

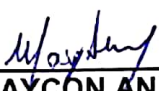
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

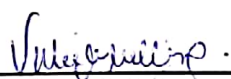
SASCHA IAN MANICA COLUSSI

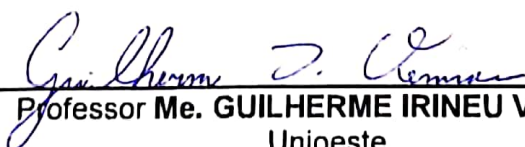
**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ENTORNO DO
ATERRO SANITÁRIO DE CASCAVEL-PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Me. Eng. Civil MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**

BANCA EXAMINADORA


Orientador Prof. **Me. MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil


Professora **VANESSA WIEBBELLING**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil


Professor **Me. GUILHERME IRINEU VENSON**
Unioeste
Engenheiro Civil

Cascavel, 09 de novembro de 2019.



ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ENTORNO DO ATERRO SANITÁRIO DE CASCAVEL-PR

SASCHA IAN MANICA COLUSSI¹; MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA²

¹Discente, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, saschacolussi@gmail.com;

²Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento, Prof. Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, mayconalmeida@creapr.org.br.

RESUMO: Este artigo objetivou a avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno do aterro sanitário de Cascavel – Paraná. Foram coletadas amostras de água através de poços de monitoramento nos períodos de abril de 2017 e maio de 2018, obtendo-se dados para os parâmetros pH, Cloreto, Nitrito, Chumbo total, Cromo, Ferro, Mercúrio total e Zinco. Com o uso de tabelas e mapas de isoconcentrações, observou-se teores elevados de Ferro e Mercúrio total em 3 dos 8 poços analisados, sendo o poço Nº 3 o mais crítico. As possíveis origens das inconformidades encontradas podem ser problemas na impermeabilização, recobrimento das células e no sistema de coleta do lixiviado, que acabam facilitando a percolação de líquidos através do solo. Deve haver maior controle do recobrimento e impermeabilização das células, bem como manutenção do sistema de coleta e transporte do lixiviado, para que todos os líquidos produzidos nas células sejam, de fato, enviados as lagoas de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea. Chorume. Aterro sanitário.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a preocupação com o meio ambiente vem crescendo e, consequentemente, o gerenciamento, controle e destinação final do lixo são fatores de imensa importância, para tal existem locais específicos como lixões, aterros sanitários e aterros controlados. Os aterros sanitários possuem um papel muito importante, pois apresentam um menor custo quanto a destinação final de resíduos a longo prazo, devido à redução de efeitos negativos causados ao meio ambiente (RIBEIRO, 2011).

De acordo com Brandão e Silva (2011), lixões são locais inapropriados para a destinação final de resíduos, por não possuírem qualquer meio de tratamento para o material e a inexistência de qualquer medida de proteção ao meio ambiente e seres vivos. Por outro lado, aterros sanitários são locais criados exclusivamente para o tratamento do lixo e são projetados atendendo critérios e normas específicas do seu ramo.

Segundo Tada *et al.* (2009), precedente ao projeto do aterro deverá ser definida a área de implantação, que possui um papel muito importante, pois poderá minimizar possíveis impactos ambientais, custos e complexidade de projeto. Alguns dos pontos que merecem

destaque dentro desta área são: geologia, declividade do terreno, características do material a ser depositado e profundidade do lençol freático.

Um fator muito importante em aterros é a permeabilidade do solo, pois esta determina a velocidade de percolação de subprodutos da decomposição dos resíduos, como o chorume e, se reduzida, o método de impermeabilização utilizado no fundo e laterais poderá ser simplificado (ROWE JUNIOR, 2007).

Previamente à disposição dos resíduos no solo, o terreno deverá ser nivelado e impermeabilizado. A impermeabilização pode ser simples, composta ou dupla, sendo a composta largamente utilizada e, constituída de uma camada de argila compactada e uma geomembrana; desta forma o lençol freático não será contaminado pelo chorume gerado na célula tão facilmente (WORRELL e VESILIND, 2010).

O chorume é um líquido formado pela deterioração de resíduos quando somados à água infiltrada no solo que pode apresentar altas concentrações de compostos orgânicos e metais pesados passíveis de contaminação ao meio ambiente, e serem tóxicos aos seres vivos. Suas características físico-químicas e microbiológicas dependem da origem, idade e estágio de decomposição dos resíduos (OLIVEIRA e JUCÁ, 2004).

Devido as altas cargas químicas e orgânicas do chorume, se faz necessário um tratamento efetivo para sua amenização, dentre as várias técnicas existentes, processos biológicos, físicos e químicos são muito utilizados. A composição química do chorume possui uma ampla variabilidade e seu tratamento é afetado por quaisquer variações, fazendo com que os processos supracitados acabem sendo ineficazes ou não apresentem os resultados desejados (SERAFFIM *et al.*, 2003).

Devido a possibilidade de percolação do chorume, levando consigo compostos químicos que podem poluir o lençol freático, se faz necessário o monitoramento das águas subterrâneas. Com o uso de poços, alocados a montante e a jusante do local de implantação do aterro, é possível a verificação da qualidade da água antes de passar por áreas passíveis de contaminação e determinar a influência do aterro sobre estas (ABNT NBR 13895, 1997).

Diante do que foi exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho é apresentar e discutir os resultados das análises químicas de águas subterrâneas de 8 (oito) poços de monitoramento instalados no aterro sanitário de Cascavel-PR, no período de 2017 a 2018, comparando-as com os padrões de potabilidade de água.

Para que seja atingido êxito neste trabalho, alguns objetivos específicos serão propostos:

- a) Identificação de alterações nas concentrações de materiais presentes na água subterrânea;
- b) Analisar a qualidade da água subterrânea;

c) Avaliar a integridade da camada impermeabilizante.

Tendo isso em vista, o pretexto de realização desta pesquisa é determinar se a técnica de impermeabilização utilizada no aterro sanitário de Cascavel está sendo realmente efetiva, uma vez que não exercendo o papel planejado, estará afetando o meio ambiente e possivelmente a água subterrânea ali presente. Se tal fato ocorre, acaba causando danos à população, devido à diminuição da qualidade da água e aumento da transmissão de doenças, restringindo-se a pesquisa a localização de alterações nos valores permitidos e determinação de possíveis causas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Resíduos sólidos

De acordo com a ABNT NBR 10.004 (2004), resíduos sólidos e semissólidos são originados de atividades industriais, comerciais e agrícolas. Lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e líquidos com características que tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, também se encaixam nesse termo.

A disposição de resíduos sólidos no solo, quando em quantidades excedentes, geram muitos impactos negativos, que estão relacionados à salinização e contaminação do solo com metais pesados, possível contaminação da população e, caso não haja um controle das águas escoadas na superfície, estarão passíveis de poluição as águas subterrâneas (MATOS, 2014).

Pela possibilidade da existência de doenças nos resíduos sólidos, se faz necessária a cautela, classificação e métodos especiais para tratamento, isto se torna imprescindível devido ao fato de que, os efeitos negativos gerados ao meio ambiente e população podem ser imensos (SPINA, 2005).

Para tal, a ABNT NBR 10.004 (2004) classifica os resíduos sólidos de acordo com sua origem, características e constituintes, comparando-os com resíduos e substâncias cujo o impacto ao meio ambiente e à saúde humana já se tem conhecimento.

a) Resíduos Classe I – Perigosos: apresentam uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;

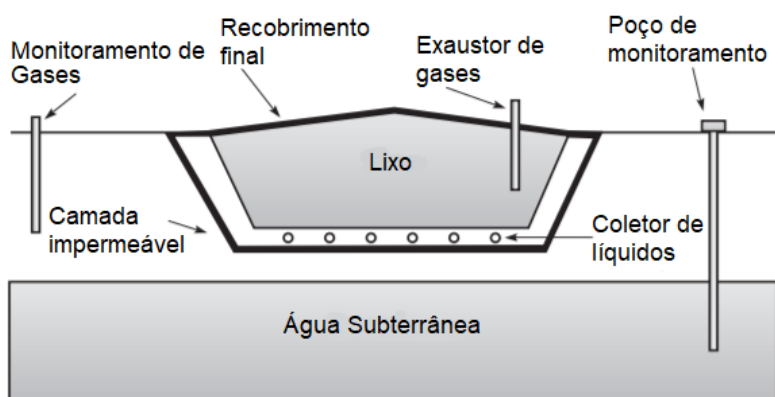
b) Resíduos Classe II A – Não Inertes: possuem características como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

c) Resíduos Classe II B – Inertes: não possuem solubilidade de seus constituintes em água.

2.2 Aterro sanitário

Aterro sanitário é uma forma utilizada para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos no solo. Possui processos de engenharia e leis específicas quanto a sua operação, proporcionando uma retenção dos resíduos sólidos, normalmente através de recobrimento e compactação com argila de baixa permeabilidade, reduzindo assim a probabilidade de impactos ambientais e danos à saúde. Como pode ser visto na Figura 1, estes processos de engenharia referem-se aos sistemas de drenagem superficial, coleta da lixiviação, sistema de tratamento e sistema de queima de gases que serão gerados (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Figura 1 - Componentes principais de um Aterro Sanitário



Fonte: Worrell e Vesilind (2010).

