

## 5SSS174

# ESTRATÉGIAS PARA MITIGAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E REJEITOS

**Renata Estevam<sup>1</sup>, Renato Meira de Sousa Dutra<sup>2</sup>, Luciana Harue Yamane<sup>3</sup>, Renato Ribeiro Siman<sup>4</sup>**

*1Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: renata.engenhariacm@gmail.com; 2Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: renatomsd@hotmail.com; 3Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: lucianayamane@gmail.com; 4Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: renato.siman@ufes.br*

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos; Áreas degradadas; Mitigação de Impactos Ambientais

### Resumo

A mitigação de áreas degradadas pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos (ADDIRSU) está intimamente atrelada ao levantamento de aspectos ambientais propiciadores de degradação ambiental, bem como a definição de critérios que irão avaliar as condições a que estes ambientes estão susceptíveis, para que então seja possível a definição da técnica de mitigação a ser empregada de forma sustentável, eficiente e com otimização de custos. Tendo este entendimento como ponto de partida, o presente trabalho propôs uma caracterização das ADDIRSU existentes estado do Espírito Santo por meio da avaliação das condições ambientais baseada em uma seleção de aspectos e critérios de caráter técnico, econômico, operacional, social e ambiental, que possibilitassem a proposição de técnicas para mitigação dos impactos ambientais existentes. Para tanto foi realizada uma pesquisa bibliográfica de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, bem como uma pesquisa documental em órgãos públicos e associações de municípios, cujos dados foram posteriormente confirmados e completados por meio de levantamento *in loco*, com aplicação de questionários em todas as 78 cidades da áreas de estudo. Posteriormente foi realizada a caracterização de cada ADDIRSU por meio da verificação, nos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) elaborados pelos municípios, do atendimento aos aspectos e critérios mapeados na bibliografia. Ao final, foram sugeridas as técnicas de mitigação necessárias para minimização dos impactos ambientais correlatos. A pesquisa obteve como principais resultados que o estado Espírito Santo possui em seu território 192 ADDIRSU, onde 135 destas são respectivas a lixões desativados e apenas 59 encontram-se em recuperação. Com o diagnóstico realizado foi possível observar que 56% das áreas foram degradadas unicamente pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) e que as demais áreas possuíam outras tipologias de resíduos sólidos tais como resíduos de construção e demolição, resíduos eletroeletrônicos, resíduos perigosos como baterias, pilhas, lâmpadas fluorescentes e até mesmo resíduos de serviços de saúde como agulhas seringas, gases e outros materiais biológicos infectados. Foi constatado que 14% das ADDIRSU ainda se encontram em operação e que em 5% delas ainda existem atividades de catação de resíduos recicláveis por indivíduos de baixa renda. Além disso, 98% das ADDIRSU estão inseridas parcialmente em as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e 80% das áreas estão dentro de faixas de domínios de rodovias. Quanto à existência de captação de água dentro da ADDIRSU ou em seu entorno (no limite de 1000m) foi constatado que em 35% das áreas existem captações em corpos hídricos ou em poços artesianos, o que pode resultar em problemas de saúde pública. A caracterização das áreas por meio dos aspectos e critérios ambientais selecionados para o estudo foi realizada para 32 das 192 ADDIRSU, devido à falta de informações detalhadas sobre as demais áreas, e indicou que em 100% dessas áreas não foram atendidos os critérios de presença de portaria, balança e vigilância, compactação dos resíduos, drenagem e tratamento do lixiviado de aterro, monitoramento de águas subterrâneas, monitoramento geotécnico e restrições legais ao uso do solo. Além disso, os critérios de verificação de dimensões e inclinações (97%), proteção vegetal (97%), homogeneidade da cobertura (94%), drenagem provisória de águas pluviais (84%), impermeabilização do solo (75%), presença de isolamento visual (69%), drenagem definitiva de águas pluviais (69%), profundidade lençol freático (p) x permeabilidade do solo (k) (66%) e drenagem de gases (66%), não obtiveram uma boa avaliação. Em relação às técnicas de mitigação para ADDIRSU foi verificado que em 100% das áreas são necessárias ações como isolamento das áreas, controle de acesso, compactação do solo, instalação de placas e sistemas de drenagem e tratamento de lixiviado, remediação do solo e monitoramento das águas subterrâneas e do comportamento dos maciços para melhoria das condições ambientais. Com destaque também para ações de retaludar as áreas e assegurar critérios de proteção vegetal tais como implantação de camada de argila após o encerramento da célula, erradicar espécies exóticas, limitar o desmatamento e descompactar o solo para implantar técnicas conservacionistas de recomposição, que foram avaliadas como ausentes em 97% das ADDIRSU. Conclui-se com os resultados desta pesquisa que a partir da adoção de critérios ambientais, precedida do diagnóstico detalhado das ADDIRSU, é possível auxiliar o processo de decisão dos gestores para escolha da técnica de mitigação mais viável para cada situação. E que o estado do Espírito Santo detém potencial para implementação de novos aterros sanitários de forma a otimizar custos com transporte de resíduos sólidos e minimizar os problemas de ordem ambiental.

## Introdução

O Brasil e o mundo sofrem com diversos problemas ambientais provenientes da disposição inadequada dos resíduos sólidos. Joseph et al. (2004) apontam que três-quartos dos países e territórios em todo mundo ainda se valem de cenários de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, enquanto Law e Ross (2019) afirmam que os 50 maiores lixões estão distribuídos em todo mundo, inclusive em países desenvolvidos, que são responsáveis pela maior geração de resíduos sólidos do mundo.

