

REMOÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Sinara da Silva Bianchi

sinarasbianchi@gmail.com

Eduardo Sanberg

Universidade LaSalle – Canoas

Resumo: Ao confrontar as alternativas para gerenciamento de uma área contaminada, gestores têm a obrigação de ponderar as possibilidades viáveis. As alternativas abrangem procedimentos de naturezas distintas, que influenciam de forma direta nos custos, resultados e prerrogativas legais. A forma de intervenção mais comum é a remoção dos solos contaminados, que reduz de forma direta a massa bruta dos contaminantes. O presente trabalho buscou descrever a remoção como alternativa de gerenciamento. São apresentadas as variáveis que envolvem as remoções e destinações de solos/águas subterrâneas contaminados, com enfoque nas possibilidades encontradas no rio grande do sul. São apresentadas as vantagens e limitações da técnica, custos associados e prerrogativas legais das escolhas. A remoção como opção de gerenciamento é abordada de forma contextualizada, como procedimento preconizado pela resolução conama 420/09, principal diretriz para gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil.

Palavras-chave: Gerenciamento de Áreas Contaminadas; Remoção de Solos Contaminados; Resíduos.

Abstract: In contaminated site assessments, managers have an obligation to consider viable possibilities. The alternatives include different kind of procedures, which directly influence the costs, results and legal prerogatives. The most common form of intervention is the removal of contaminated soils, which directly reduces the amount of contaminants. The present work sought to describe the removal as an alternative to manage contaminated sites. Variables involving the removals and destinations of contaminated soil/groundwater are presented, focusing on possibilities observed in Rio Grande do Sul State. The advantages and limitations of the technique, associated costs and legal prerogatives are presented. The removal as managing option, is approached in a contextualized way, as a procedure recommended by Resolution CONAMA 420/09, the main guideline for the management of contaminated areas in Brazil.

Keywords: Contaminated Site Management; Contaminated Soil Removal; Residues.

INTRODUÇÃO

O procedimento de remediação (intervenção) por remoção de solos em áreas contaminadas, representa a redução, de forma direta, da massa de contaminantes no meio ambiente, visando eliminar compostos ou elementos prejudiciais, e garantir que a remediação aproxime o local da condição natural.

O método de intervenção por remoção deve ser aplicado em momento oportuno,

concatenado com as diretrizes previstas na Resolução CONAMA nº 420 de 2009, que estabelece critérios e valores orientadores de qualidade do solo, quanto a presença de substâncias químicas, através da ação antrópica, sendo o documento/procedimento de maior aceitação nacional. A Resolução CONAMA 420/09, prevê etapas que devem ser respeitadas e relatórios que promovem, de forma progressiva, o entendimento sobre a situação.

A Resolução CONAMA 420/09 estabelece uma série de termos que devem ser aplicados durante o processo de gerenciamento de uma área contaminada. O foco é o gerenciamento fundamentado em riscos, onde a saúde humana deve ser priorizada, visto que, a maior parte das áreas contaminadas situa-se em contexto onde há presença de pessoas. Para tanto, além de padronizar um vocabulário, a referida resolução considera os tipos de contaminantes e valores orientadores para solos e águas subterrâneas, determinados através de ensaios ecotoxicológicos.

Em cada etapa do procedimento, desde a abordagem inicial até a “remediação”, ou intervenção, como a própria resolução refere, devem ser consideradas técnicas consagradas definidas por NBRs e regimentos específicos, que são considerados pelas Instituições e por Agências Ambientais.

A primeira etapa prevista, denominada Avaliação Preliminar, padronizada no Brasil pela ABNT NBR 15.515-1, consiste em uma investigação inicial do histórico do local com suspeita de contaminação, levando em consideração o tipo de atividade exercida no local, documentações com registros de acidentes, entrevista com funcionários e vizinhança, histórico local e antigas atividades, entre outros. Esse documento resulta em um plano de ação para a próxima etapa (Investigação Confirmatória), determinando os locais onde ocorrerá a coleta para análises.

A etapa seguinte consiste na Investigação Ambiental Confirmatória, padronizada no Brasil pela ABNT NBR 15515-2, nesta etapa ocorre a coleta de solos e águas subterrâneas, para confirmação das suspeitas levantadas na etapa anterior. Os resultados adquiridos são comparados com valores orientadores que constam na CONAMA 420/09, com especial atenção aos Valores de Investigação, que representam os níveis de contaminação com potencial vínculo a riscos à saúde humana.

