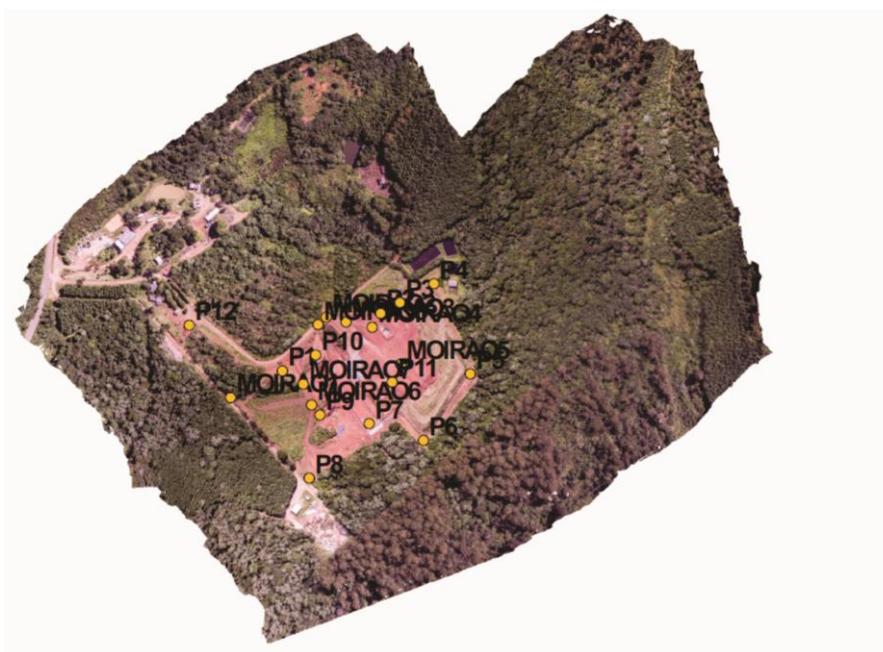


Figura 5 - Distribuição dos pontos de controle de campo no terreno.

5.4 - GERAÇÃO DO ORTOMOSAICO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE

O processamento do conjunto de fotografias aéreas foi realizado em software fotogramétrico a partir do alinhamento das imagens com uso de um algoritmo denominado SFM (*Structure From Motion*) disponível no aplicativo que efetua o ajustamento e o alinhamento das imagens a partir de pontos similares comumente identificados nas diversas fotografias aéreas superpostas.

Após a mosaicagem é efetuado o melhoramento do posicionamento geográfico a partir da inserção das coordenadas e cotas dos pontos de controle de campo. O mosaico resultante desse processamento pode ser visualizado na Figura 6 e no Anexo I.



Figura 6 - Versão em dimensão reduzida do mosaico aerofotogramétrico produzido para a área de interesse.

5.5 - LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DA ÁREA DO EMPREENDIMENTO

Como produto resultante do mosaico ortorretificado e devidamente georreferenciado a partir dos pontos de controle foi elaborado o modelo numérico de superfície da área de interesse e a remoção de elementos que não compõem o terreno natural, como por exemplo cobertura vegetal e edificações. A extração das curvas de nível a partir da nuvem de pontos ajustada resultou na geração de curvas de nível com equidistância de 1,0 m. Na Figura 7 e no Anexo II constam as curvas de nível geradas na área do empreendimento.



Figura 7 - Curvas de nível com equidistância de 1,0 metro na área do empreendimento.

6 - PARÂMETROS TÉCNICOS PARA EXPANSÃO DO ATERRO SANITÁRIO

Neste item será descrito os resultados e metodologias do cálculo do volume e estimativa de vida útil da Célula 01, o dimensionamento do sistema de drenagem pluvial, o dimensionamento do Sistema de Drenagem do Lixiviado e por fim o Detalhamento do Sistema de Detecção de Vazamentos.

6.1 - CONFIGURAÇÃO FINAL DOS TALUDES POSITIVOS DA CÉLULA 01

A célula 01 está localizada a sudoeste do maciço de resíduo já existente no aterro, com dimensões de projeto de 25,00 metros de largura e 100,00 metros comprimento e área de 2.500,00 metros quadrados, conforme detalhado na Figura 8.



Figura 8 - Detalhe da localização da célula 01 em relação ao maciço de resíduos já existente.

A partir do levantamento planialtimétrico atualizado gerado da aerofotogrametria, foi realizado o projeto de configuração final dos taludes positivos da célula 01 para uma conformação estável do ponto de vista geotécnico. Os resultados da geometria dos taludes serão apresentados considerando as três frentes que compõem o maciço da célula 01, conforme consta na Figura 9.



Figura 9 - Detalhe da localização da célula 01 em relação ao maciço de resíduos.

6.1.1 - Configuração dos Taludes da Célula 01 na Frente Noroeste

Os principais elementos geométricos dos taludes na frente noroeste da célula 01 são os seguintes:

- Altura total do maciço: 14m;
- Inclinação dos taludes positivos: 45°;
- Largura das bermas: 5,0m;
- Cota topográfica da base do talude: 931m;
- Cota topográfica de encerramento (topo): 945m.