Embora já sejam conhecidos os impactos ambientais referentes a esta disposição inadequada em solo, os altos custos demandados para a implantação de aterros sanitários e a descontinuidade administrativa dos órgãos municipais ainda são barreiras que impedem uma gestão sustentável dos resíduos sólidos. Desta forma, ainda é comum a existência dos modelos de disposição na forma de lixões e aterros controlados (SCARLAT et al., 2015; KUMAR et al., 2017). Law e Ross (2019), demonstraram através de estudos que lixões e aterros controlados são respectivos à terceira maior fonte de metano antropogênico global, gás de efeito estufa que comparado com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é 25 vezes mais potente, segundo os autores é estimado que lixões emitam o equivalente a mais de 20 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano no mundo.

Para Gunther e Grimberg (2006) um desafio para os municípios, enquanto titulares dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, é a mudança do atual modelo de gestão de resíduos, que se baseia no aterramento, para um modelo que vise a coleta seletiva, a reciclagem e a inclusão social.

Pela Instrução Normativa nº 04/2011 do IBAMA, entende-se como área degradada aquela que está “impossibilitada de retornar por uma trajetória natural, a um ecossistema que se assemelhe a um estado conhecido antes, ou para outro estado que poderia ser esperado” (IBAMA, 2011, pág.3). Portanto, entende-se para este estudo que Áreas Degradadas pela Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos Urbanos (ADDIRSU) são aquelas que em determinado intervalo receberam a disposição final de resíduos sem a correta preparação do local incorrendo em impactos ambientais.

Data a problemática ambiental citada faz-se necessário o encerramento das áreas que ainda recebem resíduos sólidos de forma inadequada e a recuperação das ADDIRSU existentes. Para tanto é de fundamental importância a consideração de critérios de caráter técnico, econômico, operacional, social e ambiental que irão possibilitar uma classificação coerente em relação as escolhas das técnicas capazes de mitigar os impactos ambientais existentes (SUBRAMANIAN, RAMANATHAN, 2012; SOLTANI, SADIQ, HEWAGE, 2015; KHARAT et al., 2018). Estes critérios devem ser levantados a partir de um diagnóstico ambiental detalhado de cada área a ser mitigada, que inclua os custos relacionados à recuperação da área, tendo como principal objetivo a avaliação das condições ambientais, e conseqüentemente, subsidiar a tomada de decisão a partir de escolhas de metodologias de mitigação tecnicamente viáveis (CEMPRE, 2010).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo a realização de um diagnóstico das ADDIRSU presentes no estado do Espírito Santo, com a devida classificação das condições ambientais de cada área existente, bem como a seleção de aspectos, critérios ambientais e técnicas para mitigação dos impactos ambientais existentes de forma a contribuir para o processo de tomada de decisões dos gestores e para que a mitigação dessas áreas ocorra de forma sustentável, eficiente e com otimização de custos.

## Material e Métodos

Este estudo faz parte do Programa de Extensão intitulado Gerenciamento de Resíduos Sólidos: da Coleta à valorização da Universidade Federal do Espírito Santo e foi organizado nas seguintes etapas de trabalho (Figura 1).

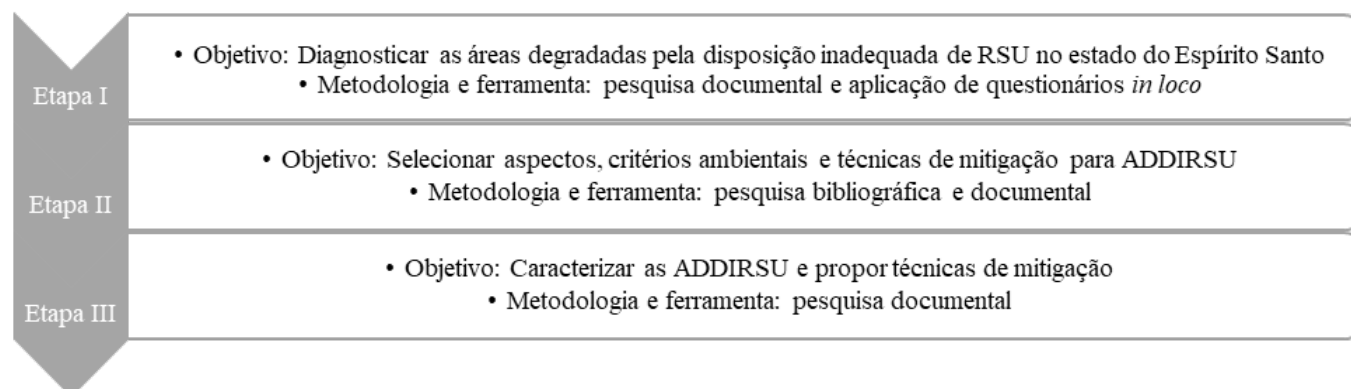


Figura 1: Etapas de trabalho do estudo.

Para aplicação deste estudo foram utilizadas as ADDIRSU existentes no estado do Espírito Santo, identificadas no Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS, 2019) que foram declaradas por prefeituras municipais, excluindo-se áreas de empreendimentos privados e pontos viciados (locais temporários de pequena extensão onde a população deposita resíduos inadequadamente em pequenas quantidades).

### **Etapa 1: Diagnóstico das ADDIRSU no estado do Espírito Santo**

O diagnóstico das áreas apresentadas envolveu o levantamento de dados secundários por intermédio de pesquisa documental em órgãos públicos, em especial junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Iema), em prefeituras municipais, no site da Associação dos Municípios do Estado do Espírito Santo (Amunes) sobre os Temos de Compromisso Ambiental (TCA) assinados entre os Ministério Público do estado do Espírito Santo e prefeituras municipais e nos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas elaborados pelos municípios.