A Investigação Detalhada, padronizada pela ABNT NBR 15515-3, visa a delimitação tridimensional da contaminação no meio avaliado, apresentando os limites da área contaminada, além de quantificar as massas das substâncias químicas.

Caso os valores orientadores denominados “Valor de Investigação” que determinam as concentrações das substâncias potencialmente nocivas ao meio ambiente e a saúde humana, estiverem acima do indicado, o procedimento para gerenciamento proposto pela Resolução CONAMA 420/09 prevê a condução de uma Análises de Risco à Saúde Humana, padronizada pela NBR ABNT 16.209/2013. No Brasil, planilhas públicas para cálculos e softwares padronizados, tem o objetivo de identificar se a área contaminada oferece riscos, considerando a forma de ocupação e a população que se situa no local, de forma quantificada, de maneira a subsidiar se, de fato, há necessidade de implantação de medidas de intervenção (CETESB, 2017).

A Análise de Riscos à Saúde Humana, de forma alguma, encerra o procedimento de gerenciamento de uma área contaminada. Esta etapa deve ser tratada como um balizador para gerenciamento, subsidiando as alternativas que poderão ser adotadas e as concentrações máximas aceitáveis, que são os “limites máximos aceitáveis” para cada contaminante em uma área específica, de forma que inexistirão riscos.

A mesma Resolução determina que toda a fase livre¹ diagnosticada durante as avaliações ambientais seja removida, antes mesmo da Avaliação de Riscos à Saúde Humana. Em outras palavras, caso seja diagnosticado na natureza, produto perigoso imiscível com água ou mesmo impregnado no solo, esta substância deverá ser removida (SANBERG et al., 2015).

OBJETIVOS

Atualmente, há uma série de normativas associadas ao procedimento de remoção como metodologia para remediação de áreas contaminadas. O objetivo principal do presente artigo é reportar e discutir os diferentes procedimentos associados a remoção como forma de remediação, abordando-a de forma comparativa com outros métodos e alinhada com os procedimentos previstos na Resolução CONAMA 420/09.

Também, como objetivo do presente estudo, apresentar aspectos associados a remoção, tais como: formas de remoção e destinação; limitações do método; custos associados e prerrogativas legais, considerando destinações possíveis no estado do Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

O presente artigo foi elaborado a partir da consolidação de dados secundários e pesquisas de mercado. Houve consulta a artigos científicos e técnicos relacionados ao tema. Também foram consideradas as Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Algumas informações foram consolidadas através de consultas por documentos oficiais emitidos por Órgão Públicos Brasileiros, websites de empresas do ramo de interesse, websites de Agências Ambientais Nacionais e Internacionais, Licenças Ambientais e empreendimentos para destinação de resíduos licenciados em operação no Rio Grande do Sul.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diretrizes Para Gerenciamento Ambiental Segundo A Resolução CONAMA/420 De 2009

Área contaminada é definida como todo e qualquer terreno, instalação, local, edificação ou benfeitoria que tenha comprovação por meio de documentação oficial reconhecida por norma ou legislação vigente, na qual apresente, quantidades ou concentração de qualquer substância ou resíduo em situações que possa causar ou cause danos à saúde humana e/ou ao meio ambiente.

A Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 – O Gerenciamento de Áreas Contaminadas, tem como diretriz o reconhecimento das áreas caracterizadas como contaminadas e os impactos causados pelas mesmas, além de proporcionar os meios de tomadas de decisões quanto às formas de gerenciamento, intervenção e remediação adequadas.

A proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos (CONAMA, 2009).

¹ Fase livre: ocorrência de substância ou produto imiscível, em fase separada da água.

As etapas para o gerenciamento, de uma área contaminada ou com suspeita de contaminação é estabelecida de maneira padronizada, com objetivos, metodologias e procedimentos, afim de atender as necessidades de investigação, onde de forma sequencial, cada etapa é essencial para a etapa posterior.