Segundo o Guia do Profissional em Treinamento (2008), uma das maiores dificuldades em relação a aterros sanitários é a escolha da área de implantação, pois esta deverá atingir uma série de requisitos técnicos, econômicos e ambientais. Isto demanda um grande volume de informações, algo que normalmente não está disponível para as administrações municipais, para então ser considerada uma área adequada.

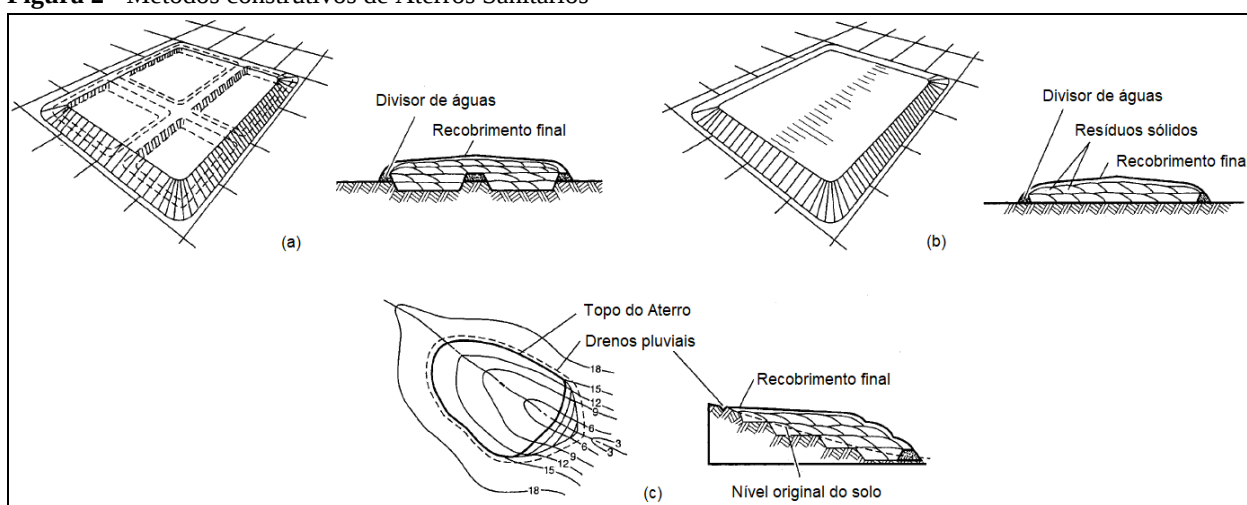
De acordo com a ABNT NBR 13.896 (1997), o local de implantação escolhido deverá ter seu impacto ambiental minimizado, aceitação da população, estar de acordo com o zoneamento da cidade e ter um tempo de utilização prolongado. Sucintamente, sua localização deverá atender os seguintes itens:

- a) Declividade do terreno superior a 1% e inferior a 30%;
- b) Solo com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e distância mínima de 3m da parte inferior do aterro até o lençol freático;
- c) Distância mínima de 200m em qualquer direção de qualquer curso de água;
- d) Estudo macroscópico da vegetação;
- e) Acessibilidade ao local;

- f) Tamanho e vida útil de no mínimo 10 anos;
- g) Análise da viabilidade econômica;
- h) Distância superior a 500m de núcleos populacionais;
- i) Local em que não haja probabilidade de inundação.

Os aterros sanitários se diferem no método de construção, podendo ser escavados/trincheira, área/superficial e encosta (Figura 2). Contudo, a forma de disposição dos resíduos é a mesma, ou seja, consiste na construção de células sanitárias (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Figura 2 - Métodos construtivos de Aterros Sanitários



Fonte: Tchobanoglous e Kreith (2002).

- a) Escavado: Recomendado para áreas onde há quantidade significativa de material para o recobrimento das células e onde o nível do lençol freático não esteja próximo à superfície;
- b) Área: Utilizado quando o terreno não é suscetível à escavação e o nível do lençol freático esteja muito alto;
- c) Encosta: Aplicado quando a topografia do local permite o recebimento dos resíduos sem alteração de sua configuração natural.

Segundo Worrell e Vesilind (2010), o principal motivo da impermeabilização do fundo e laterais é minimizar a possível contaminação, de águas subterrâneas, causada pelo chorume. Isto se dá através do uso de geomembranas com baixíssima permeabilidade que, aliadas ao solo compactado compõem a impermeabilização das células do aterro e coletam todo o chorume ali produzido.

Quando for realizada a aplicação da geomembrana, deve-se tomar cuidado, pois a superfície a recebê-la deverá ser plana e estar livre de pedras e objetos pontiagudos, caso contrário, estes podem danificá-la, facilitando a passagem do chorume (EQUILIBRIUM, 2007).

Os líquidos percolados devem ser removidos do fundo das células o mais rápido possível, reduzindo assim a probabilidade de infiltração no lençol freático. A coleta destes líquidos pode ser feita com o uso da gravidade ou motobombas, conectadas a drenos verticais e horizontais que irão bombear os líquidos para recirculação ou tratamento (WORRELL e VESILIND, 2010).

Através da decomposição dos resíduos sólidos, gases como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) são gerados, estes são retirados de dentro do lixo através de drenos verticais conectados aos drenos horizontais. Devido ao impacto sobre o meio ambiente, estes gases deverão receber um tratamento adequado. A queima deles é comumente utilizada por ser mais barata e diminuir o impacto ambiental em até 21 vezes (RECESA, 2008).

De acordo com a ABNT NBR 13.895 (1997), deverá ser instalado no mínimo um poço de monitoramento a montante do local de instalação do aterro, pois há necessidade de verificação da qualidade original da água subterrânea. A jusante, deverão ser instalados, no mínimo, três poços não alinhados, para a verificação da possível influência gerada na qualidade da água subterrânea. A frequência da realização de análises das águas subterrâneas será entregue de acordo com a capacidade de gerenciamento de resíduos diários do aterro, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Frequência da realização de análises

CLASSE	CAPACIDADE DO ATERRO (Ton/dia)	Águas Subterrâneas	
		Análise Básica	Análise Completa
A	Até 200	Semestral	Anual
B	De 200 a 700	Semestral	Anual
C	Acima de 700	Bimestral	Quadrimestral

Fonte: Resolução Conjunta Nº 01/2006 SEMA/IAP/SUDERHSA

2.3 Chorume

Para Serafim *et al.* (2003), o chorume é um líquido escuro proveniente da degradação de resíduos, comumente encontrado em aterros sanitários. Pode ser gerado pela umidade natural do lixo, precipitação, água de constituição da matéria e bactérias existentes no lixo. Suas características e impactos sobre o meio ambiente são dependentes da fase de decomposição dos

resíduos, sendo que novo, apresenta pH ácido, alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e possivelmente compostos nocivos à saúde. Com o passar dos anos, sua biodegradabilidade diminui e há um aumento na produção de gás metano e CO₂.

Devido à alta carga química, o chorume acaba atacando o solo e diminuindo a qualidade das águas subterrâneas. Por ser um processo muito lento, suas consequências imediatas são nulas, já a longo prazo, os efeitos são notáveis e até mesmo irreversíveis. A degradação das águas subterrâneas pode ser proveniente da má qualidade do solo ou pela percolação de águas pluviais através dos resíduos sólidos (SILVA *et al.*, 2012).

Devido à grande gama de metais e matérias orgânicas encontradas no chorume, a legislação exige, dentre Ni, B, Cu e Ag, que são altamente tóxicos e poluentes, vários outros metais que devem ser analisados para que seja possível minimizar os impactos causados pelo chorume. No tocante a água do lençol freático, suas propriedades físico-químicas como pH, alcalinidade, cor e turbidez são importantes, com estes parâmetros é possível a verificação da percolação de chorume através do solo e sua intensidade (TAVARES, 2011).

Dentre os metais presentes no chorume, o nitrogênio pode ser considerado o que tem maior probabilidade de alcançar o lençol freático. Enquanto estiver na forma de amônio, possui uma probabilidade de lixiviação baixa, mas quando em forma de nitrato, apresenta carga negativa, o que facilita sua movimentação através da água presente no solo (MATOS, 2014).

2.4 Tratamento do chorume

O tratamento, uso e destinação final do chorume, representam um dos maiores custos operacionais em aterros sanitários, durante seu funcionamento e algum tempo após fechamento. Devido a parcela econômica que representa, a alternativa de tratamento escolhida deverá ser minuciosamente estudada, levando em conta alternativas que possuam o melhor custo-benefício e menor impacto ambiental possível. Com o surgimento de novas tecnologias, promulgação de novas leis e mudanças na qualidade do chorume, o tratamento adequado pode mudar com o tempo (WORRELL e VESILIND, 2010).

O tratamento empregado ao chorume coletado varia de acordo com a sua destinação final. Este se dá de maneira muito complexa, devido a sua alta carga orgânica, produção irregular e composição variada, fazendo com que sejam necessários vários processos para o tratamento e remoção de contaminantes (WORRELL e VESILIND, 2010).