Para consolidação das informações coletadas a partir da pesquisa documental, demais dados, fundamentais ao diagnóstico destas áreas, foram obtidos por meio de levantamento *in loco*, a partir da aplicação de questionários nas 78 prefeituras municipais do Espírito Santo, onde foram coletadas informações sobre a localização das áreas de disposição inadequada de resíduos ou rejeitos, sobre o uso e cobertura do solo e sobre a presença de pontos de captação de água.

### **Etapa 2: Seleção de aspectos, critérios ambientais e técnicas para mitigação de ADDIRSU**

Nesta etapa da pesquisa foram consultados artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais acessados a partir do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e da base de dados da *Science Direct*. As pesquisas foram realizadas utilizando-se das seguintes palavras chaves: área degradada, resíduo sólido urbano, critério, aspectos e técnicas de mitigação traduzidas para o inglês como *degraded area, solid waste municipal, criterion, aspect, mitigation technology* a fim de encontrar artigos bem-conceituados dentre as distintas plataformas disponíveis para pesquisa. O horizonte de coleta de dados da pesquisa foi limitado aos anos de 2010 a 2019. Já para a pesquisa documental desta etapa foram utilizados dados dos Temos de Compromisso Ambiental (TCA) e dos processos existentes no Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Iema), com o objetivo de se destacar aspectos ambientais importantes para a posterior caracterização.

Nesta etapa, a pesquisa bibliográfica teve como finalidade subsidiar a tomada de decisão para escolha de critérios e técnicas de mitigação que de fato dispõem sobre características específicas de ADDIRSU, para que fosse possível observar a fragilidade das áreas com base nos aspectos ambientais que impactam positivamente na poluição ou não, e desta forma elencar critérios já aplicados em trabalhos, bem como técnicas de mitigação bem-sucedidas e economicamente viáveis.

### **Etapa 3: Caracterização das ADDIRSU e proposição de técnicas de mitigação**

Após a seleção anterior cada ADDIRSU, que continha as informações mínimas para sua caracterização, foi avaliada quando ao seu atendimento aos aspectos e critérios técnicos, econômicos e operacionais, ambientais e sociais preestabelecidos no Quadro 1 por meio de seus Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) elaborados pelos municípios. Ao final, foram avaliadas as técnicas de mitigação necessárias para minimização de cada impacto ambiental correlato aos critérios identificados, de forma a possibilitar o entendimento de quais medidas são necessárias para resolução da maior parte dos impactos ambientais encontrados nas ADDIRSU.

## **Resultados e Discussão**

Foram identificadas 192 ADDIRSU existentes no estado do Espírito Santo, conforme mostra a Figura 2, as quais foram classificadas em áreas de bota fora (marcador azul), aterros controlados (marcador purpura), lixões ativos (marcador verde), lixões desativados (marcador vermelho) e áreas de transbordo (marcador anil).

Verifica-se na Figura 2 que 135 ADDIRSU são áreas de lixões desativados, fato este que evidencia a atuação do estado no fechamento dessas áreas em atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e à Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei 9.264/09), que têm como uns de seus objetivos à erradicação dos lixões em solo capixaba.

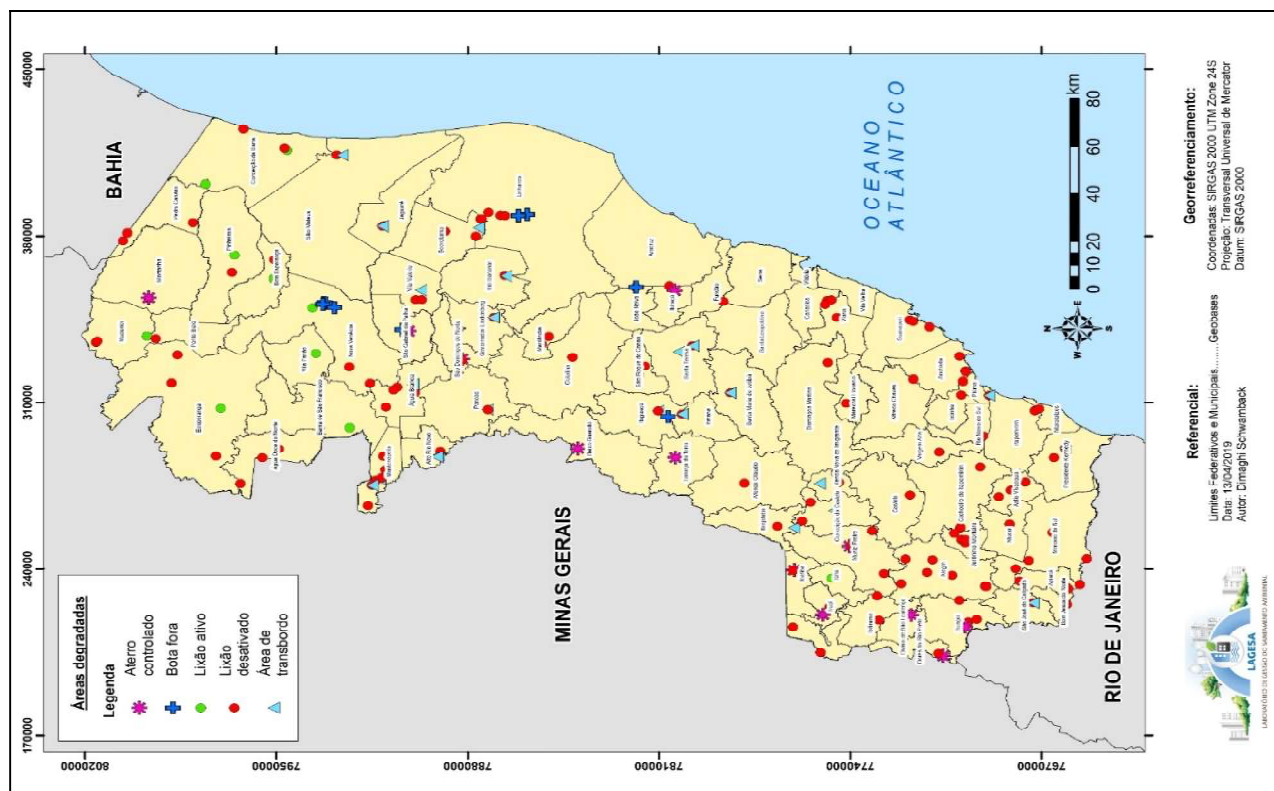
### **Diagnóstico das ADDIRSU no estado do Espírito Santo**