Total de taludes: 02 (dois) com altura de 5,0m e 01 (um) talude com altura de 3,0 m intercalados por 02 (duas) bermas de 5,0 metros de largura.

6.1.2 - Configuração dos Taludes da Célula 01 no Centro da Frente Nordeste

Os principais elementos geométricos dos taludes na frente nordeste da célula 01 são os seguintes:

- Altura total do maciço: 10m;
- Inclinação dos taludes positivos: 45°;
- Largura das bermas: 5,0m;
- Cota topográfica da base do talude: 935m;
- Cota topográfica de encerramento (topo): 945m.

Total de taludes: 01 (um) com altura de 2,0m, 01 (um) talude com altura de 5,0 m e 01 (um) talude com altura de 3,0m (três), intercalados por 02 (duas) bermas de 5,0 metros de largura.

6.1.3 - Configuração dos Taludes da Célula 01 no Centro da Frente Sudeste

Os principais elementos geométricos dos taludes na frente sudeste da célula 01 são os seguintes:

- Altura total do maciço: 07m;
- Inclinação dos taludes positivos: 45°;
- Largura das bermas: 5,0m;
- Cota topográfica da base do talude: 938m;
- Cota topográfica de encerramento (topo): 945m.

Total de taludes: 01 (um) com altura de 4,0m, 01 (um) talude com altura de 3,0m intercalados por 02 (duas) bermas de 5,0 metros de largura.

A planta com os detalhamentos do projeto geométrico dos taludes positivos da célula 01 conta no Anexo III.

6.2 - CÁLCULO DO VOLUME E ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL DA CÉLULA 01

O cálculo de volume da célula 01 foi elaborado a partir da configuração final dos taludes propostos nos itens acima, o volume total resultante e o cálculo da vida útil da célula 01 foram gerados a partir das seguintes diretrizes e critérios:

- Volume disponível (bruto) calculado = 22.066m³;
- Aporte diário médio de resíduos = 35 toneladas/dia;
- Volume diário médio de resíduos recebidos = 35 toneladas/dia x 0,6 = 21m³/dia;
- Volume mensal de resíduos recebidos = 21m³ x 27 dias/mês = 567m³/mês;

- Volume anual de resíduos recebidos = $567\text{m}^3 \times 12 \text{ meses} = 6.804\text{m}^3/\text{ano}$;
- Volume anual de resíduos associada ao percentual de material inerte utilizado na cobertura e problemas operacionais = $6.804\text{m}^3/\text{ano} \times 12\% = 816\text{m}^3/\text{ano}$;
- Soma anual do volume de resíduos recebidos associada a volume de material inerte e problemas operacionais = $6.804\text{m}^3/\text{ano} + 816\text{m}^3/\text{ano} = 7.620\text{m}^3/\text{ano}$;
- Volume disponível (bruto) dividido pela soma de material inerte e outros = $22.066\text{m}^3/7.620\text{m}^3/\text{ano} = 3 \text{ anos}$
- Tempo de vida útil geral previsto aproximadamente 34,5 meses ou 3 anos;
- A vida útil da célula 1 pode variar conforme aumenta ou diminui o aporte de resíduos ao aterro, o valor de 35 ton/dia segue a média atual de disponibilização efetivamente realizada;
- A compactação do maciço é peça chave no alcance do volume previsto, sendo imprescindível a observação desse procedimento operacional.

7 - DETALHAMENTO DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

O projeto de impermeabilização da base das células e dos taludes laterais tem por objetivo precípuo a implantação de estruturas e dispositivos que permitam o isolamento das pilhas de resíduos do solo natural e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos adjacentes e sotopostos às áreas de disposição. O detalhamento técnico que está projetado no Anexo IV deste documento está relacionado com os conceitos a seguir:

7.1.1 - Diretrizes

Na engenharia atual de aterros sanitários, prevalece o conceito de confinar os resíduos por barreiras impermeáveis, o que, conseqüentemente, protege os resíduos da entrada de líquidos externos e o subsolo da infiltração dos percolados e gases provenientes do aterro. De forma geral, são empregadas duas alternativas de impermeabilização, uma a partir da utilização de solos argilosos e a outra por meio de elementos sintéticos, do tipo geomembrana. Embora existam outros tipos de revestimentos, a utilização destas alternativas de forma isolada ou combinada é a mais frequente nos aterros sanitários brasileiros. A extensão destas ações depende do tipo de solo, especialmente quando no contato do aterro com a fundação o material é argiloso, uma vez que a argila absorve e retém com facilidade vários constituintes químicos dos percolados.

A areia e a brita, sendo drenantes, funcionam como camada coletora de percolados. O geotêxtil usado não permite a intrusão do solo na areia ou brita, fato que diminuiria a

capacidade drenante. O solo tem a finalidade de proteger as camadas subjacentes, garantindo a integridade das mesmas na ocasião da deposição dos resíduos. Em termos detalhados, a solução de impermeabilização de base consta descrita no Quadro 4.