Várias são as técnicas utilizadas no tratamento, os processos que merecem destaque são: tratamento biológico, separação com membranas, processos oxidativos, eletroquímicos e sistemas naturais. A recirculação do chorume pelas células já aterradas é considerado um meio

de tratamento, visto que isto possibilita a degradação dos constituintes através de reações biológicas e químicas que ocorrem dentro das células (FERREIRA *et al.*, 2001).

O tratamento primário, através de lagoas de estabilização, é um processo biológico caracterizado por sua simplicidade, eficiência e economia, que funciona através da oxidação aeróbia e redução fotossintética de algas. Este processo é muito indicado no Brasil, devido as condições climáticas de temperatura e insolação elevadas (SERAFIGIM *et al.*, 2003).

2.5 Geoprocessamento

Para Gomes (2011), geoprocessamento representa um conjunto de tecnologias capazes de coletar e tratar informações georreferenciadas, permitindo realizar análises complexas, integrar dados de diversas fontes e a criação de banco de dados georreferenciados, neste sentido, são tecnologias como Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Posicionamento Global (GPS).

2.5.1 UTM (Universal Transversa de Mercator)

Segundo Matias (2010), o sistema de coordenadas UTM é baseado no plano cartesiano, eixos X e Y, utilizando metro como unidade de medida e possuindo como origem o Equador e o Meridiano Central. Seu sistema de coordenadas não acompanha a curvatura da terra, devido a isto também é conhecido como coordenadas planas.

O sistema de coordenadas UTM possui a característica de não possuir coordenadas negativas e apenas dois eixos: E(x) e N(y), indicando respectivamente, longitude e latitude (MATIAS, 2010).

2.5.2 SURFER®

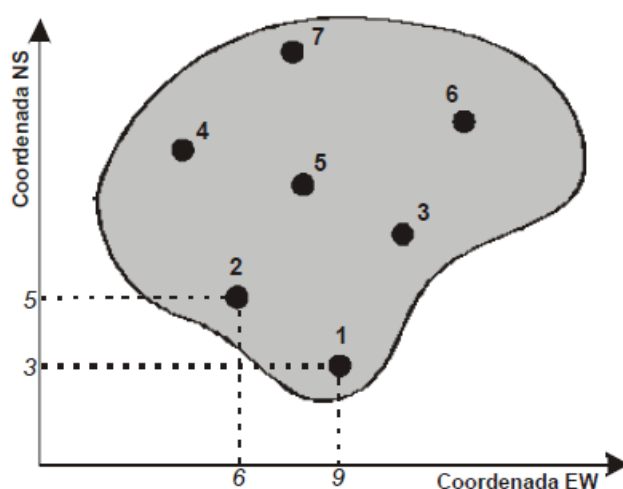
O SURFER® é um pacote de programas desenvolvidos pela Golden Software Inc. utilizado para confecção de mapas de variáveis a partir de dados distribuídos espacialmente. As coordenadas das variáveis utilizadas no programa geralmente são feitas com o uso de mapas com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), que devem utilizar o mesmo *datum*, por exemplo SAD-69 (Sistema Geodésico Sul-Americano) ou WGS-84 (Sistema de Referência Geodésico Global). As coordenadas, deverão ser obtidas com o uso de equipamentos de GPS (Sistema de Posicionamento Global), para que sejam minimizados os erros em áreas em que não se tenha pontos de referência (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

Para a entrada de dados, o *software* disponibiliza uma tabela para a inserção manual dos pontos, sendo possível também importar arquivos do Excel® e outros aplicativos. Após concluída a etapa anterior, é necessário escolher o método de interpolação a ser utilizado para o tratamento de dados, esta etapa é de suma importância, pois os métodos diferentes geram resultados diferentes, podendo induzir a conclusões variadas (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

A construção dos mapas é feita usando a posição espacial de um ponto e seu valor correspondente a variável medida, normalmente representados pelos valores X, Y e Z. Deste modo, as coordenadas são os valores X, posição do ponto na ordenada Leste-Oeste, e Y posição na abcissa norte-sul, sendo Z o valor observado da variável no ponto (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

Na Figura 3 observa-se uma área hachurada em cinza, esta representa a área de observação; os pontos em preto representam os pontos de amostragem, acompanhados de seus respectivos números de identificação e os pontos nos eixos das ordenadas e abcissas representam as coordenadas dos pontos no espaço (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

Figura 3 – Pontos de amostragem (1 a 7) numa área de estudo



Fonte: Landim, Monteiro e Corsi (2002).

De acordo com Landim, Monteiro e Corsi (2002), a partir das coordenadas dos pontos e dos valores assumidos da variável, é possível obter um mapa da distribuição espacial para cada variável, utilizando-se um dos algoritmos de interpolação disponíveis no programa SURFER®.

2.5.3 Interpolação de dados

O objetivo da interpolação de dados é estimar valores para áreas que não foram consideradas durante a amostragem. As variáveis muitas vezes apresentam correlação com sua vizinhança, fazendo com que pontos próximos possuam grande probabilidade de apresentar valores similares (dependência espacial). Um dos métodos mais simples para a interpolação espacial consiste em traçar linhas de mesmo valor (isolinhas) a partir de pontos dispersos (KAWAKUBO, 2017).

De acordo com Kawakubo (2017), para a realização de uma interpolação espacial existem quatro tipos:

- Global: Aproxima de uma vez todos os dados do mapa, possibilitando a interpolação em função de qualquer ponto dentro do domínio dos pontos originais. A retirada ou acréscimo de pontos irá afetar os resultados de toda a interpolação.

- Local: São definidas funções para pequenas partes do mapa sucessivamente, até que se cubra toda a área do mapa. A retirada ou acréscimo de pontos irá afetar apenas localmente o resultado, geralmente na área próxima ao ponto alterado.

- Exato: A diferença entre o valor real e o valor estimado é nulo.

- Aproximado: A diferença entre o valor real e o valor estimado não é nulo.

Krajewski & Gibbs (1996 apud Landim, 2000), desenvolveram a Tabela 2 para a comparação de alguns dos métodos de interpolação disponíveis.

Tabela 2 – Comparativo dos métodos de interpolação.

Algoritmo	Fidelidade aos dados originais	Suavidade das curvas	Velocidade de computação	Precisão geral
Triangulação	1	5	1	5
Inverso da Distância	3	4	2	4
Superfície/Tendência	5	1	3	2
Mínima Curvatura	4	2	4	3
Krigagem	2	3	5	1

Fonte: Landim, (2000).

O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimativa de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos que são atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância de dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento e o erro associado ao valor estimado (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Segundo Landim (2000), esta técnica leva em consideração características espaciais de auto correlação de variáveis regionalizadas em que deve existir uma continuidade espacial,

permitindo assim que os dados obtidos em certos pontos possam ser usados para estimar os valores de pontos que não foram amostrados.

De acordo com Ali e Calegari (2017), a krigagem engloba vários métodos de estimativa, sendo eles: krigagem simples; krigagem ordinária; krigagem universal; co-krigagem e krigagem disjuntiva.

Para Abel (2002), o método geoestatístico da krigagem ordinária pode ser considerado um dos melhores métodos estimativos, pois gera estimativas através de uma combinação linear dos dados, procurando calcular que o erro residual seja zero e possui como objetivo minimizar a variância de erros.

A krigagem ordinária é baseada em um método probabilístico, desta forma o erro residual médio, bem como a variância de erros, pode ser estimado, possibilitando atribuir peso às amostras utilizadas nas estimativas, de tal modo que o erro médio seja zero e a variância dos erros seja mínima. As amostras mais próximas ao ponto estimado terão maior peso, à medida que a distância aumenta, seu peso irá diminuir (ABEL, 2002).

O semivariograma é uma função básica que dá suporte as técnicas de krigagem, possibilitando representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, calculando os valores da variância para uma dada distância (LANDIM, 2006).

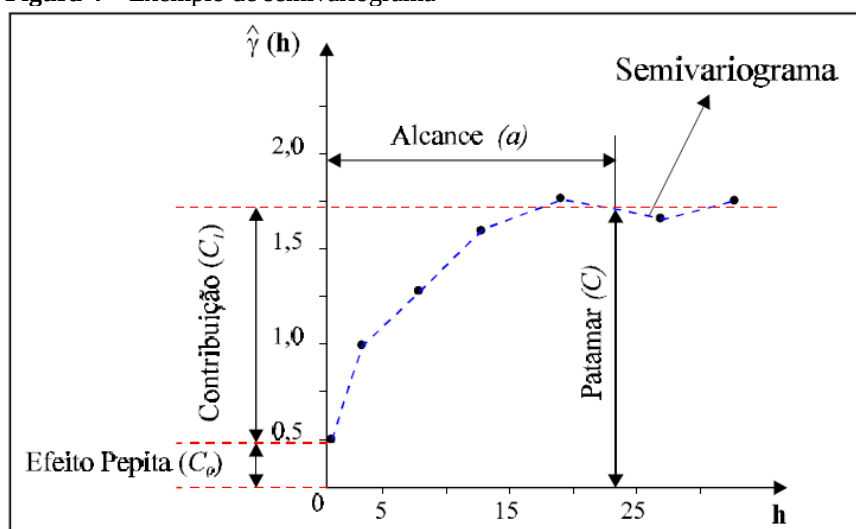
Para Landim (2006), uma correta interpretação do variograma permite obter parâmetros que descrevem o comportamento espacial das variáveis regionalizadas definindo:

- O tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, pois toda amostra cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual ao alcance, fornece informações sobre o ponto;
- A anisotropia, quando os variogramas mostram diferentes comportamentos para diferentes direções de linhas de amostragem e de estudo da variável, sendo geométrica quando o alcance varia de acordo com as diversas direções consideradas, mantendo constante a soleira, ou zonal quando o alcance permanece constante e a soleira varia conforme for modificada a direção.