Com o diagnóstico realizado foi possível identificar que 56% das áreas foram degradadas pela unicamente pela disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU), já as demais áreas possuíam outros resíduos como resíduos de construção e demolição, resíduos eletroeletrônicos, resíduos volumosos (inservíveis) e até mesmo resíduos perigosos como baterias, pilhas, lâmpadas fluorescentes e resíduos de serviços de saúde como como agulhas seringas, gases e outros materiais biológicos infectados, o que segundo Azevedo et al. (2015) agravam ainda mais as condições ambientais, podendo provocar a contaminação dos solos, influenciar na qualidade das águas (superficiais e subterrâneas) e do ar.

Estudos feitos por Abdel-Shafy, Mansour (2018) apontam que os órgãos municipais de fato possuem dificuldade para fiscalizar o recebimento dos resíduos sólidos em áreas de disposição final. Enquanto Kumar et al. (2017), apontam que tais resultados são provenientes de poucos incentivos demandados pela gestão pública, e pela fiscalização falha promovida pelos

responsáveis municipais, além disso é comprovado que existe carência de conhecimento em relação as obrigatoriedades impostas por atos legislativos.

Outros dados agravantes, obtidos neste estudo é de que em cerca de 14% das ADDIRSU ainda continuam em operação sendo composta por lixões e aterros controlados e que em 5% das ADDIRSU ainda são realizadas atividades de catação de resíduos por indivíduos de baixa renda, o que está em desacordo com a legislação brasileira, que proíbe tal atividade. Segundo Cruvinel et al. (2019), é de suma importância proibir a catação em áreas de destinação final de RSU, haja visto que esses trabalhadores realizam a catação sem nenhum equipamento de proteção individual, bem como não são assistidos pelas autoridades públicas dentre essas localidades. Como atenuante, foi verificado que 35% das ADDIRSU já se encontram em processo de recuperação ambiental.



**Figura 2: Identificação das áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos.**

A respeito do tempo de utilização das ADDIRSU verificou-se que 20% foram utilizadas em um período inferior a 10 anos, 7% entre 10 e 20 anos, 6% entre 20 e 30 anos e 1% por mais de 30 anos. Sobre as demais áreas (66%) não foi possível identificar o tempo de utilização. De acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997) as ADDIRSU devem ser planejadas em um longo horizonte temporal, de modo que as condições ambientais devem ser avaliadas para possibilitar uma vida útil de no mínimo 15 anos. Assim, como 20% das áreas tiveram vida útil inferior a 10 anos, vislumbra-se um mal gerenciamento por parte dos municípios, e desta forma estas áreas devem obrigatoriamente contar com PRADs para serem gradativamente recuperadas em conformidade com suas particularidades ambientais (NOGUEIRA, 2015; RAMOS, 2016).

Em relação ao uso e ocupação do solo nestas áreas foi constatado que 98% estão inseridas parcialmente em as Áreas de Preservação Permanente (APPs), que deveriam possuir uso restrito em pró da conservação do meio ambiente natural. Além disso, 80% das ADDIRSU estão dentro de faixas de domínios de rodovias, o que mostra um desconformidade em relação à norma NBR 13896/97, que estipula uma distância mínima de 200 metros de rodovias (ABNT, 1997).

Quanto à existência de captação de água dentro da ADDIRSU ou em seu entorno (no limite de 1000m) foi constatado que em 35% das áreas existem captações em corpos hídricos ou em poços artesianos, o que pode resultar em problemas de saúde pública. Para Beli et al., (2005) corpos hídricos da proximidade das ADDIRSU possuem forte tendência de apresentarem coliformes fecais e totais acima dos níveis de potabilidade permitidos pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), enquanto estudo de Santos Betio e Santos (2016) apontam a ocorrência de alta concentração de metais pesados como o chumbo em poços de monitoramento de ADDIRSU.

Das 192 áreas, 81% das ADDIRSU já possuem placa informativa na entrada, cercamento da área e instalação de guarita e cancela, o que visa impedir a entrada não autorizada de pessoas na área principalmente de catadores, bem como restringir o despejo inadequado de resíduos por comunidades vizinhas. Para Reale et al. (2016) e Nicoleite, Overbeck e Muller (2017), o



cercamento com isolamento, portão e guaritas de monitoramento podem impactar positivamente na resolução de problemas operacionais, pois resultam em melhores vias de acesso para movimentação de veículos, controle de entrada e saída de pessoas, maior segurança do local, como também, controle de problemas sociais, como por exemplo, a presença de catadores dentro e no domínio da ADDIRSU.