Quadro 4 - Descrição das características da impermeabilização da base das células (fundação do aterro), considerada o perfil geral do fundo para o topo do conjunto.

| Item | Denominação de Projeto | Cód. | Descrição | Espessura | Função |
|------|------------------------|------|---|-----------|---|
| 1 | Solo natural | TN | Terreno natural | ----- | ----- |
| 2 | Camada 1 | C1 | Base de argila fortemente compactada sobreposta ao terreno natural | 50 cm | Conformação do piso da célula e proteção à infiltração de percolados no subsolo |
| 3 | Camada 2 | C2 | Colchão drenante de areia grossa | 30 cm | Finalidade de criar um meio poroso capaz de reter eventuais vazamentos de percolado e que possam ser drenados |
| 4 | Geomembrana | C3 | Impermeabilizante sintético composto por geomembrana de PEAD | 1,5 mm | Função de impedir a passagem de finos que possam favorecer a colmatação da camada drenante sotoposta |
| 5 | Camada 4 | C4 | Camada de argila fortemente compactada | 80 cm | Proteção superior da camada drenante e revestimento duplo para aumentar a confiabilidade do conjunto de base |

A Figura 10 e o apresenta de maneira esquemática a solução de projeto a ser adotada para implantação da proteção mecânica de base da célula.

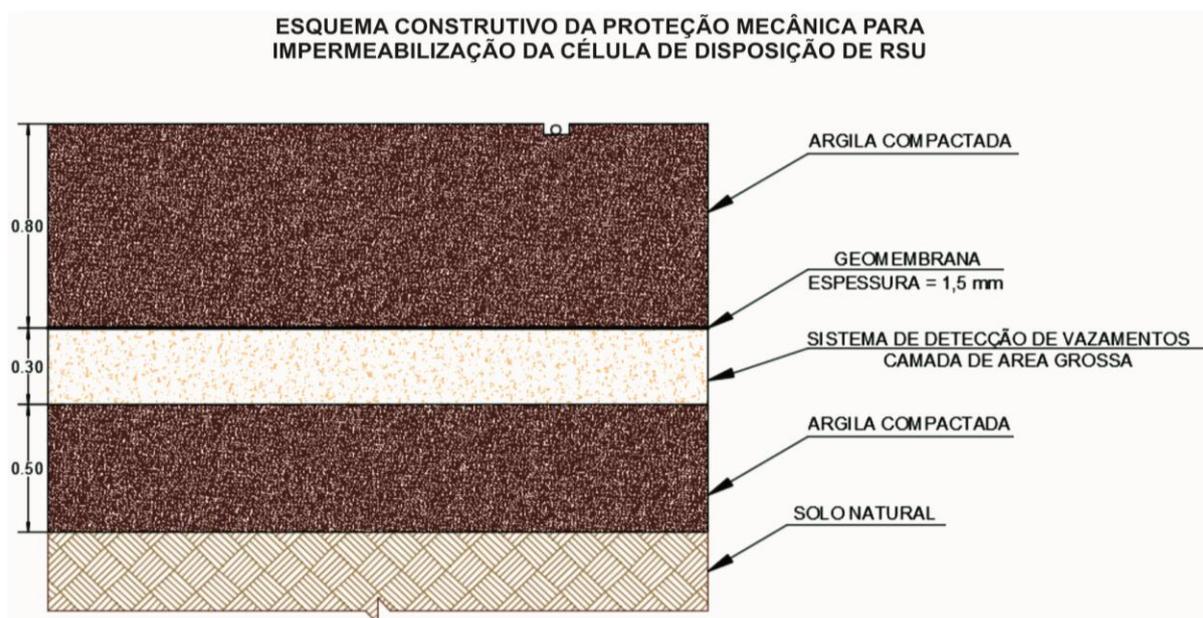


Figura 10 - Esquema proposto para impermeabilização da base das células de disposição de resíduos que serão dispostos no aterro.

7.1.2 - Procedimentos Construtivos Para Implantação

Os procedimentos construtivos devem seguir a seguinte ordem:

7.1.2.1 - Solo Natural

Antes de iniciar a disposição das camadas de impermeabilização, deverá ser realizada a regularização do terreno, visando o aplainamento da base da célula.

7.1.2.2 - Camada 1 de Argila Compactada

A execução da base impermeável (camada 1) que comporá a fundação do aterro deverá utilizar solos essencialmente argilosos, com coeficiente de permeabilidade $k = 10^{-7}$ cm/s e espessura mínima de 0,5 metros. O grau de compactação mínimo requerido a ser atingido na compactação de cada camada deverá ser 96% referido ao ensaio de compactação Proctor (ABNT-MB-33/Energia Normal). O teor de umidade deverá se apresentar inferior a 1,10 e superior a 0,95 do teor de umidade ótimo referido à energia normal de compactação, de modo a possibilitar a execução de corpo compactado com condições adequadas. Previamente ao lançamento das camadas argilosas que serão compactadas deverão ser executados os serviços de limpeza, escavação e regularização (terraplenagem). Após a limpeza e regularização superficial, a superfície exposta deverá ser compactada por meio do uso de rolo compactador, sem vibração.