Através do semivariograma é possível verificar a medida do grau de dependência espacial entre os valores, sendo uma medida de variabilidade em relação à distância. Com estas informações, a krigagem encontra os pesos ótimos a serem associados as amostras que irão estimar o ponto, sendo a variância independente dos valores ou dos pontos utilizados para obter os estimadores Z_i , medindo somente a configuração espacial dos dados (LANDIM, 2006).

De acordo com Silva (2011), através do semivariograma podem ser observados os seguintes itens representados na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de semivariograma



Fonte: Câmara e Medeiros (1998).

- Alcance (a): distância que as amostras apresentam correlação espacialmente. O alcance também é utilizado para determinar o raio de ação máximo de interpolação por krigagem, onde os pesos utilizados na ponderação podem afetar os valores estimados;
- Patamar (C): valor do semivariograma correspondente ao alcance, indicando que depois deste ponto, as amostras não possuem dependência espacial;
- Efeito pepita (C_0): valor de y quando $h=0$, determinando a descontinuidade do semivariograma. Quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial do item em estudo.

Para Silva (2011), os dados encontrados fora do alcance não possuem mais dependência espacial, passando a ser analisados com o uso da estatística clássica, o alcance reflete o grau de homogeneização entre as amostras, quanto maior seu valor, maior a homogeneidade do processo estudado.

De acordo com Landim (2006), após feito o semivariograma experimental, é necessário realizar ajustes para um modelo teórico, ou seja, ajustá-lo a uma função que definirá os parâmetros “efeito pepita”, “alcance” e “patamar”.

É importante que este modelo ajustado represente a tendência de $y(h)$ em relação à h , deste modo, gerando estimativas mais exatas na posterior krigagem. Este procedimento de ajuste não é direto e automático, mas iterativo, pois após um primeiro ajuste, verifica-se a adequação do modelo teórico, redefinindo o modelo até que se obtenha um mais satisfatório (STURARO, 2000).

O modelo do variograma experimental deve ser ajustado a um modelo variográfico teórico, fazendo o uso de técnicas de ajuste automático (critério de *variowin*) ou feita uma adaptação manual (STURARO, 2000).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Localizado ao norte da cidade de Cascavel-PR (Figura 5), o aterro sanitário possui acesso à esquerda pela estrada PR-486, a aproximadamente 13km de distância do Trevo Ceasa, e concerne em uma área aproximada de 477.121,48m². Recebe diariamente, aproximadamente, 250 toneladas de lixo urbano, possui uma recepção, balança, vigilância 24h e a coleta é feita através de uma empresa terceirizada.

Figura 5 – Localização do Aterro Sanitário de Cascavel-PR



Fonte: Google Maps (2019-adaptado).

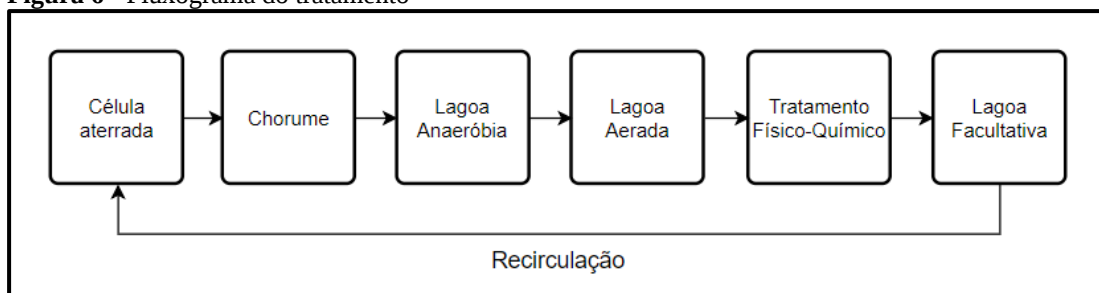
Seu funcionamento teve início no ano de 1995, com a abertura das primeiras células localizadas ao norte, que receberam impermeabilização simples através da compactação do solo local. Após o encerramento destas, todas as células que foram abertas na área do aterro receberam a impermeabilização composta, feita através do uso da geomembrana em conjunto com o solo compactado, com objetivo principal de redução do transporte de lixiviados.

De acordo com Cardoso (2003, apud ROWE JUNIOR, 2007, p.25), o solo da área do aterro apresenta uma distribuição granulométrica das partículas de 67% argila, 19% silte e 14% areia, o que lhe confere o nome de Argila Siltosa, de acordo com a ABNT NBR 6502 (1995). Este solo, encontrado na área do aterro apresenta baixa permeabilidade por natureza, o que é muito favorável para ser utilizado compactado no fundo das células, acompanhado da geomembrana e, na parte superior das células, para realizar o fechamento.

Com sua última ampliação, o aterro sanitário possui 12 (doze) células novas, destas, 6 (seis) já foram finalizadas, 1 (uma) está em funcionamento e 5 (cinco) estão prontas para receber o lixo, assim que o volume disponível da célula atual venha a acabar. Deve-se salientar que cada célula possui um tempo de vida útil de em média um ano e todas receberam a impermeabilização composta, que consiste no solo compactado revestido com a geomembrana. O aterro possui também, localizado ao norte, a área das células antigas, neste local a impermeabilização era do tipo simples, no qual usava-se somente o solo da área compactado.

Para o tratamento do chorume, o aterro conta com bombas para a recirculação e um sistema de lagoas de estabilização (Figura 6), sendo este composto por: lagoa anaeróbia, lagoa aerada, lagoa facultativa e tratamento físico-químico. Dispõe também de um sistema de drenagem dos gases das células, os quais são captados por drenos horizontais e direcionados para o topo onde são queimados com o uso de *Flares*.

Figura 6 - Fluxograma do tratamento



Fonte: Autor (2019).

O tratamento anaeróbico do chorume é composto por um tanque impermeabilizado com geomembrana (Figura 7) e com profundidade aproximada de 4,5m; tem a função de impedir que o oxigênio produzido na superfície seja transmitido para camadas do fundo. Este tratamento primário remove em torno de 50% a 60% da DBO e devido à alta carga restante, se faz necessário tratamentos complementares.

Figura 7 – Tratamento anaeróbio



Fonte: Autor (2019).

As lagoas aeradas são constituídas por um tanque impermeabilizado com profundidade aproximada de 3,5m e possuem dois aeradores mecânicos. Estes aeradores geram um turbilhonamento na água através da rotação gerada na superfície, facilitando a penetração e dissolução do oxigênio, tendo como resultado uma decomposição acelerada.

O tratamento físico-químico possui a função de clarificar o chorume advindo da lagoa aerada e é constituído de três etapas: coagulação, floculação e decantação. A coagulação é feita com o uso de sais de ferro e a floculação através de um sistema de mistura lenta, no qual coágulos tendem a se juntar formando flocos, que posteriormente são separados através da decantação.

Na lagoa facultativa, o lodo presente no fundo do tanque é composto por matéria orgânica sedimentada, esta passa por um tratamento anaeróbio. Já a matéria orgânica presente na superfície, dissolvida e também suspensa, passa por um tratamento aeróbio devido ao contato com o oxigênio. Após a passagem pela lagoa facultativa, os líquidos resultantes são recirculados através de motobombas, com a função de redução da carga orgânica, volume e aumento da produção de gás metano.

3.2 Coleta dos dados

Para a realização das análises da percolação do chorume no solo, foram coletadas amostras da água subterrânea, utilizando as técnicas descritas no Guia de Coleta e Conservação de Amostras de Água (CETESB, 1986), de 8 (oito) poços de monitoramento, no período de 12 de abril de 2017 e 10 de maio de 2018. Dos 8 poços (Figura 8), 6 (seis) ficam localizados dentro da área do aterro e 2 (dois) (Poço Nº 7 e 8) em terrenos vizinhos, sendo as coletas realizadas pela Secretaria de Meio Ambiente de Cascavel que posteriormente foram disponibilizadas e adaptadas para o uso.

Figura 8 – Poço de monitoramento



Fonte: Autor (2019).