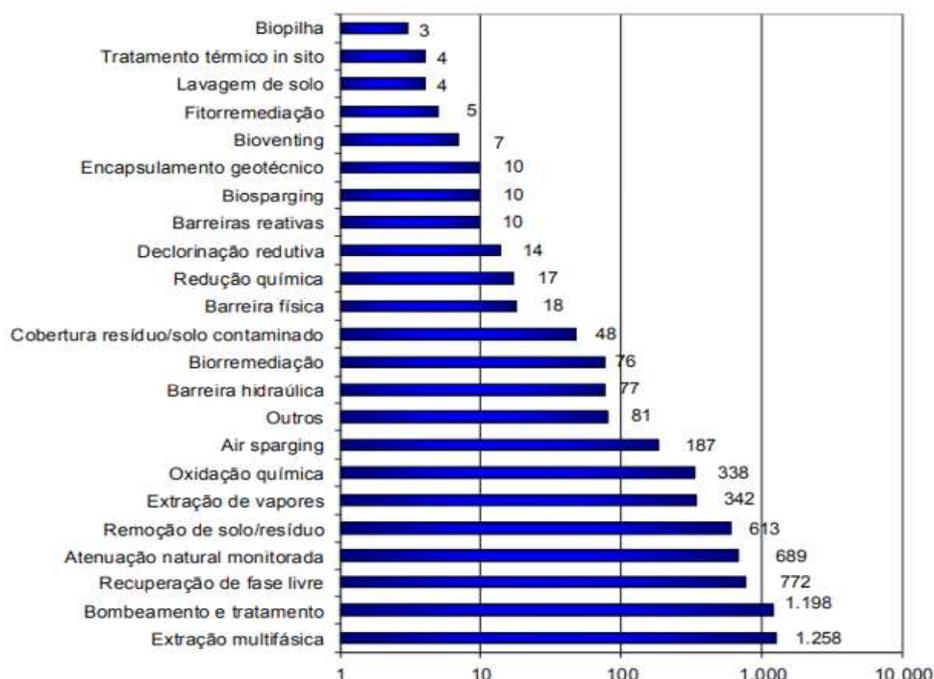
A Resolução possui critérios e valores orientadores de qualidade do solo e da água, referência de qualidade, investigação, valor de prevenção, entre outros, pra comparações quando comprovada a existência de substâncias químicas.

O início da investigação é dado a partir da suspeita de contaminação, sendo realizado uma Investigação Preliminar no local. Conforme o fluxograma desta Resolução, sendo constatada indícios de contaminação, a segunda etapa é a Investigação Confirmatória. A etapa da Investigação Detalhada, busca delimitar a área contaminada. A próxima etapa deve-se realizar uma Avaliação de Riscos buscando avaliar as implicações da contaminação encontrada.

Um projeto de intervenção em áreas contaminadas deve ser elaborado, constando medidas de remediação, mitigação ou intervenção do local, caso o mesmo apresente riscos intoleráveis, conforme valores orientadores para a saúde humana e ao meio ambiente. No caso da identificação de condição de perigo, em qualquer etapa do gerenciamento, deverão ser tomadas ações emergenciais compatíveis para a eliminação desta condição e a continuidade da investigação e do gerenciamento.

Abaixo, na Figura 01, um gráfico demonstra as técnicas de remediação registradas no ano de 2018 no estado de São Paulo. Os dados fazem parte de um Relatório atualizado anualmente, que reporta as áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo (CETESB, 2019). Os documentos e padronizações da CETESB, são utilizadas como parâmetro também no Rio Grande do Sul, sendo aceito nos relatórios e documentos oficiais de análise ambientais, devido a confiabilidade dos dados oferecidos.

Figura 1- Áreas Cadastradas Constatações de Técnicas de Remediação Implantadas.



Fonte: CETESB, 2018. <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>>.

Acesso em: 23/05/2019.

A técnica de Remoção de solo/resíduo, é considerada uma das técnicas mais populares e eficientes. Abaixo segue uma tabela reportando as principais vantagens e desvantagens do método, além dos principais fatores que pode alterar os custos, para esse tipo de remediação.

Tabela 1- Tabela das Principais Vantagens e Desvantagens do Método Remoção de Solos/Resíduos.