Em relação a mitigação dos impactos ambientais, 64% das ADDIRSU já possuem sistemas de drenagem superficial para desvio do fluxo das águas pluviais, de forma a minimizar a geração do lixiviado de aterros. Para Ye et al. (2019) a ausência ou à má operacionalização de sistemas de drenagem e o tratamento do lixiviado de aterros podem intensificar a poluição do solo, e dos corpos hídricos pela ação da lixiviação. Também foi verificado que 56% já possuem instalação de drenos de gases, o que para Gomes, Martins (2003) é de suma importância para que se evitem formações de bolsões dentro da massa de resíduos decorrentes da liberação de gases provenientes da decomposição intensa dos resíduos sólidos, os quais poderão causar explosões ou incêndios locais. Além disso, essa medida é capaz de proporcionar uma maior resistência física do maciço de resíduos, bem como diminuir as emissões de poluentes (DASGUPTA, YADAV, MONDAL, 2013; SRIVASTAVA, KRISHNA, SONKAR, 2014; MOU, SHEUTZ, KJELDEN, 2014).

### **Aspectos, critérios ambientais e técnicas para mitigação de ADDIRSU**

O Quadro 1 apresenta os aspectos ambientais, os critérios ambientais utilizados para caracterizar as ADDIRSU e as técnicas de mitigação sugeridas para cada critério identificado construído a partir dos estudos de ABNT (1997), Lanza e Carvalho (2006), COPAM (2008), FEAM (2010), Vargas (2010), Gonçalves et al. (2013), Lima *et al.* (2013), Azevedo et al. (2015), CETESB (2017), Kumar e Samader (2017), Cruviel *et al.* (2019), Law, Ross (2019) e Yet et al. (2019).

Aspectos Ambientais	CrITÉRIOS Ambientais	TÉcnicas de mitigação sugeridas
Estrutura de apoio	A. Presença de portaria, balança e vigilância	1. Delimitar a área com cerca de isolamento e portão 2. Promover o controle de acesso integral com guarita 3. Registrar movimentação de cargas e pessoas 4. Identificar local com placas de advertência
	B. Presença de isolamento físico e visual	1. Instalar cinturão verde ou outro tipo de barreira visual
	C. Compactação dos resíduos	1. Compactar o resíduo
	D. Recobrimento dos resíduos	1. Recobrir resíduo diariamente 2. Verificar recobrimento após encerramento
Taludes e bermas	E. Verificao de dimensões e inclinaes	1. Retaludar toda ADDIRSU para garantir a estabilidade do talude 2. Monitorar o comportamento mecânico dos maciços
	F. Proteo vegetal	1. Implantar camada de argila moderadamente compactada 2. Erradicar espécies exóticas como gramíneas 3. Limitar o desmatamento em áreas adjacentes 4. Descompactar o solo e implantar práticas conservacionistas de recomposio vegetal
	G. Afloramento de lixiviado de aterro	1. Drenar, armazenar e tratar
Superfície superior	H. Nivelamento da superfície	1. Realizar o nivelamento final da superfície
	I. Homogeneidade da cobertura	1. Realizar a manuteno da camada de cobertura
	J. Drenagem de lixiviado de aterro	1. Realizar a drenagem e o armazenamento do lixiviado
	K. Tratamento de lixiviado de aterro	1. Tratar o lixiviado de aterro 2. Retirar a camada de solo contaminada. 3. Viabilizar uso de tecnologias de tratamento (remediao).
	L. Drenagem provisória de águas pluviais	1. Realizar a escavao do solo e instalar canaletas
	M. Drenagem definitiva de águas pluviais	1. Instalar sistema de drenagem definitiva 2. Direcionar o fluxo de água até as bacias de deteno
	N. Drenagem de gases	1. Instalar drenos verticais 2. Tratamento do gás coletado a partir da queima
	O. Monitoramento de águas subterrâneas	1. Instalao de poços de monitoramento 2. Utilizar as técnicas para controle e remediao
	P. Monitoramento geotécnico	1. Acompanhar o comportamento mecânico dos maciços
Outras Informações	Q. Presença de catadores	1. Incentivar formalizao de catadores 2. Aprimorar sistema de controle de acesso 3. Retirada dos resíduos do local ou realizar a cobertura dos resíduos com terra
	R. Queima de resíduos	1. Fiscalizar e coibir a ocorrências de queima de resíduos
	S. Ocorrência de vetores e odores	1. Retirada dos resíduos do local ou realizar a cobertura dos resíduos com terra
	T. Presença de aves e animais	1. Retirar e impedir a entrada e presença de aves e animais 2. Retirada dos resíduos do local ou realizar a cobertura dos resíduos com terra 3. Delimitar a área com cerca de isolamento e portão
Característica da rea	U. Proximidades de núcleos habitacionais	1. Fiscalizar e coibir a instalao de moradias 2. Implantar programas de educao ambiental
	V. Proximidades de corpos de gua	1. Instalar postos de monitoramento e realizar análises físico-químicas no corpo hídrico 2. Desviar o fluxo de lixiviado de aterro sanitário 3. Utilizar as técnicas adequadas para controle e remediao 4. Instalar lacres em cisternas ou poços e água no entorno da ADDIRSU
	W. Restries legais ao uso do solo	1. Restringir o uso de solos contaminados ou com indícios de erosão 2. Realizar o isolamento da área contaminada