O solo deverá ser descarregado por caminhões basculantes e espalhado com trator de esteira tipo D6 ou similar em camadas com no máximo 25 centímetros. O material lançado deverá ser espalhado e nivelado de modo a ser obtida uma superfície plana e de espessura uniforme. Na sequência, o solo lançado deverá ser tratado por meio de grade de discos para assegurar que ao longo de sua espessura seja obtido um material homogêneo quanto ao teor da umidade e textura, promovendo-se todas as medidas de umedecimento por irrigação ou aeração para correção dessa umidade. A compactação deverá ser efetuada com rolo compactador tipo *tamping* ou similar com a mesma eficiência.

7.1.2.3 - Colchão Drenante de Areia Grossa

Sobre a camada 1 de argila deveser ser disposta uma cada de areia grossa de 0,30cm de espessura. A finalidade é criar um meio poroso cuja finalidade é de criar um meio poroso capaz de reter eventuais vazamentos de percolado e que possam ser drenados, além de constituir um elemento que possibilitará a detecção de eventuais vazamentos que transpassassem as camadas superiores de impermeabilização.

7.1.2.4 - Geomembrana

Posteriormente a camada do colchão drenante, deverá ser executada a instalação da geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD), com espessura de 1,5 mm. Deverá ser utilizada geomembrana com a máxima largura possível no sentido de minimizar o número de emendas. O corte da geomembrana, quando necessário, deverá ser efetuado empregando equipamentos definidos pelo fabricante. Caso durante os serviços de instalação ou manuseio da geomembrana surgirem rasgos ou furos na mesma, deverá ser soldado sobre a parte danificada um pedaço de manta com dimensões que ultrapassem as bordas do rasgo/furo em cerca de 30 cm para cada lado. A união das faixas de geomembrana deverá ser realizada por processo de soldagem definido pelo fabricante. Esta soldagem deverá ser realizada por meio da utilização de máquinas apropriadas para garantir a perfeita transmissão de esforços. As emendas deverão ser realizadas no próprio local de instalação da geomembrana.

O ancoramento da geomembrana na parte superior dos taludes será executado em trincheiras de seção quadrada de 30 cm de lado, afastadas cerca de 60 cm da crista do talude. O reaterro destas trincheiras será realizado com o próprio material retirado quando da escavação da trincheira, devidamente compactado. As trincheiras deverão estar isentas de lama e finos em suspensão na água.

7.1.2.5 - Camada 2 de argila compactada

Sobre a geomembrana será implantado outro nível de argila fortemente compactada com 80 cm de espessura com intuito de constituir uma proteção superior à camada drenante e formar um revestimento duplo para aumentar a confiabilidade do conjunto de base impermeabilizada do aterro. Os procedimentos de compactação da camada 2 serão os mesmos anteriormente utilizados e supradescritos para a camada 1.

Os materiais deverão, ainda, estar isentos de matéria orgânica, matéria vegetal, blocos de rocha com granulometria superior a 10 cm, ou outros materiais impróprios.

Durante a execução da estruturação da camada 1, a praça de compactação deverá ser mantida com declividade mínima de 1,0 % para permitir o rápido escoamento das águas de chuva.

Todos os serviços relacionados aos procedimentos de instalação deverão estar rigorosamente de acordo com as especificações do fabricante. Deverá ser evitado, durante a instalação e manuseio da geomembrana, qualquer tipo de poluição (lama, óleo, solventes) sobre a mesma, sob o risco de perda de sua eficiência.

Deverão ser dispensados cuidados especiais com a drenagem na área de instalação com o intuito de evitar o acúmulo e a formação de depósitos ou lâminas d'água e detritos prejudiciais ao comportamento da geomembrana. Sobre a geomembrana de PEAD disposta na base do aterro foi dimensionada uma camada de solo argiloso medianamente compactado com 80 cm de espessura, com a finalidade de fornecer proteção contra materiais pontiagudos presentes nos resíduos ou dos equipamentos utilizados na operação diária do aterro, bem como de constituir o substrato para uma possível implantação de drenos de gases e percolados. O detalhamento do sistema de captação e tratamento dos gases oriundos da decomposição dos resíduos sólidos no aterro sanitário de Caçador consta no Anexo VI.

8 - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

O dimensionamento do sistema de drenagem pluvial é dividido em duas parcelas: o estudo hidrológico e o estudo hidráulico. O projeto é iniciado pela definição da curva IDF (intensidade, duração e frequência) para os cálculos hidrológicos de contribuição pluviométrica para a região analisada. De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (2013) do município de Caçador - SC elaborado pela Notus Engenharia, é recomendado utilizar a equação que consta no trabalho realizado pelo Doutor Álvaro José Back denominado "Chuvas Intensas e Chuva de Projeto de Drenagem Superficial no Estado de Santa Catarina" a seguir:

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t + b)^n}$$

Onde: i = intensidade pluviométrica (mm/h);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min);

K, m, n, b = parâmetros determinados para o local;

Portanto, utilizando um tempo de retorno de 5,0 anos e uma chuva com tempo de duração de 5,0 minutos a intensidade pluviométrica calculada para a área de estudo é de 154,14 mm/h.