	Vantagem	Desvantagem
Remediação por Remoção de Solo	<ul style="list-style-type: none"> • Redução direta e imediata da massa de contaminantes em solo/águas subterrâneas; • Tempo da atividade, relativamente curto; • Controle do resíduo gerado; • Possibilidade de reabilitação da área. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gera resíduo; • Relativamente caro para grandes volumes; • Dificuldade em controlar os vapores durante a escavação; • Falta de acesso vertical pode inviabilizar a tecnologia; • Localização geográfica.
	Principais fatores que influenciam nos custos	
	<ul style="list-style-type: none"> • Não exige equipamentos tecnológicos; • Demanda empresas que executam a remoção/transporte/destinações, de forma licenciada; • Tempo de execução. • Profundidade; necessidade de drenagem (efluentes líquidos); escoramentos e destinação; • Aspectos locacionais (distância até aterros ou outras formas de destino para os resíduos). 	

Fonte: Autores (2019).

Como alternativa para gerenciamento dos resíduos gerados, destacam-se biorremediação, coprocessamento e destinação em aterros.

INTERVENÇÃO POR REMOÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS:

O solo é um complexo compartimento do meio ambiente. Desempenha um papel fundamental na sustentação dos ecossistemas terrestres, da vida animal e da sociedade humana. Dependemos dele como *habitat* para a flora e a fauna e como substrato para a produção de alimentos (CETESB 50 anos, p. 127). Por ser essencial para toda a forma de vida, sua preservação deve ser considerada.

A metodologia utilizada para a remoção do solo contaminado, ocorre através da escavação mecânica ou manual da área delimitada durante o procedimento de Investigação, removendo toda a fase livre, fontes primárias e solos que, de fato, representam riscos.

Para o gerenciamento de resíduos e solos contaminados, é necessário relevar uma série de critérios e normativas padronizadas. Atualmente, as principais alternativas para gerenciamento de resíduos são:

- **Destinação para Aterros licenciados:** A Norma Técnica ABNT NBR 10.157/1987 estabelece que, os aterros industriais sejam projetados de maneira que os resíduos sejam dispostos em células impermeabilizadas e cobertas, estas células garantem o isolamento

dos resíduos a serem tratados, minimizando a geração de chorume. Os aterros devem ser licenciados pelo Órgão Ambiental Estadual, no RS é a FEPAM.

- **Coprocessamento:** O coprocessamento pode ser definido como tecnologia de queima de resíduos em fornos de cimento, tecnologia essa, que não gera novos resíduos e contribui para a preservação de recursos naturais, por substituir matérias-primas e combustíveis tradicionais no processo de fabricação do cimento (BATTAGIN; CARDOSO, 2018).
- **Biorremediação:** A biorremediação é uma tecnologia que utiliza o metabolismo de microrganismos para eliminação ou redução, a níveis aceitáveis, de poluentes presentes no ambiente (COLLA et al., 2008).

De forma geral, o gerenciamento dos resíduos deve considerar a classificação, armazenamento, transporte, a alternativa final de gerenciamento em empresas licenciadas. Os solos contaminados, via de regra, são classificados como resíduos perigosos (ABNT NBR 10.004/2004).

A classificação dos resíduos deve contemplar análises em extratos solubilizado e lixiviados, realizadas em conformidade com procedimentos determinados nas NBRs 10.005/2004 e 10.006/2004. Cabe salientar que as amostragens para classificação devem seguir as normas determinadas pela NBR 10.007/2004.

O objetivo da amostragem é a coleta de uma quantidade representativa de resíduo, visando determinar suas características quanto à classificação, métodos de tratamento, etc. (ABNT NBR10.007/2004). Uma classificação adequada é fundamental para determinar a forma de destinação mais eficaz/sustentável.

As empresas geradoras, destinadoras e receptoras de resíduos perigosos, devem possuir licenciamento, e registrar a movimentação dos seus resíduos, nos órgãos ambientais competentes, é exemplo, no caso do Estado do Rio Grande do Sul, na FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler, com o cadastro no MTR Online² - Manifesto de Transporte de Resíduos, atendendo a portaria da FEPAM n° 87/2018, que dispõe sobre a obrigatoriedade deste cadastro e registro da movimentação, além das especificações da norma NBR 13.221 - Transporte Terrestre de Resíduos.

Outros fatores devem ser relevados, tais como: periculosidade dos compostos envolvidos, custos associados, local da remediação e disponibilidade de mão de obra especializada.

Em todas as etapas das atividades, devem ser respeitadas as condições ocupacionais estabelecidas pela Norma Regulamentadora 15 – NR 15, na qual estabelece critérios para atividades e operações insalubres, determinando em seus anexos, os limites de tolerância em exposição ao calor, ruído, exposição a agentes químicos nocivos à saúde, entre outras atividades, além da importância do uso de equipamentos de proteção individual, adequado para cada atividade.