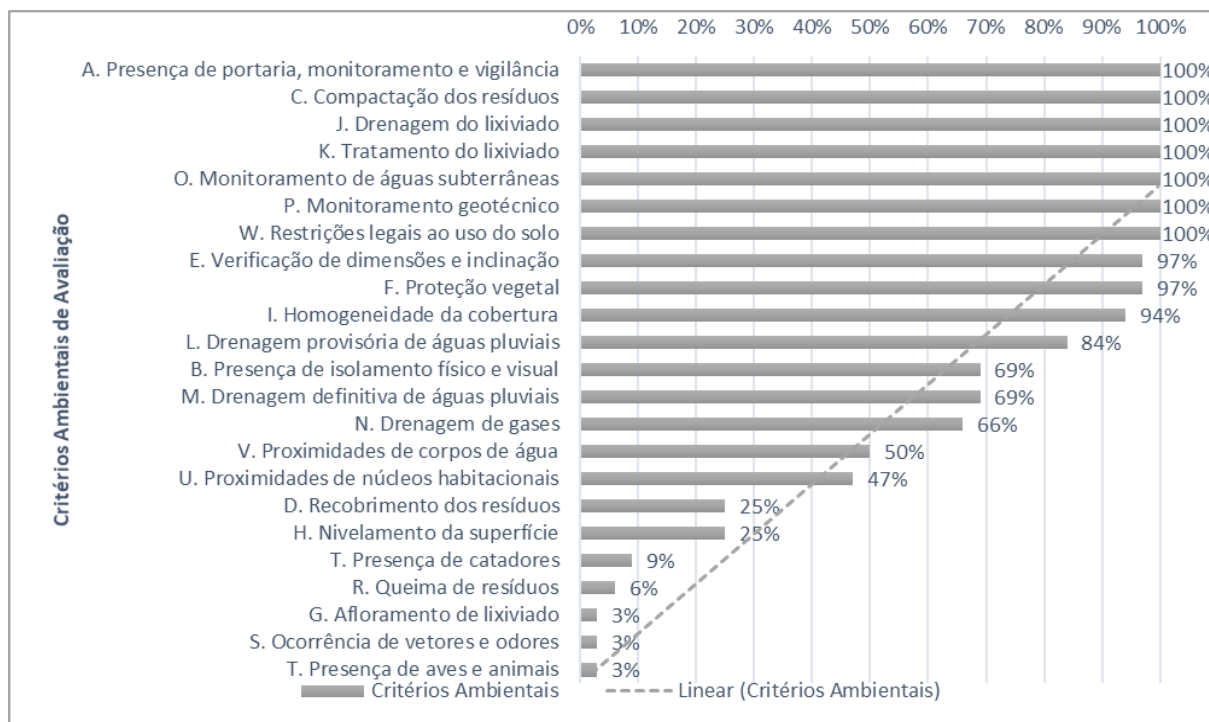
**Quadro 1: Aspectos ambientais, critérios ambientais e limites esperados utilizados para caracterizao das ADDIRSU.**

### Caracterizao das ADDIRSU por meio dos aspectos e critérios ambientais

Com base nas informaes obtidas na etapa de diagnóstico foi possível realizar uma caracterizao das ADDIRSU com base nos aspectos e critérios ambientais apresentados no Quadro 1. Entretanto, devido  falta de informaes detalhadas só foi

possível aplicar a metodologia proposta em 32 das 192 ADDIRSU existentes no estado, das quais 30 áreas são relativas a lixões e 2 áreas são correspondem a aterros controlados.

A avaliação perante os critérios ambientais foi realizada para cada área individualmente e os resultados para as 32 ADDIRSU, em percentual, são apresentados na Figura 3.



**Figura 3: Resultados percentuais da avaliação dos critérios ambientais das 32 ADDIRSU.**

Conforme a metodologia prevista pela CETESB, caso parte do critério não seja atendido o critério deve ser considerado como não atendido, assim, embora boa parte das ADDIRSU tenham portarias, como nenhuma delas possui o conjunto “portaria, balança e vigilância”, foi considerado que 100% das ADDIRSU avaliadas não atenderam ao critério. Assim, os critérios de compactação dos resíduos (100%), drenagem de lixiviado de aterro (100%), tratamento de lixiviado de aterro (100%), monitoramento de águas subterrâneas (100%), monitoramento geotécnico (100%), restrições legais ao uso do solo (100%), verificação de dimensões e inclinações (97%), proteção vegetal (97%), homogeneidade da cobertura (94%), drenagem provisória de águas pluviais (84%), impermeabilização do solo (75%), presença de isolamento visual (69%), drenagem definitiva de águas pluviais (69%), profundidade lençol freático (p) x permeabilidade do solo (k) (66%) e drenagem de gases (66%), não obtiveram uma boa avaliação.

Destaca-se que a drenagem e tratamento do lixiviado de chorume, monitoramento de águas subterrâneas e geotécnico foram evidenciadas como inexistentes nos documentos consultados. Monkare et al. (2019), relatam que a inexistência de mecanismos de drenagem e tratamento do lixiviado de aterro, demandam altos custos para a readequação da estrutura ambiental de apoio, segundo os autores, quanto mais antigas sejam as áreas, maiores serão os custos demandados, no qual, o revestimento inferior (geomembranas), incluindo o sistema de drenagem de lixiviados demandam R\$ 126,26 por m<sup>2</sup>; tubos de drenagem de gás ou de aeração (R\$ 21,10 por m<sup>2</sup>); tratamento do lixiviado a (R\$ 16,88 por m<sup>3</sup>); e tratamento do biogás (0,25 kWh / m<sup>3</sup>).