A coleta dos dados foi feita dentro e fora do perímetro do aterro com o auxílio de um aparelho GPS. O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM na zona 22J, sendo as coordenadas longitudinais e latitudinais obtidas, consideradas como X e Y respectivamente, formando pontos georreferenciados e organizados conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Posição geográfica dos poços

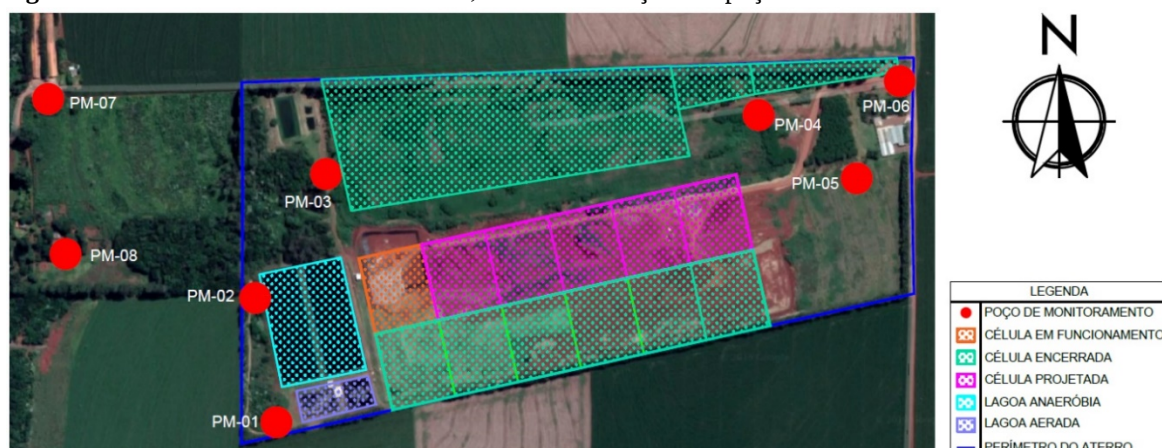
Poço N°	Zona	X	Y
1	22J	245415,12	7245163,41
2	22J	245387,45	7245325,07
3	22J	245479,66	7245485,79
4	22J	246042,47	7245562,50
5	22J	246170,02	7245480,24
6	22J	246225,78	7245606,61
7	22J	245117,96	7245583,51
8	22J	245140,81	7245382,18

Fonte: Autor (2019).

3.3 Mapeamento de contaminantes com *software* SURFER®

Com a tabela do posicionamento geográfico dos pontos (Tabela 3) completa e auxílio do *software* SURFER 16, gerou-se um mapa locando os poços de monitoramento do aterro sanitário (Figura 9). O mapa utilizado como base é o mapa tratado que foi disponibilizado pela Secretaria de Meio Ambiente de Cascavel, após edições e convertido para a extensão DXF. Para a inserção de um mapa base basta selecionar o menu MAP/ BASE MAP e selecionar o arquivo em seu diretório. Já para o mapa com posicionamento dos poços, este é feito através do menu MAP/ NEW POST MAP, o qual irá inserir a posição espacial dos pontos no mapa.

Figura 9 - Aterro Sanitário de Cascavel-PR, com a localização dos poços de monitoramento



Fonte: Autor (2019).

O *software SURFER*[®] trabalha com coordenadas X, Y e Z, sendo X longitudinal, Y latitudinal e Z correspondente ao valor das características analisadas: pH, Cloreto e Ferro. Através de técnicas de interpolação existentes no *software*, este transforma os dados X, Y, e Z em uma superfície de grades que serão posteriormente utilizadas para gerar os mapas.

3.4 Interpolação (Krigagem)

Com o auxílio do *software SURFER* 16 foi realizado o estudo variográfico, sendo feito através dos comandos GRID/ VARIOGRAM/ NEW VARIOGRAM. A partir disso foram feitas as devidas verificações e ajustes no variograma, para que fosse obtido o melhor modelo teórico, para a futura interpolação através do método da krigagem ordinária.

No apêndice A, encontram-se os semivariogramas que foram gerados com o auxílio do *software SURFER* 16, complementando a análise dos dados, verificando-se os modelos teóricos ajustados ao semivariograma de cada parâmetro.

Para a realização da interpolação por krigagem ordinária, deve-se entrar no menu GRID/ DATA. Esta etapa gera um arquivo tipo .grd, o qual foi utilizado pelo *software* na geração dos mapas.

Na caixa de diálogo aberta em sequência, foram especificadas as coordenadas X, Y e o valor da variável Z, para o qual o semivariograma foi ajustado, o método de interpolação (krigagem ordinária) e o arquivo .grd. Na opção ADVANCED OPTIONS, foram selecionados os parâmetros do variograma ajustado através do comando GET VARIOGRAM. Após a seleção do variograma ajustado, foi selecionado o comando CROSS VALIDATE, o qual valida o modelo ajustado, gerando um relatório com as estatísticas do procedimento.

Em suma, o procedimento CROSS VALIDATE envolve a estimativa de cada ponto medido como se este não existisse, utilizando dados dos demais pontos para sua estimativa. Se a krigagem for representativa do processo espacial real, então um valor estimado para o ponto deverá ser próximo do valor amostrado real em sua mesma localização.

Para a geração dos mapas de isoconcentrações, é necessário entrar no menu MAP/ NEW/ CONTOUR MAP. Após gerados, é possível a edição de suas propriedades para uma melhor visualização.

3.5 Análise dos dados

Os resultados das análises foram tabulados (Tabela 4), em função da tabela específica para águas subterrâneas de aterros sanitários, fornecida pelo IAP, sendo posteriormente

interpretados levando em conta os mapas de isoconcentrações gerados com o auxílio do *software* SURFER 16, bem como os valores máximos estabelecidos pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), através da Resolução Conjunta SEMA/IAP/SUDERHSA nº 01/2006.

Tabela 4 - Caracterização da água subterrânea

Amostra Básica	Limite (mg/L)	Poço N°							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5-9	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloreto	250	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrito	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo Total	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercurio Total	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco	5	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Instituto Ambiental do Paraná (2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Qualidade da água subterrânea

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos das análises físico-químicas da água coletada nos poços de monitoramento para o ano de 2017, além disso, constam os valores máximos permitidos (limite) pelo IAP, para monitoramento de águas subterrâneas de aterros sanitários. Os parâmetros analisados foram: pH, Cl⁻, NO₂⁻, Pb total, Cr, Fe, Hg total e Zn, tendo em vista que estes parâmetros segundo IAP são indicadores de qualidade da água.

Tabela 5 - Caracterização da água subterrânea, 12 de abril de 2017

Amostra Básica	Limite (mg/L)	Poço	Poço	Poço	Poço	Poço	Poço	Poço	Poço
		Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8
pH	5-9	-	-	5,97	-	-	5,51	5,68	5,6
Cloreto	250	-	-	92	-	-	0,5	97,5	46
Nitrito	1	-	-	0,047	-	-	0,001	0,002	0,003
Chumbo Total	0,01	-	-	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01
Cromo	0,05	-	-	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01
Ferro	0,3	-	-	3,8	-	-	0,1	0,41	0,1
Mercurio Total	0,001	-	-	0,0012	-	-	0,0002	0,0002	0,0002
Zinco	5	-	-	0,05	-	-	0,05	0,05	0,05

Fonte: Autor (2019).

Os valores de pH das amostras, para o ano de 2017 (Tabela 5) encontram-se dentro dos limites (5-9) e não confirmam a influência do aterro sobre seus valores, entretanto, o poço N° 3 possui valores de pH em 5,97 para o ano de 2017 e 5,12 para o ano de 2018, tal oscilação de valores merece maiores estudos, tendo em vista a proximidade do poço para com as células antigas do aterro.

A Tabela 6 apresenta os resultados das análises físico-químicas da água coletada nos poços de monitoramento para o ano de 2018, também constam os valores máximos permitidos (limite) pelo IAP, para monitoramento de águas subterrâneas de aterros sanitários. Os parâmetros analisados foram os mesmos do ano de 2017, sendo eles: pH, Cl⁻, NO₂⁻, Pb total, Cr, Fe, Hg total e Zn. Com o uso da Tabela 5 em conjunto com a Tabela 6, fica possível uma análise da influência do aterro sanitário sobre as águas subterrâneas no período de um ano.

Tabela 6 - Caracterização da água subterrânea, 10 de maio de 2018.

Amostra Básica	Limite (mg/L)	Poço N° 1	Poço N° 2	Poço N° 3	Poço N° 4	Poço N° 5	Poço N° 6	Poço N° 7	Poço N° 8
pH	5-9	5,4	6,01	5,12	5,92	5,26	5,28	-	-
Cloreto	250	4,49	3	4,74	21,24	4,49	3	-	-
Nitrito	1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	-
Chumbo Total	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-
Cromo	0,05	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	-	-
Ferro	0,3	0,0081	0,072	0,033	0,026	0,5336	0,0922	-	-
Mercurio Total	0,001	0,001	0,001	0,0045	0,001	0,001	0,001	-	-
Zinco	5	0,049	0,075	0,037	0,042	0,156	0,043	-	-

Fonte: Autor (2019).

Os valores de pH para 2018 também se encontram dentro do máximo permitido, entretanto, como pode-se observar o poço N° 2, este apresenta valores de pH mais alcalinos, o que pode estar relacionado com sua proximidade às células que são aterradas diariamente, lagoas de estabilização e lagoas aeradas. Já o poço N° 4, este também apresenta um pH mais alcalino, isto pode ser devido a seu posicionamento sobre as células antigas do aterro. Segundo Neto (2016), o consumo de águas com pH menor que 7 é altamente prejudicial à saúde, tendo em vista que provoca variações no pH do sangue, reduzindo a eficácia do sistema imunológico do corpo, criando um local propício para o desenvolvimento de vírus, bactérias e fungos.