As condições de remoção devem ser avaliadas para adoção de tal alternativa de gerenciamento. Exemplificando, em situações em que os contaminantes se encontram em camadas rasas, a remoção torna-se, de certa forma mais simples e eficaz, enquanto que para situações em que a contaminação se encontra em camadas mais profundas, existem técnicas de escoramento e de escavação por perfuração de grande diâmetro que permite a remoção desta contaminação (CONAM, 2019). Essas atividades podem gerar grandes custos, que devem ser considerados pelos gestores.

2 <http://mtr.fepam.rs.gov.br/>

Considerada a técnica de remoção como aquela escolhida, após a remoção dos materiais, entra uma etapa preponderante do processo. A alternativa de gerenciamento.

Destinação Para Aterros

Na destinação para aterros, os materiais deverão ser classificados conforme Resolução CONAMA 420/09 e ABNT NBR 10.004/04, (com análises em massa bruta, extrato solubilizado e lixiviado). O local de destinação dependerá desta classificação, dos aterros que recebem solo contaminados como aterros industriais, na qual terá sua estrutura prevista na ABNT NBR 10.157/1987 e operação regularizada em conformidade com licenciamento ambiental. Quanto a NBR citada:

Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para projeto e operação de aterros de resíduos perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas. Objetivo da norma para a estrutura de aterros industriais ABNT NBR 10157:1987 – Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação.

Ademais, importante lembrar que os custos para destinação dependem de fatores como a distância até o destino, afinal, os resíduos deverão ser transportados por caminhões licenciados para os aterros, onde serão dispostos.

Salienta-se ainda, que mesmo após destinação paga, os geradores permanecem com certas responsabilidades legais sobre os resíduos destinados. Estas prerrogativas legais estarão associadas a cláusulas previstas em contratos, devem ser relevadas pelos gestores ambientais da intervenção e reportadas aos contratantes.

Coprocessamento

O coprocessamento se destaca como a destinação ambientalmente mais correta para resíduos que não podem ser reciclados ou reutilizados, promovendo uma solução sustentável para um dos principais problemas da indústria (VOTORANTIM, 2019).

Esta técnica é uma alternativa estratégica adotada por empresas cimenteiras, visando um desempenho econômico, utilizando resíduos industriais em seus processos, inclusive solos contaminados, onde ocorre a eliminação total do resíduo, que ao mesmo tempo é aproveitado como fonte de calor.

O coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer deverá ser feito de modo a garantir a manutenção da qualidade ambiental, evitar danos e riscos à saúde e atender aos padrões de emissão fixados nesta Resolução (CONAMA 264/1999).

Os resíduos são processados nos fornos rotativos devido às condições específicas do processo, como alta temperatura, ambiente alcalino, atmosfera oxidante, ótima mistura de gases e produtos, e tempo de residência (> 2 segundos) geralmente suficiente para a destruição de resíduos perigosos (ROCHA et al., 2011).

Conforme a Resolução CONAMA 264/1999, alguns fatores para o coprocessamento, devem ser considerados, principalmente as características físico-químico e o teor de umidade do resíduo que será submetido ao procedimento. Esses cuidados são para o controle de emissão de poluentes no processo, fator relevante neste processo.

Os níveis e as características das emissões dos poluentes atmosféricos dependem das características tecnológicas e operacionais do processo industrial, em especial, dos fornos rotativos de clínquer, da composição química e mineralógica dos insumos, e da composição química dos combustíveis. Nesse sentido, a queima de resíduos perigosos acarreta um passivo de emissões não desprezível com custos ambientais e sociais (ROCHA et al., 2011).

Tratamento por Biorremediação

A Biorremediação é um método mais ecológico que existe, pois se baseia na utilização de fungos, leveduras e bactérias no solo contaminado, de forma que estes promovam a digestão dos contaminantes. Esses microorganismos transformam as substâncias contaminantes em outras secundárias que não imprimem danos à saúde dos seres vivos (FONINI ;ROJAS, 2006).

O material contaminado é removido do local de origem, para seu tratamento, caracterizando a técnica *ex situ*, na qual favorece o controle no tratamento do resíduo removido.