Para o cálculo da vazão que escoar superficialmente sobre a área de entorno da célula do aterro sanitário é usado o Método Racional com a seguinte equação:

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Onde: Q = intensidade pluviométrica (mm/h);

C = coeficiente de escoamento para o tipo de solo;

i = intensidade pluviométrica (mm/h);

A = área de drenagem (ha).

Considerando que a área de drenagem será sobre argila compactada, o coeficiente "C" de escoamento foi estimado em 0,60 a partir de comparativos com outras superfícies. Já a área foi dividida em setores, conforme a Figura 11.

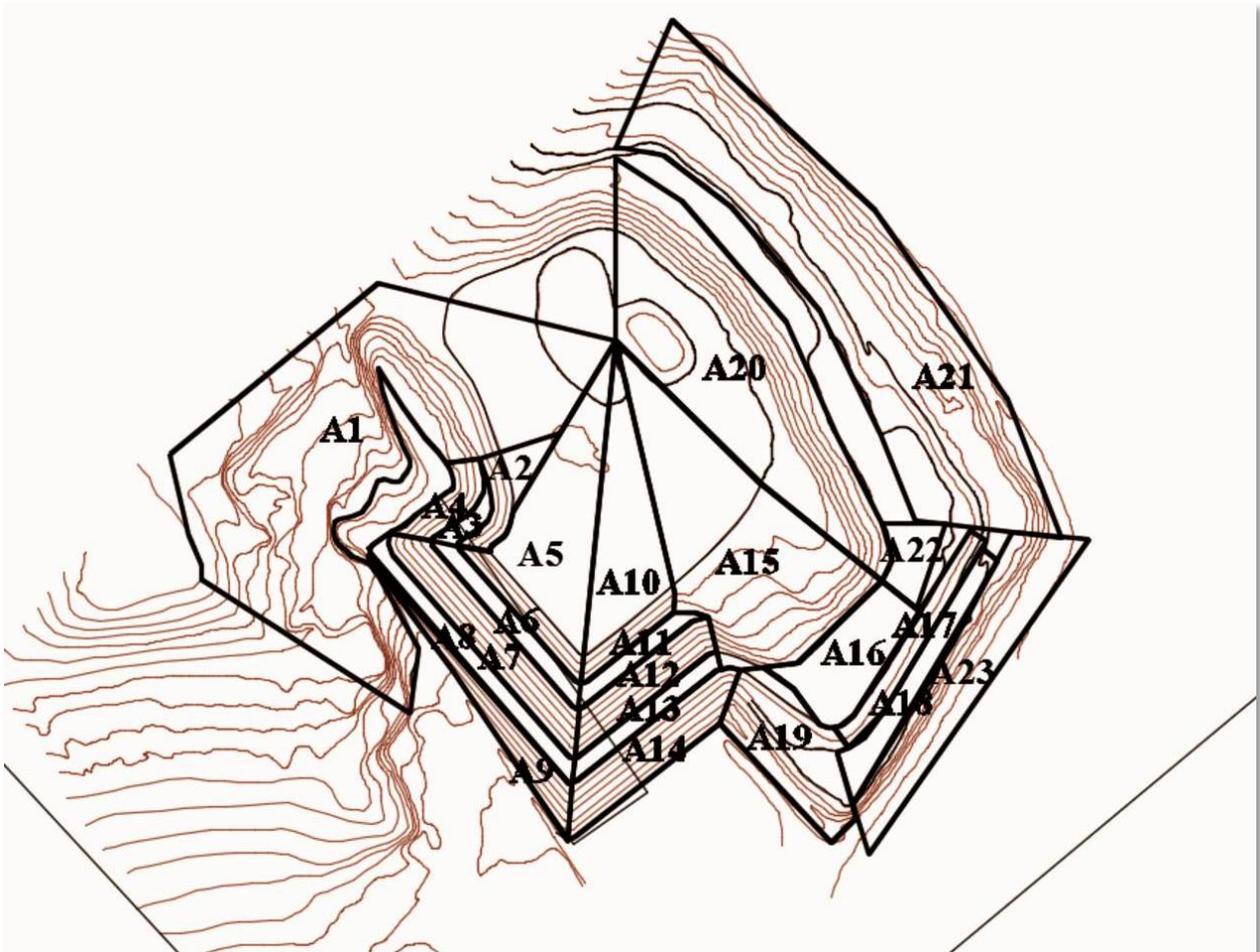


Figura 11 - Divisão das áreas de drenagem no aterro sanitário.

8.1.1 - Dimensionamento das Canaletas de Drenagem

Com a determinação das áreas de contribuição foi possível realizar o cálculo de dimensionamento das canaletas de drenagem superficial com indicação do diâmetro das tubulações de concreto em meia cana (semicírculo). O Quadro 5 traz um resumo do dimensionamento de cada canaleta para sua respectiva área de contribuição, considerando um tempo de retorno de 5 anos e uma chuva com 5 minutos de duração.