As concentrações de cloreto encontram-se dentro do máximo permitido (250 mg/L), porém observa-se que no período de 2017 os poços N° 3 e 7 apresentaram valores muito superiores, 92mg/L e 97,5mg/L respectivamente, quando comparados aos resultados de 2018, indicando uma área afetada pelo chorume. Segundo Koide e Bernardes (1998), por ser um íon de extrema mobilidade o cloreto serve como um excelente indicador de propagação da

contaminação, sugerindo então um fluxo de contaminação através destes poços em direção ao córrego localizado próximo à área do aterro.

Já para o período de 2018, o poço N° 4 ainda está dentro do valor máximo permitido, entretanto apresenta um valor cinco vezes maior quando comparado ao poço N° 1, indicando uma região altamente afetada pelo chorume do aterro sanitário.

Os teores de nitrito encontrados nas amostras são baixos e também muito próximos, o que não confirma a influência do aterro sobre seus valores. Além disso, não excederam as concentrações máximas permitidas pelo IAP (1 mg/L). Uma análise de nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal é necessária, tendo em vista que segundo CETESB (2009), a predominância de nitrogênio amoniacal sobre nitritos indica que o foco de poluição se encontra próximo ao local da amostra. Já altas concentrações de nitritos denotam que o foco de poluição está distante e, tendo em vista que somente foram analisados os teores de nitritos, nenhuma conclusão pode ser tomada.

Em relação ao chumbo total e cromo, foram detectadas concentrações em ambos os anos, nos poços de monitoramento, porém ficaram no limite máximo permissível por norma (0,01 e 0,05 mg/L), algo que não era esperado, tendo em vista que o aterro sanitário recebe todos os tipos de lixo diariamente. Segundo Castilhos Jr. (1989), as principais fontes dos metais pesados detectados são: matéria orgânica (Pb), papel (Pb), materiais metálicos (Pb), vidro (Cr), baterias (Pb) e tecidos (Cr).

Em geral, as concentrações de ferro total atenderam aos limites máximos (0,3 mg/L) estabelecidos pelo IAP, com exceção dos poços N° 3 e 7 para o período de 2017 e poço N° 5 no ano de 2018. Deve ser salientado que a maior concentração detectada foi no ano de 2017 e próxima à área das células antigas do aterro, demonstrando uma possível influência ocasionada pelo chorume. O ferro é um nutriente essencial em doses baixas, entretanto, a exposição a longo prazo e a doses altas pode ser prejudicial a saúde, pois é causadora de doenças como insuficiência cardíaca, diabetes, cirrose e tumores hepáticos (ARAÚJO *et al.*, 2016).

As concentrações de mercúrio encontram-se dentro dos limites (0,001 mg/L), com exceção do poço de monitoramento N° 3, que em ambos os anos apresentou valores superiores aos permissíveis por norma. Este valor atípico encontrado, quando comparado ao restante das amostras, indica uma possível influência advinda das células antigas do aterro, sendo necessário um aprofundamento para determinar a origem desta contaminação. Como observado, o restante dos poços de monitoramento não ultrapassou o valor máximo. Segundo Tchobanoglous e Kreith (2002), o mercúrio raramente é um dos causadores da contaminação das águas subterrâneas, isto se deve ao fato de não ser um constituinte comumente encontrado em aterros sanitários e devido a sua dificuldade na solubilização e adsorção. Entretanto, os valores encontrados acima

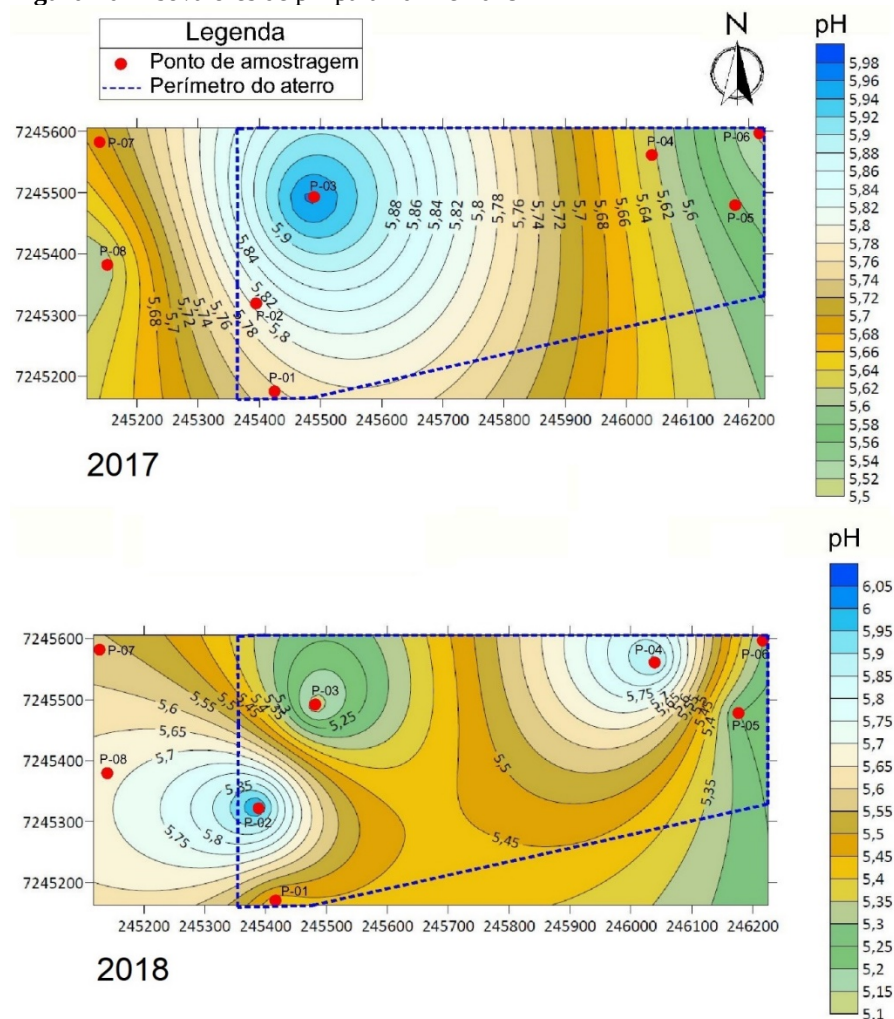
do limite são preocupantes, tendo em vista que concentrações de mercúrio nas águas são causadores de problemas reprodutivos em humanos e serem excessivamente tóxicos a seres aquáticos.

Os valores de zinco encontrados apresentam-se abaixo da concentração máxima permitida (5 mg/L), apesar de esse elemento poder fazer parte da constituição natural do solo ou rochas, atenção deve ser dada ao poço de monitoramento N° 5, pois no período de 2018 apresentou uma concentração até cinco vezes maior que o restante dos poços.

4.2 Isovalores

A Figura 10 apresenta o mapa de isovalores para pH, gerados com base nos dados coletados e limitados a zona de coleta de amostras. Os índices de cloretos, Ph e ferro foram os escolhidos para a geração dos mapas por terem apresentado uma maior variância no período de um ano, ou terem apresentado valores acima do permitido.

Figura 10 – Isovalores de pH para 2017 e 2018



Fonte: Autor (2019).

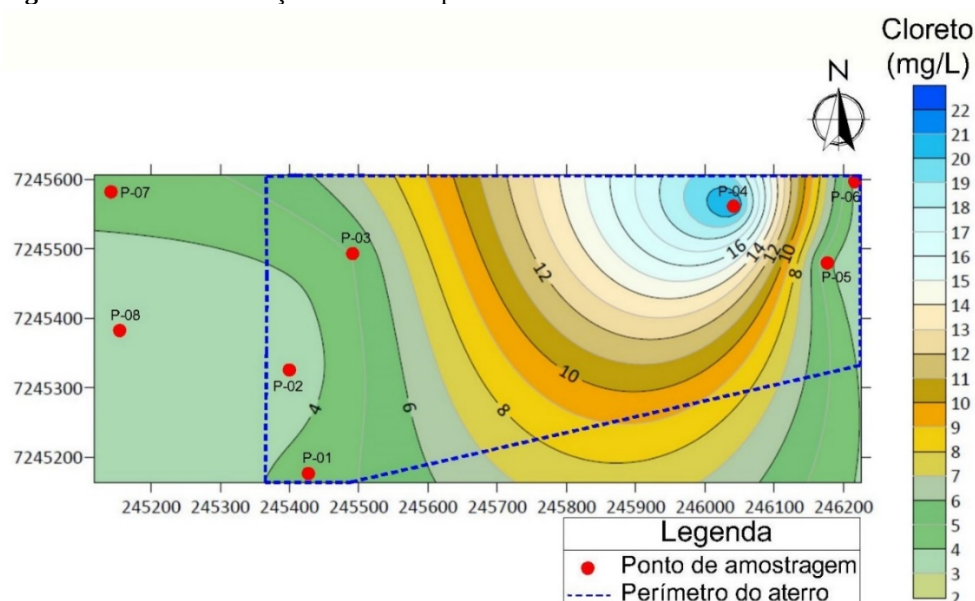
Como pode-se observar na Figura 10, o poço N° 3 apresentou uma grande variância de pH entre as duas coletas, esta mudança, segundo Tchobanoglous *et al.* (1994), indica uma alteração na fase de decomposição dos resíduos, quando em fase inicial apresenta pH baixo (4-5) e em fase mais avançada expõe valores mais altos (6-8), isto estaria indicando uma pluma de contaminação próxima ao poço de monitoramento e que os resíduos daquela região estão entrando na fase inicial de decomposição.