Dentre os processos de biotratamento *ex situ*, estão os métodos de Landfarming, biorreatores e compostagem, na qual irão agir no solo, de acordo com cada técnica, conforme o tipo de contaminante encontrado.

Na técnica de Landfarming no solo contaminado, ocorre a remoção biológica do resíduo. A técnica usa oxigênio, geralmente do ar, para estimular o crescimento e reprodução das bactérias aeróbias que, por sua vez, degradam os constituintes do solo (COUTINHO et al., 2015).

Nesta técnica devem ser levadas em consideração as características do solo contaminado, do contaminante e ainda as condições climáticas da região onde ela vai ser aplicada. Ela consiste em remover o solo do seu local e deposita-lo sobre uma estrutura previamente projetada para recebê-lo (FONINI; ROJAS, 2006).

O solo contaminado é misturado com outros materiais de fácil degradação, formando uma mistura homogênea. A umidade é controlada, assim como a massa gerada pela ação bacteriana.

É possível ainda, empregar biorreatores como forma de remediação. Para a tecnologia dos biorreatores, existem diferentes tipos, que variam de acordo com a necessidade do sistema adotado para a utilização. Os biorreatores são sistemas fechados de tratamento que podem realizar o tratamento de biorremediação, com maior controle sobre as variantes do sistema, tais como temperatura e umidade. Além disso, apresentam a possibilidade de coletar e tratar gases produzidos durante a degradação dos contaminantes (MONTICELI et al., 2018).

Neste sistema ocorre internamente a indução de condições ambientais de pH favoráveis, a disponibilidade de nutrientes, a aeração ou não, e a temperatura, para que o processo seja otimizado para o máximo crescimento microbiano, possibilitando a introdução de microrganismos degradadores do contaminante. O procedimento finaliza, quando as concentrações dos contaminantes dos solos forem reduzidas em níveis desejáveis.

A compostagem também é uma alternativa de remediação, onde o solo contaminado é depositado em forma de pilhas, em estrutura que controle a lixiviação. Neste solo, será desencadeado um processo em que os microrganismos aeróbios irão degradar os contaminantes orgânicos, transformando-os em material orgânico estabilizado, CO₂ e água (JACQUES et al., 2007).

A presente estratégia, diferente da técnica de landfarming, requer a adição de materiais que favorecem o aumento da porosidade e a transferência de oxigênio, e forneça ao sistema uma fonte de energia capaz de beneficiar a expansão microbiana acelerada (LEMOS et al., 2009).

Neste processo tem como benefício o aumento de disponibilidade de nutrientes, e o resíduo pode ser aproveitado, possui baixo requerimento energético e possui baixo custo. Suas desvantagens estão no tempo de retenção do resíduo até o mesmo esteja descontaminado, exige um controle rigoroso de umidade e emissão de gases.

Efluentes Líquidos

Durante as intervenções por remoção, um importante fator a ser relevado é a ocorrência de efluentes líquidos. No momento que o solo é removido, deve haver o cuidado com os aquíferos, especialmente os freáticos, os quais já devem constar nos projetos de diagnóstico/intervenção.

Os efluentes líquidos, entre outras consequências, podem estar contidos nos solos, ocasionando respingos e vazamentos. Outro fator a ser considerado, é que os solos úmidos ou saturados em águas (contaminadas ou não) aumento em volume e peso, magnificando os custos dos projetos. Dessa forma, é altamente recomendável, que os solos removidos sejam, dentro das possibilidades dos gestores, secos, antes de serem destinados.

Em casos onde a contaminação encontra-se na fase dissolvida, outros métodos são aplicáveis. A remoção, via de regra é aplicado em casos onde há solos contaminados. Entretanto, não descarta o uso de metodologias que abordam a contaminação em águas subterrâneas através de tratamento *ex-situ* ou até mesmo *offsite*. É o caso do *pump and treat* (bombeamento e destinação) ou das já consagradas Extrações Multifásicas.

No Rio Grande do Sul, por exemplo, predomina o atendimento da Resolução CONAMA 430/2011, onde dispõe de diretrizes e padrões de tolerância, indicando que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na Resolução. Os critérios dispostos na Resolução, determinam valores orientadores para a presença de poluentes, de maneira a não causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor.