Quadro 5 - Dimensionamento das canaletas de drenagem.

| Canaleta | Diâmetro do Tubo (mm) | Ident. da Área | Área de Drenagem (ha) | Vazão Drenada (l/s) | Compr. de Canaleta (m) | Declivid. de Projeto (m/m) | Lâmina D'água Canaleta (m) | Vazão da Seção Canaleta (m³/s) | Velocidade de na Canaleta (m/s) |
|----------|-----------------------|----------------|-----------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 150 | A2 | 0,032 | 8,236 | 23,90 | 0,025 | 0,08 | 9,23 | 1,044 |
| 2 | 150 | A3 | 0,010 | 2,510 | 15,80 | 0,010 | 0,08 | 5,82 | 0,659 |
| 3 | 200 | A4 | 0,024 | 6,089 | 20,60 | 0,010 | 0,10 | 12,54 | 0,798 |
| 4 | 350 | A5 | 0,153 | 39,396 | 54,00 | 0,010 | 0,18 | 55,77 | 1,159 |
| 5 | 200 | A6 | 0,029 | 7,532 | 60,00 | 0,010 | 0,10 | 12,54 | 0,798 |
| 6 | 250 | A7 | 0,073 | 18,661 | 80,00 | 0,010 | 0,13 | 22,74 | 0,926 |
| 7 | 200 | A8 | 0,043 | 10,934 | 83,50 | 0,010 | 0,10 | 12,54 | 0,798 |
| 8 | 300 | A10 | 0,118 | 30,417 | 34,20 | 0,010 | 0,15 | 36,97 | 1,046 |
| 9 | 150 | A11 | 0,019 | 4,956 | 41,50 | 0,010 | 0,08 | 5,82 | 0,659 |
| 10 | 200 | A12 | 0,047 | 12,031 | 50,00 | 0,010 | 0,10 | 12,54 | 0,798 |
| 11 | 200 | A13 | 0,025 | 6,312 | 53,50 | 0,010 | 0,10 | 12,54 | 0,798 |
| 12 | 250 | A14 | 0,069 | 17,600 | 53,50 | 0,010 | 0,13 | 22,74 | 0,926 |
| 13 | 400 | A15 | 0,275 | 70,545 | 50,60 | 0,010 | 0,20 | 79,63 | 1,267 |
| 14 | 250 | A16 | 0,074 | 19,057 | 40,50 | 0,010 | 0,13 | 22,74 | 0,926 |
| 15 | 200 | A17 | 0,024 | 6,250 | 67,20 | 0,010 | 0,10 | 12,54 | 0,798 |
| 16 | 200 | A18 | 0,036 | 9,333 | 72,00 | 0,010 | 0,10 | 12,54 | 0,798 |
| 17 | 350 | A19 | 0,155 | 39,722 | 54,00 | 0,010 | 0,18 | 55,77 | 1,159 |
| 18 | 450 | A20 | 0,334 | 85,870 | 130,80 | 0,007 | 0,23 | 95,32 | 1,199 |
| 19 | 450 | A21 | 0,388 | 99,758 | 112,50 | 0,010 | 0,23 | 109,01 | 1,371 |
| 20 | 250 | A22 | 0,027 | 6,934 | 25,00 | 0,010 | 0,13 | 22,74 | 0,926 |
| 21 | 450 | A23 | 0,424 | 108,970 | 98,50 | 0,010 | 0,23 | 109,01 | 1,371 |
| 22 | 700 | A24 | 1,275 | 327,593 | 74,00 | 0,010 | 0,35 | 354,13 | 1,840 |
| 23 | 350 | A1+A9 | 0,521 | 133,838 | 85,00 | 0,058 | 0,18 | 135,27 | 2,812 |

8.1.2 - Dimensionamento das Bacias de Retenção

As águas pluviais provenientes da drenagem do aterro sanitário são dirigidas às bacias de retenção com objetivo de proteção ambiental, auxiliando na melhoria da qualidade das águas afluentes com os seguintes aspectos: sedimentação dos sólidos em suspensão, variação da concentração de nutrientes e oxigênio dissolvido, assim como na redução de microrganismos.

As duas bacias de retenção previstas neste projeto são do tipo a céu aberto, construídas em terra, com nível de água permanente.

Portanto, foram projetadas duas bacias de retenção: Bacia A e Bacia B. As características das

bacias constam no Quadro 6.

Quadro 6 - Parâmetros físicos das bacias de retenção.

| Bacia | Área (m ²) | Comprimento (m) | Largura (m) | Volume Total (m ³) | Volume Útil (m ³) | Profundidade Total (m) | Profundidade Fixa de Água (m) |
|-------|------------------------|-----------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| A | 221,86 | 22,00 | 10,00 | 443,72 | 377,16 | 2,00 | 1,70 |
| B | 282,87 | 22,00 | 13,00 | 565,74 | 480,88 | 2,00 | 1,70 |

Os posicionamentos das bacias no empreendimento assim como todo o sistema de drenagem pluvial constam no Anexo VII.

9 - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO LIXIVIADO

Para estimar a vazão de percolado são utilizados métodos com base no balanço hídrico. Neste Projeto, o cálculo da vazão de percolado será realizado por meio do Método Suíço, o qual utiliza a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{(PxAxK)}{t}$$

Onde:

Q = Vazão média do percolado (l/s);

P = Precipitação média mensal (mm);

A = Área total do aterro (m²);

t = Número de segundos por mês(s);

K = coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos, neste Projeto será adotado o valor de 0,5.