Para o ano de 2018, o poço N° 2, localizado a oeste, apresentou valores de pH mais alcalinos, o que pode estar relacionado com sua proximidade às células que são aterradas diariamente, lagoas de estabilização e lagoas aeradas. Já o poço N° 4, este também apresenta um pH mais alcalino, isto pode ser devido a seu posicionamento próximo as células antigas do aterro.

A Figura 10 ilustra de fato, a correlação existente entre as alterações encontradas e a proximidade com as áreas já aterradas e lagoas de estabilização, indicando uma possível percolação de lixiviados através do solo.

Levando em consideração que o poço N° 1 não é afetado pelo aterro, devido a seu posicionamento à montante, observa-se na Figura 11 que os valores anormais de cloretos do poço N° 4 observados no ano de 2018, podem ser decorrentes da sua proximidade com a área das células antigas, na qual o método de impermeabilização com geomembrana não era utilizado. Segundo Segato e Silva (2000), a disposição de tubos de PVC, negativos de filme e raios-X, colaboram para o aumento de cloretos encontrados nas águas subterrâneas, levando em conta que no aterro não existem proibições quanto a disposição de resíduos, estes podem ser alguns dos causadores das alterações encontradas.

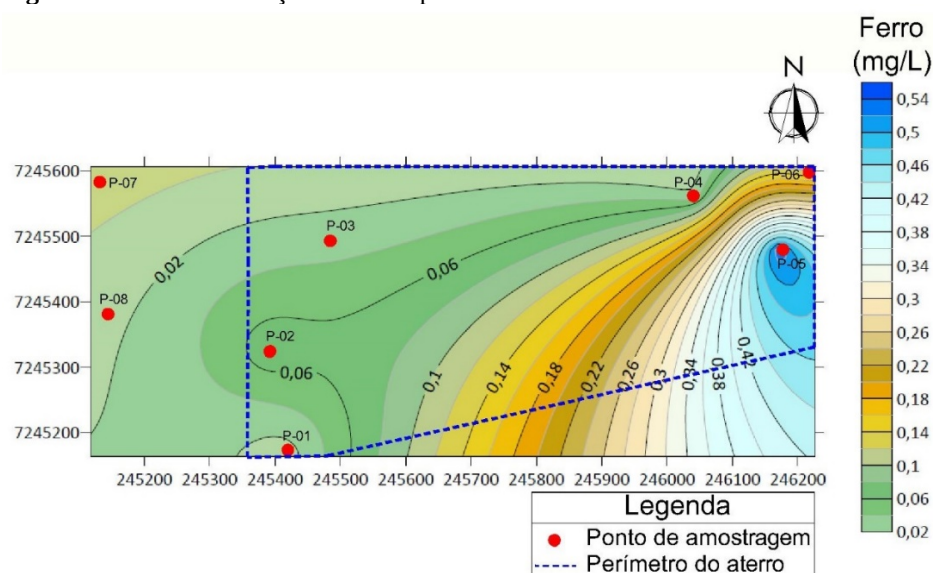
Figura 11 – Isoconcentrações de cloreto para 2018



Fonte: Autor (2019).

Observa-se uma melhora em relação às concentrações de ferro (Figura 12) do poço N° 3 no período de 2018, porém as concentrações observadas no ano anterior são preocupantes e localizadas próximas às células antigas do aterro, local onde não era utilizada a geomembrana, sendo necessários estudos mais aprofundados para a confirmação destes valores e, se por ventura, determinar as fontes principais e caminhos da contaminação.

Figura 12 – Isoconcentrações de ferro para 2018



Fonte: Autor (2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do trabalho exposto, pode-se concluir que as águas subterrâneas próximas ao aterro sanitário de Cascavel-PR estão comprometidas. Isto pode ser observado através das análises do poço N° 3, pois este apresentou altas concentrações de ferro, cloretos e mercúrio. O pH demonstrou ser mais alcalino no ano de 2017 e durante o ano de 2018 apresentou níveis mais ácidos. Estas mudanças são ocasionadas pela troca no estágio de decomposição do chorume e dão clara indicação de infiltração na área do poço, colocando em risco quaisquer atividades que venham a ser desenvolvidas no corpo hídrico próximo à área do aterro.

Exceto para o ferro e mercúrio, as concentrações dos elementos analisados se encontram dentro dos limites estabelecidos pelo IAP, entretanto isto não significa que a água do local seja boa para consumo, tendo em vista a alta toxicidade do mercúrio. Após a ingestão deste, inicia-se um processo de acúmulo de mercúrio no organismo, este por sua vez provoca reações nos organismos, causando efeitos mutagênicos, teratogênicos, carcinogênicos, problemas no sistema imunológico, tratos gastrointestinais dentre outros (AZEVEDO e CHASIN, 2003).

As concentrações de cloreto encontradas foram baixas, porém demonstram o que já era esperado, o processo de autodepuração que ocorre devido ao solo da região. Isto pode ser observado na Figura 11, que apresenta as concentrações de cloreto, e estas tendem a diminuir quanto maior for a distância do ponto de origem.

Atualmente, a disposição dos resíduos sólidos, como vem sendo realizada, está afetando a qualidade das águas subterrâneas. A cobertura, impermeabilização e coleta do lixiviado das células podem estar sendo ineficientes, possibilitando atingir o solo e como resultado, às águas subterrâneas. Deste modo, um controle maior da impermeabilização, cobertura das células e coleta do lixiviado é sugerido, para que todos os líquidos produzidos dentro das células, sejam efetivamente enviados às lagoas de tratamento.

Podemos concluir que existe contaminação das águas subterrâneas devido a percolação de chorume do aterro sanitário. Em alguns dos pontos analisados, esta contaminação é mais crítica, necessitando de um monitoramento mais frequente e desenvolvimento de estudos mais aprofundados para que seja possível a preservação da água da região.

REFERÊNCIAS

- ABEL, L. S. **Caracterização Geológica-Geotécnica do solo de Laulane para fundações de edifícios**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília/DF.
- ALI, Amer Fouad; CALEGARI, Diorgenes Vinicius. **ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO SOLO PARA APLICAÇÃO DE FUNDAÇÕES EM ESTACAS DE BAIXA CAPACIDADE DE CARGA NA CIDADE DE CASCAVEL - PR**. 2017. 76 f. Tese (Bacharel) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel, 2017.
- ARAÚJO, Gabriela Valones Rodrigues de et al. **AVALIAÇÃO DO TEOR DE FERRO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA RMR/PE**. **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Campina Grande, v. 1, n. 7, p.1-7, nov. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.
- _____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.
- _____. **NBR 13895**: Construção de poços de monitoramento e amostragem. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 21 p.
- _____. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 12 p.
- AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A. A. M. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 554p.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandyr. **CONCEITOS BÁSICOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. São Carlos: Eesc/usp, 1999. 120 p.

BRANDÃO, Alberto de Oliveira; SILVA, Glauber Nóbrega da. IMPACTOS ECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS INDIVIDUAIS NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS. **Holos**, Natal, v. 3, n. 27, p.84-96, jun. 2011.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão de. **GEOPROCESSAMENTO PARA PROJETOS AMBIENTAIS**. 2. ed. São José dos Campos: Universidade de São Paulo, 1998. 159 p.

CARDOSO, Décio L. **Estudo da compactação de base do aterro sanitário de Cascavel**. Cascavel – PR: Unioeste, 2003. Relatório Técnico.

CASTILHOS JR., A.B. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. **BIO - Rev. Bras. de San. e Meio Amb.**, p.57-60, 1989.

CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo. Séries relatórios**. São Paulo, 2009.

CHERRY, John A. et al. **Groundwater Contamination**. Washington: National Academy Press, 1984. 191 p.

EQUILIBRIUM. **PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO**. Cachoeiro de Itapemirim: Ctrvv, 2007.

FERREIRA, João Alberto *et al.* UMA REVISÃO DAS TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE CHORUME E A REALIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 21, 2001, João Pessoa. Revisão. João Pessoa: Anais, 2001. p. 1 - 9.

GOMES, Marcos Aurélio de Araújo. **Geoprocessamento**. 2011. Disponível em: <<http://www3.unifai.edu.br/pesquisa/publicações/artigos-científicos/professores/sequenciais/o-que-é-e-para-que-serve-o>>. Acesso em: 24 out. 2019.

GUIA DO PROFISSIONAL EM TREINAMENTO. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários**. Nível 2 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.

KAWAKUBO, Fernando Shinji. **Teoria e Método em Geoprocessamento**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3338001/mod_resource/content/1/TMG_4.pdf>. Acesso em: 24 out. 2019.

KOIDE, Sérgio; BERNARDES, Ricardo Silveira. Contaminação do lençol freático sob a área do aterro do Jockey Club, Distrito Federal. **In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 1., 1998, São Paulo. Anais. São Paulo: Unifesp, 1998. v. 1, p. 1 - 11.

LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R. C.& CORSI, A.C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA, IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático

08, 21 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 24 out. 2019.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 20 pp. 2000. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 24 out. 2019.