Resíduos Gasosos

Conforme a Resolução CONAMA 491/2018, que dispõe de diretrizes e estabelece critérios padrões de qualidade do ar, com valores de referência para a emissão de poluentes a serem emitidos na atmosfera. Determinando concentrações específicas para cada tipo de poluente e seus limites de emissão, além de estabelecer documentos como Avaliação da Qualidade e Plano de Controle de Emissão Atmosféricas. Esta Resolução serve como parâmetro para as atividades de controle e tratamento de resíduos gasoso.

Em casos de remoções em meio urbano, o fator direção dos ventos deve ser relevado. É comum observar licenças ambientais que autorizam remoções, estarem atreladas a condições de direção do vento. Em certos casos. Recomenda-se que, quando a direção dos ventos direcionaria gases potencialmente tóxicos

para áreas residenciais, as atividades devem ser suspensas. Outros casos, mais sérios, além do monitoramento da direção dos ventos, licenças ambientais demandam a instalação de tendas móveis com sistema de aspersão interno, para minimizar a ocorrência de efluentes gasosos nas imediações da área de intervenção.

RESULTADOS

A remoção como medida de remediação, resulta em uma ação eficiente que age diretamente na área impactada, sendo possível a mitigação direta da massa de contaminantes no sistema.

Os meios de gerenciamento para os resíduos, apresentam vantagens e desvantagens em seus sistemas. Os custos associados variam, baseando-se pela quantidade de resíduo a ser tratado, o tipo de contaminante presente no solo, empresa especializada, entre outros fatores específicos de cada processo, na qual deve ser previsto nas etapas dos projetos de remediação e destinação dos resíduos.

Os dados apresentados na tabela abaixo, possuem valores aproximados para cada medida de destinação, os valores foram consolidados através de consulta em sites e em empreendimentos no ramo de remediação no Rio Grande do Sul. Os valores podem sofrer alterações, devido as variantes apresentadas neste artigo.

Tabela 2 – Tabela de Vantagens / Desvantagens e Custos (aproximado) no RS em 2019.

Tipo de Remediação	Vantagens	Desvantagens	Custo (aprox.) 2019
Destinação para Aterros	<ul style="list-style-type: none"> • O gás de aterro representa uma alternativa para os combustíveis convencionais; • Drenagem e controle do chorume; • Recebimento de grandes volumes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsabilidade vitalícia pelo resíduo depositado; • Limitação dos resíduos destinados; • Custo alto para transporte de grandes volumes; 	R\$ 120,00 a R\$ 250,00/m³ (Custo varia conforme o volume distância percorrida)
Coprocessamento	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz as emissões de gases; • Não gera resíduo; • Diversidade de resíduos como fonte de calor; • Diminuindo a utilização de recursos não renováveis (combustíveis fósseis e recursos minerais); • Operação automatizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitação dos resíduos destinados; • Custo elevado para destinação em grandes volumes; • Custo com transporte. 	R\$ 200,00 a R\$ 300,00/m³ (Custo varia conforme o volume as condições de umidade do resíduo)
Biorremediação	<ul style="list-style-type: none"> • Ampla metodologia de aplicação: biorreatores, compostagem, landfarming fitorremediação, etc; • Alguns procedimentos possuem baixo custo na implantação e operação; • Alguns procedimentos possuem baixo requerimento energético; • Eficiente na degradação de compostos orgânicos; • Operação simplificada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de retenção do resíduo até que o mesmo esteja descontaminado; • Não recomendado para áreas com fase livre; • Em áreas contaminadas por compostos recalcitrantes, não é aplicável; • Controle rigoroso de umidade e emissão de gases; • Maiores manutenções na operação (aeração, controle de pH). 	R\$ 70,00 a R\$ 300,00/m³ (Custo varia de acordo com o método a ser utilizado, o volume e a concentrações dos poluentes).

Fonte: Autores (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intervenção por remoção do solo/resíduos contaminados exige, assim como as demais formas de gerenciamento, projetos que levem em consideração a importância da remediação para a preservação do meio ambiente, e os cuidados com a saúde humana.

As técnicas escolhidas para a remediação variam de acordo com o tipo de contaminante e suas concentrações, por isso, as etapas de gerenciamento de áreas contaminadas contidas nas NBRs citadas neste artigo, os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 e as concentrações máximas aceitáveis, devem ser levados em consideração no momento das tomadas de decisões.

Todas as alternativas de destinação e tratamento dos resíduos gerados na remediação devem ser relevadas durante os projetos de gerenciamento, considerando as condições físicas e geológicas do local a ser remediado, o tipo de contaminante, os custos associados às todas as etapas, inclusive o transporte e as prerrogativas legais.