O Quadro 7 apresenta a média de precipitações mensais observadas no período de 28 anos, que se estendem de 1992 a 2015, da estação pluviométrica Campos Novos do banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) situada no município de Campos Novos/SC. A estação foi escolhida por estar em proximidade com a cidade de Caçador/SC e então possuir semelhança no comportamento climatológico, substituindo assim a inexistência de dados com séries representativas em no município de interesse. A precipitação média total anual no município é de 2167,0mm.

Quadro 7 - Média de precipitações (em mm) observadas no período de 1992 a 2015 para estação pluviométrica Campos Novos situada Campos Novos/SC. Fonte: INMET.

| Meses | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Total Anual |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Precipitação (mm) | 216,8 | 181,2 | 156,9 | 162,0 | 159,3 | 163,1 | 2167,0 |
| Meses | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | |
| Precipitação (mm) | 186,6 | 144,2 | 221,2 | 245,4 | 154,8 | 175,6 | |

Portanto, efetuado o cálculo a partir da equação citada acima, temos a vazão estimada média mensal do lixiviado para cada mês do ano, conforme o Quadro 8.

Quadro 8 - Previsão das vazões médias mensais de lixiviado produzido pelo aterro sanitário de Caçador.

| Meses | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Média Anual |
|--|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Vazão de Percolado (m ³ /s) | 0.60 | 0.55 | 0.43 | 0.46 | 0.44 | 0.46 | 0,51 |
| Meses | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | |
| Vazão de Percolado (m ³ /s) | 0.51 | 0.40 | 0.63 | 0.67 | 0.44 | 0.48 | |

O sistema de drenagem para coleta de líquido percolado do aterro será do tipo espinha de peixe, sendo a opção adotada como a que mais se encaixa na geometria da nova célula. O lixiviado flui por gravidade no sistema com drenos espaçados de cinco em cinco metros. Os drenos de PEAD perfurados com inclinação de 2,0% fazem a drenagem do lixiviado até a caixa de inspeção com 1,40m de diâmetro e 1,80m de altura para, posteriormente, conduzirem o efluente até as lagoas de tratamento.

O diâmetro e posicionamento dos drenos assim como os detalhes do sistema de drenagem da célula constam no Anexo V.

10 - DETALHAMENTO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS

Durante a execução da estruturação da camada 1, a praça de compactação deverá ser mantida com declividade mínima de 1,0 % para permitir o rápido escoamento das águas de chuva. Após a implantação da primeira camada, será instalada a camada 2 que constituirá um colchão drenante de areia grossa com espessura de 30 cm e que terá a finalidade de criar um meio poroso capaz de reter eventuais vazamentos de percolado e que possam ser drenados, além de constituir um elemento que possibilitará a detecção de eventuais

vazamentos que transpassassem as camadas superiores de impermeabilização. Sobre a camada 2, deverá ser implantado um meio de retenção de finos definido por manta geotêxtil, que auxiliará na contenção de materiais que possam favorecer a colmatação da camada drenante sotoposta (camada 2). Sobre a camada 2 será implantado outro nível de argila fortemente compactada com 50 cm de espessura com intuito de constituir uma proteção superior à camada drenante e formar um revestimento duplo para aumentar a confiabilidade do conjunto de base impermeabilizada do aterro. Os procedimentos de compactação da camada 2 serão os mesmos anteriormente utilizados e supradescritos para a camada 1.

O sistema deve ser monitorado por meio de uma caixa de inspeção com 1,0m de diâmetro por 1,10m de altura. O monitoramento se dá pela observação da ocorrência de líquido ou indício de umidade no interior da caixa. A localização pode ser visualizada na Figura 12.