LANDIM P.M.B. 2006. **Sobre Geoestatística e mapas**. Terra e Didática, 2(1):19-33. <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>>. Acesso em: 23 out. 2019.

MATIAS, Diego. **Sistema de Coordenadas UTM**. 2010. Disponível em: <<http://georeference.blogspot.com.br/2010/02/sistema-de-coordenadas-utm.html>>. Acesso em: 23 out. 2019.

MATOS, Antonio Teixeira de. **TRATAMENTO E APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. Viçosa: UFV, 2014. 241 p.

NETO, Bernardo F. da Cruz. **BENEFÍCIOS DA ÁGUA COM pH ALCALINO: Saúde ou doença, você decide. Educação, Tecnologia e Cultura - E.T.C., [S.l.], n. 14, jun. 2016.**

OLIVEIRA, Fernando Jorge Santos; JUCÁ, José Fernando Thomé. **ACÚMULO DE METAIS PESADOS E CAPACIDADE DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO IMEDIATAMENTE ABAIXO DE UMA CÉLULA DE UM ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p.211-217, 2004.**

RIBEIRO, Renan Lucas Pacheco. **Análise da viabilidade ambiental e econômica para implantação de aterro sanitário em Sarandi – RS**. 2011. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

ROWE JUNIOR, Elmo. **Diagnóstico ambiental da área do aterro sanitário do município de cascavel - PR**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SANTOS, Hans S.; CUNHA, Guilherme N.; CASTRO, Janson R. Avaliação Qualitativa das Técnicas de Interpolação de Mínima Curvatura, Krigagem e Bidirecional na Formação de Imagens. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, Sao Paulo, v. 1, n. 4, p.2-16, nov. 2016.

SEGATO, Luciana Maturana; SILVA, Celso Luiz da. **CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME DO ATERRO SANITÁRIO DE BAURU**. 2000. 9 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial, Faculdade de Engenharia de Bauru, São Paulo, 2000.

SERAFIM, Aline Camillo *et al.* CHORUME, IMPACTOS AMBIENTAIS E POSSIBILIDADES DE TRATAMENTOS. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3., 2003, Rio Claro. **Relatório**. Rio Claro: Centro Superior de Educação Tecnológica, 2003. p. 6 - 7.

SILVA, Cleiton da *et al.* DIAGNÓSTICO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO E APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS DA CETESB NA ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE PEABIRÚ-PR. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p.252-270, jun. 2012.

SILVA, Daniel Fermino da. **Mapeamento geoestatístico dos parâmetros NSPT e torque máximo de solos em parte da Bacia do Ribeirão Cambezinho em Londrina/PR**. 2008. 206 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

SPINA, Maria Inez Antonia Pelacani. CARACTERÍSTICAS DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE EM CURITIBA E ANÁLISE DAS IMPLICAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS DECORRENTES DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO E DESTINO FINAL. **Raega**, Curitiba, v. 9, n. 1, p.95-106, jun. 2005.

STURARO, José Ricardo. **APOSTILA DE GEOESTATÍSTICA BÁSICA**. Rio Claro: Unesp, 2000. 34 p.

TADA, Agnes Massumi *et al.* **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2009. 26 p.

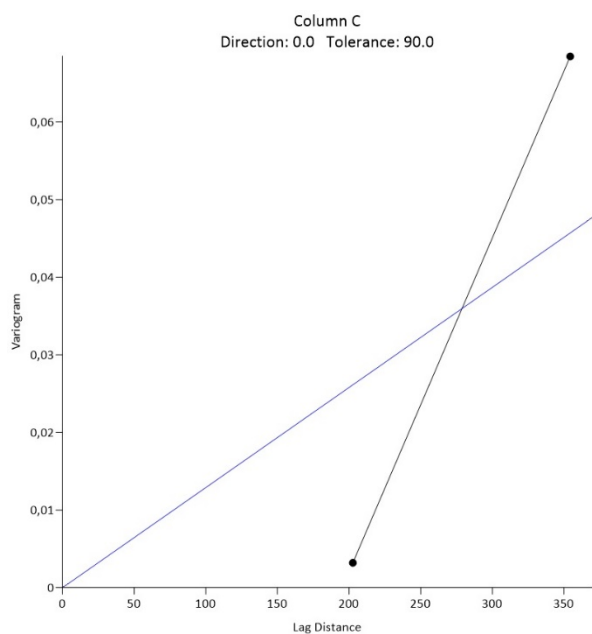
TAVARES, Bernardo Ferreira Dias. **Tratamento de chorume: análise dos efluentes da evaporação forçada**. 2011. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

TCHOBANOGLIOUS, George; KREITH, Frank. Landfilling. In: TCHOBANOGLIOUS, George; KREITH, Frank. **HANDBOOK OF SOLID WASTE MANAGEMENT**. 2. ed. New York: Mcgraw-hill, 2002. p. 673.

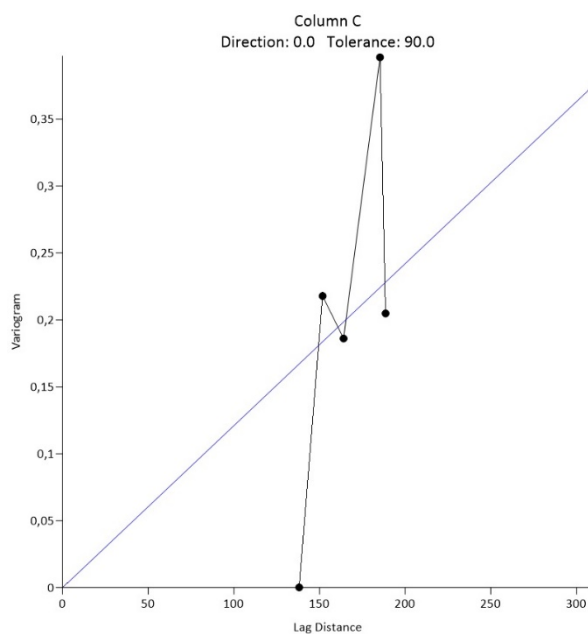
TCHBANOGLIOUS, G.; THESSSEN, H.; VIGIL, S. A. **Composicion y Caracteristicas, Generacion, Movimiento y Control de los Gases de Vertedero**. Gestion Integral de Resíduos Sólidos, v. 1, Mc Graw Hill., 1994.

WORRELL, William A.; VESILIND, P. Aarne. **SOLID WASTE ENGINEERING**. 2. ed. Stamford: Global Engineering, 2010. 401 p.

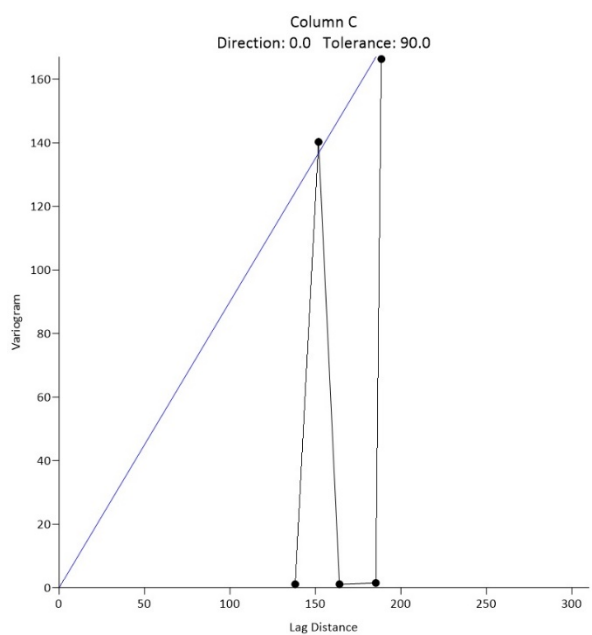
APÊNDICE A – SEMIVARIOGRAMAS



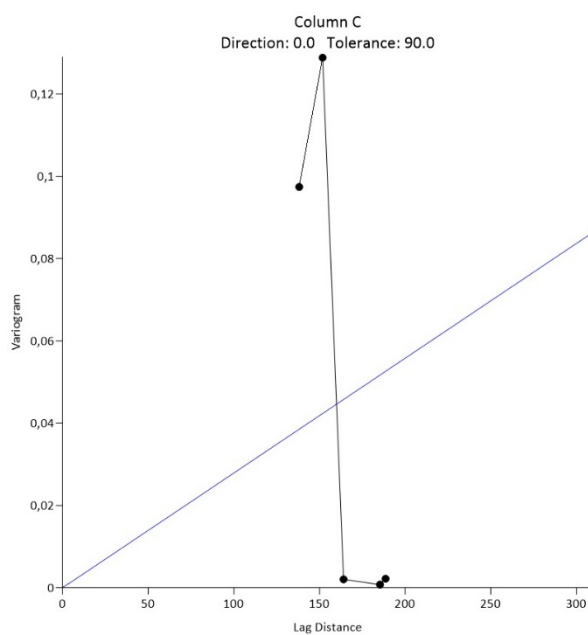
Semivariograma – pH das amostras de 2017



Semivariograma – pH das amostras de 2018



Semivariograma – Cloreto das amostras de 2018



Semivariograma – Ferro das amostras de 2018