Visando atingir a máxima eficácia na tomada de decisão, o melhor custo/benefício, e a busca pela sustentabilidade de projetos, caberá a cada gestor determinar as alternativas de gerenciamento mais compatíveis com as necessidades de cada caso.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 10.157/1987 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1987. Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação. 13p.
- ABNT NBR 10.005/2004 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 20p.
- ABNT NBR 10.006/2004 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduo sólido. 7p.
- ABNT NBR 10.007/2004 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. Amostragem de resíduos sólidos. 25p.
- ABNT NBR 15.515-1/2011 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2011. Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea Parte 1: Avaliação preliminar. 68p.
- ABNT NBR 15.515-2/2011 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2011. Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea Parte 2: Investigação Confirmatória. 19p.
- ABNT NBR 15515-3/2013 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea Parte 3: Investigação Detalhada. 18p.
- ABNT NBR 16209/2013 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. Avaliação de Risco a Saúde Humana Para Fins de Gerenciamento de Áreas Contaminadas 40p.
- ABNT NBR 16210/2013 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. Modelo Conceitual no Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Procedimento. 4p.
- ABNT NBR 13.221/2017 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2017. Transporte Terrestre de Resíduos. 8p.
- BATTAGIN, A. F.; CARDOSO, F. D. Panorama do Coprocessamento de Resíduos em Fornos de Cimento no Brasil. In: 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 2018, Foz do Iguaçu, Paraná. Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 2018.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **50 anos de história e estórias**. São Paulo: CETESB, 2018. 200 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>>.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relação De Áreas Contaminadas E Reabilitadas No Estado De São Paulo** - São Paulo: CETESB, 2018. 12p.
- COLLA, L. M.; PRIMAZ, A. L.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V. Isolamento e Seleção de Fungos para Biorremediação a partir de Solo Contaminado com Herbicidas Triazínicos. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v. 32, n. 3, p. 809-313, 2008.
- CONAM, **Consultoria Ambiental**. Disponível em: < <http://www.conam.eng.br/remocao-de-solo-contaminado>>.
- CONAMA, 1999. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 264, de 26 de agosto de 1999. Dispõe sobre critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para a fabricação de cimento.
- CONAMA, 2009. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto á presença de substâncias a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
- CONAMA, 2011. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- COUTINHO, P. W. R.; CADORIN, D. A.; NORETO, L. M.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Alternative Soil Remediation: Boremediation And Phytoremediation. *Nucleus*. v. 12. P 59-68, 2015.
- FONINI, A.; ROJAS, J. W. J. Técnicas Empregadas na Remediação de Solos Contaminados. In: II Simpósio Brasileiro de

Jovens Geotécnicos, 2006, Nova Friburgo, 2006.

JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. *Ciência Rural*, Santa Maria/RS, v. 37, p. 1192-1201, 2007.

LEMOS, J. L. S.; OLIVEIRA, S. D.; SCHILITTLER, L. A. F.; PEREIRA JR., Nei; LEITE, S. G. F. Técnicas de Biorremediação de Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo. *Diálogo & Ciência*. v. 7, p. 47-48, 2009.

MONTICELLI, F. M.; RODRIGUES, D. C. G. A.; CORREA, S. M. Desenvolvimento de Biorreatores de Bancada para Biorremediação de Solo Contaminado com Diesel B5. *ACTA SCIENTIAE ET TECHNICA*. v. 6, p.3-12, 2018.

RIO GRANDE DO SUL. Portaria FEPAM N° 87, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a obrigatoriedade de utilização do Sistema MTR Online no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Porto Alegre, p. 8, 2018.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; SANTOS, B. C. E. Aspectos do Coprocessamento de Resíduos em Fornos de Clínquer. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.16, p. 1/11-10, 2011.

SANBERG, E.; AUGUSTIN, S.; GOCKS, N. R. A.; QUADROS, P. S.; TIZATTO, R. VEDANA, L. A. A Avaliação de Riscos à Saúde Humana como Ferramenta para Gerenciamento Ambiental no Brasil. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015, Bento Gonçalves. **Anais do 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**, 2015. v. 1.

VOTORANTIM. **Cimentos**. Disponível em: <<http://afr.vcimentos.com.br/>>.