Conforme a metodologia prevista pela CETESB, caso parte do critério não seja atendido o critério deve ser considerado A ausência do monitoramento geotécnico foi apontada como um fator preocupante, pois foram constatadas que duas (2) áreas do plano amostral encontram-se em terrenos propícios a erosão, e conseqüente desmoronamento. Ainda, foi verificado que os critérios dimensões/inclinações e proteção vegetal também representaram relevância em relação a avaliação ambiental, obtendo igualmente 97% de não atendimento aos limites esperados. Conforme Ali et al., (2014), áreas que apresentam tais fragilidades, comumente apresentam terrenos com sulcos e ravinas, possibilitando assim, o aparecimento de voçorocas. Tais mecanismos, são propulsores da ruptura dos maciços de resíduos, como também modificam o relevo e a paisagem tornando a mitigação do ponto de vista ambiental avaliado como irreversível (ROMEIRO et al., 2014; AZEVEDO et al., 2015; SETTA, 2016).

Ainda dentre as altas frequências para condições inadequadas, o critério homogeneidade da cobertura constatou que 94% das áreas não possuíam a homogeneização da área de cobertura das células. Verificou-se que apenas 2 áreas realizavam este procedimento, sendo respectivas ao aterro sanitário, e ao aterro controlado. Destaca-se que, a avaliação deste critério é

realizada através de análise visual in loco, e como as avaliações foram realizadas por intermédio de fonte documental os limites esperados que delimitaram esta avaliação basearam-se essencialmente na ausência e na presença deste mecanismo.

Foi possível observar que 66% das áreas apresentaram valores de profundidade do lençol freático menores que 1,5 metros, bem como permeabilidade abaixo de  $K < 10^{-6}$  cm/s. Vale destacar que o plano amostral referente a esta avaliação foi pertinente a 24 ADDIRSU, pois o preenchimento deste critério é realizado somente para os casos onde verifica-se a ausência de impermeabilização do solo. Conforme a FEAM (2010), Vilhena (2010), e Nicoleite, Overbeck, Müller (2017), determinados critérios devem ser instrumento do projeto inicial de instalação de uma área de disposição final de RSU, de modo a viabilizar ou não a sua implementação. Pois estas variáveis estão intimamente relacionadas com a poluição ambiental evidenciada nas águas superficiais, subterrâneas e solo.

### Proposição de estratégias para de mitigação dos impactos ambientais das ADDIRSU

Com base na avaliação dos critérios ambientais de cada uma das 32 áreas apresentada no item anterior foi possível identificar quais técnicas de mitigação são necessárias para cada área. O resultado, em número de frequência, é apresentado na Figura 4, onde a numeração presente no eixo vertical representa as técnicas listadas no Quadro 1. As técnicas para mitigação foram organizadas em ordem decrescente de forma a evidenciar quais técnicas devem ser priorizadas para minimização dos impactos ambientais.