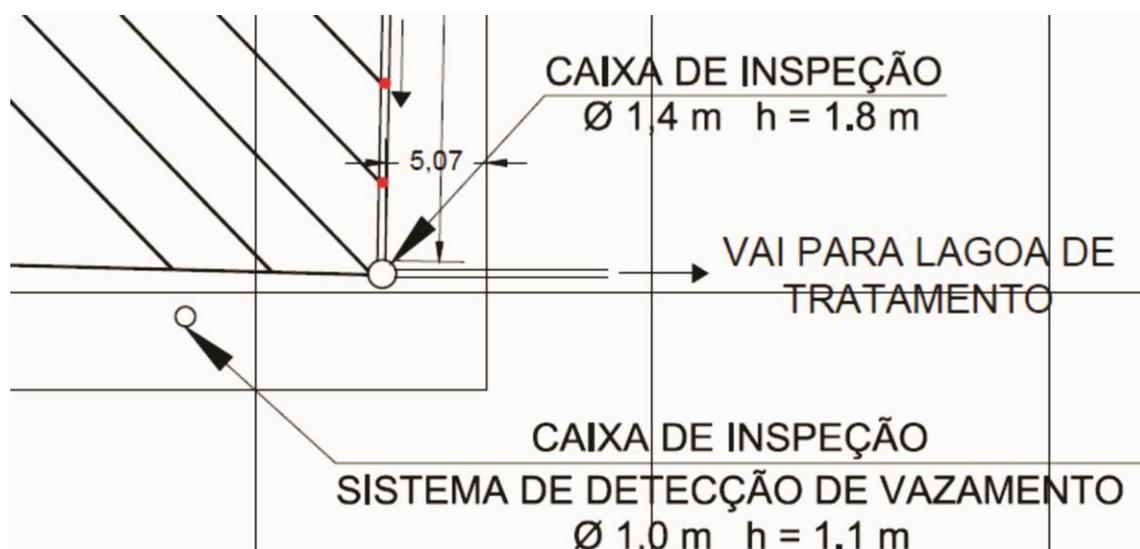


Figura 12 - Localização da caixa de inspeção para detecção de vazamentos.

11 - IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA CONSULTORA

Os principais dados de identificação da empresa de consultoria responsável pelos estudos técnicos constam no Quadro 9.

Quadro 9 - Dados gerais da empresa de consultoria ambiental.

| Dados Gerais da Empresa Consultora | | | |
|--|---------------------|---|-----------------------|
| Razão Social: AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI - EPP | | | |
| CNPJ/M.F: 05.848.147/0001-50 | CREA RS: 171.356 | CRBIO 3 (RS): 657-03/2011 | CTF/IBAMA: 5473920 |
| Endereço Para Correspondência: Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201-204 | | | |
| Bairro: Moinhos de Vento | CEP: 90510-040 | Município: Porto Alegre/RS | |
| Telefone: (51) 3072-6563 | (51) 3072-6863 | | |
| Contato: Geólogo Evandro Gottardo | CPF 512.477.120/87 | Correio eletrônico: comercial.agrosigeng@gmail.com | |
| Contato: Engenheiro Jorge Vidal Olivera Duarte | CPF 302.568.950-15 | Correio eletrônico: jorge.vidal@agrosigeng.com.br | |

12 - EQUIPE TÉCNICA

No Quadro 10 está relacionada a equipe técnica da empresa consultora responsável pela execução dos estudos que compõem o Relatório em questão. As respectivas Anotações de Responsabilidade Técnica (ART's) dos profissionais participantes da equipe constam no Anexo VIII.

Quadro 10 - Equipe responsável pela elaboração do Relatório.

| Profissional | Qualificação | Registro Profissional | ART |
|----------------------------|---|-----------------------|---------|
| Jorge Vidal Olivera Duarte | Eng. Agrícola, Ms. em Engenharia, Esp. Saneamento Ambiental | CREA RS 44141 | 9601736 |
| Evandro Gottardo | Geólogo, Ms. Dr. em Engenharia | CREA RS 83699 | 9601829 |
| Priscila K. G. Vanzella | Engenheira Sanitarista e Ambiental | CREA RS 227070 | 9601892 |
| Romelito Regginato | Geógrafo e Graduando em Geologia | CREA RS 191059 | 9601891 |
| Guilherme Querotti e Silva | Técnico em Hidrologia, Graduando em Engenharia Civil | CREA RS 213833 | ----- |
| Julia Silveira | Graduanda em Engenharia Civil | ----- | ----- |
| Guilherme Zanatta | Graduando em Geologia | ----- | ----- |
| Leonardo Bachi | Graduando em Geologia | ----- | ----- |

13 - ANEXOS

Anexo I - Levantamento Aerofotogramétrico da Área do Aterro Sanitário.

Anexo II - Levantamento Planialtimétrico da Área do Empreendimento.

Anexo III - Planta da Configuração Final dos Taludes Positivos da Célula 01.

Anexo IV - Detalhamento do Sistema de Impermeabilização da Superfície Inferior do Aterro.

Anexo V - Detalhamento do Sistema de Drenagem para Coleta e Remoção de Líquido Percolado do Aterro.

Anexo VI - Detalhamento do Sistema de Captação e Tratamento dos Gases Oriundos da Decomposição dos Resíduos.

Anexo VII - Detalhamento do Sistema de Drenagem Pluvial.

Anexo VIII - Anotações de Responsabilidade Técnica.

ANEXOS

Anexo I - Levantamento Aerofotogramétrico da Área do Aterro Sanitário.

Anexo II - Levantamento Planialtimétrico da Área do Empreendimento.

Anexo III - Planta da Configuração Final dos Taludes Positivos da Célula 01.

Anexo IV - Detalhamento do Sistema de Impermeabilização da Superfície Inferior do Aterro.

Anexo V - Detalhamento do Sistema de Drenagem para Coleta e Remoção de Líquido Percolado do Aterro.

Anexo VI - Detalhamento do Sistema de Captação e Tratamento dos Gases Oriundos da Decomposição dos Resíduos.

Anexo VII - Detalhamento do Sistema de Drenagem Pluvial.

Anexo VIII - Anotações de Responsabilidade Técnica.

AGROSIG

Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201 a 204 - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS CEP 90510-040
Tel.: (51) 3072-6563 - (51) 3072-6863. E-mail: comercial.agrosigeng@gmail.com. Site: www.agrosigeng.com.br

Rubrica de Controle do Responsável Pela Elaboração