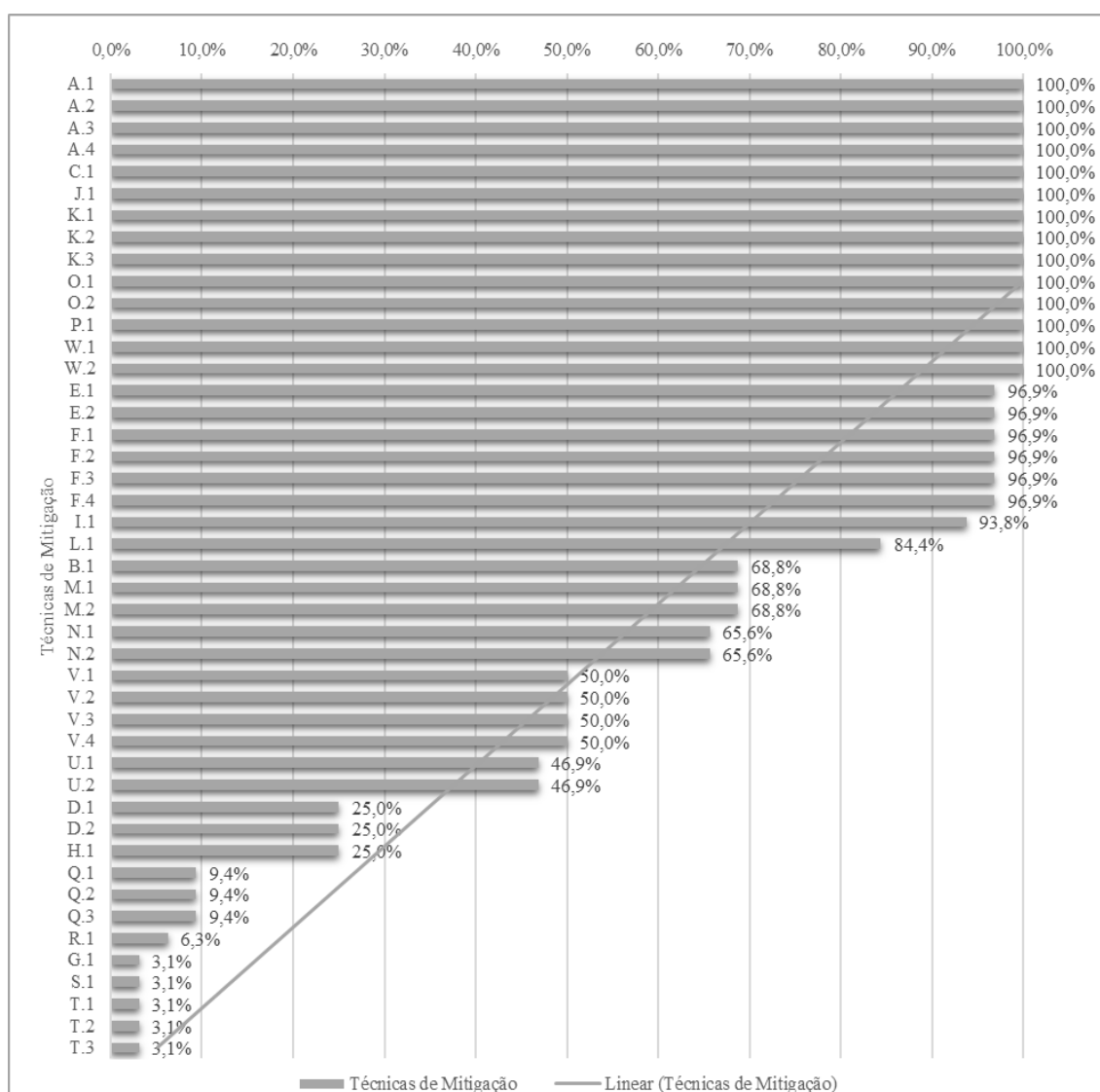


Figura 4: Frequência de demanda das técnicas de mitigação para as 32 ADDIRSU.

Conforme pode ser verificado na Figura 4, técnicas como realizar o isolamento da área, controlar o acesso, instalar placas de advertência, compactar o solo, realizar a drenagem e o tratamento do lixiviado, retirar camadas de solo contaminadas, propiciar



técnicas de remediação, instalar poços de monitoramento, avaliar o comportamento dos maciços e restringir o uso do solo são necessários em todas as ADDIRSU caracterizadas. Para tanto, FEAM (2010), orienta que as cercas sejam de arame farpado e apresente no mínimo 1,80 metros de altura, sendo apoiadas por meio de postes de concreto ou madeira. Já as placas de identificação devem ser de fácil visualização e leitura, com fundo branco, e devem conter dimensões de 1,20m x 0,80m, contendo o seguinte texto: “Área de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos em fase de recuperação ambiental”, por fim, deve-se apresentar o nome do município e o número do processo registrado no órgão ambiental (IEMA, 2013).

Em relação à compactação dos resíduos Lanza e Carvalho (2006) indicam que deve ser realizada com trator, preferencialmente do tipo esteira, pois segundo Salviano (2016) as esteiras distribuem melhor o peso do trator sobre a superfície, diminuindo os efeitos com a compactação do solo, e assim otimizando a potência de trabalho do motor.

Para realização da drenagem e o tratamento do lixiviado Lessa (2017) relata que na maioria das vezes o efluente respectivo a ADDIRSU é transferido a uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), entretanto, o autor aponta que muitas vezes as ETES não foram dimensionadas para tratar concentrações de componentes existentes no lixiviado, e desta forma, transferem problemas como altos custos, além de riscos ambientais potenciais envolvidos com o transporte. Por isso, Lessa (2017), indica que o tratamento seja feito em lagoas anaeróbias e facultativas.

Como foi constatado a inexistência de monitoramento das águas subterrâneas nas 32 ADDIRSU não é possível afirmar sobre a existência de contaminação. Entretanto, o potencial risco de poluição não deve ser ignorado, e por este motivo a realização de análises físico-químicas faz-se primordial para execução ou não, das demais barreiras propostas a este critério especificamente. Para tanto, FEAM (2010) e Possamai et al., (2007), indicam-se que os poços de monitoramento sejam instalados a montante e a jusante dos corpos hídricos pertencentes ao raio de 200 metros referente ao entorno da ADDIRSU.

A respeito do comportamento dos maciços Lanza e Carvalho (2006) destacam que o monitoramento geotécnico deve dispor de no mínimo piezômetros, marcos superficiais e medidores de vazão para ser eficiente e que as frequências das leituras devem ser baseadas através da gravidade potencial de ruptura dos maciços.

Na Figura 4 também se destaca que em 31 das 32 ADDIRSU caracterizadas existe a necessidade de retaludar as áreas, além de assegurar critérios de proteção vegetal como implantação de camada de argila após o encerramento da célula, erradicar espécies exóticas, limitar o desmatamento e descompactar o solo para implantar técnicas conservacionistas de recomposição. Para isso, Pinto, Resende e Oliveira (2010), a escolha das espécies deve ser baseada na disponibilidade de mudas e das sementes de viveiros próximos, sendo ainda indicada a adubação para potencializar a eficiência da recomposição vegetacional, bem como o coroamento de 0,3 metros no entorno de cada muda. Já Jan (2015) e MMA (2018), indicam que para que seja limitado o reaparecimento de espécies exóticas invasoras, é necessário que seja inibido o alto potencial colonizador a partir de queimas controladas ou do pelo uso de herbicidas de forma moderada.

Sobre os sistemas de drenagem pluviais, FEAM (2010) indica que os mesmos devem ser implementados em todo terreno, de modo a inferiorizar os potenciais danos provocados pela ação da água das chuvas. Além disso, é recomendado que os tubos de drenagem sejam instalados em pontos estratégicos, para que assim impulsionem o fluxo de água ao sistema de drenagem principal. Em relação ao cinturão verde, CETESB (2017) orienta que estas possuam de 5 a 10 metros de altura, e sejam compostas por arbustos e árvores que alcancem o grande porte.

Para os drenos de gases FEAM (2010) e Nogueira (2015) especificam que os drenos de gases devem ser dispostos a partir de perfurações verticais com cerca de 1,0 metro de diâmetro para realizar a drenagem do biogás, contendo tubos de concreto perfurado, cuja lateral deve ser preenchida com brita de nº4 e que o layout das tubulações deve manter distâncias mínimas de 30 metros em relação as outras.

Para atendimento ao critério de proximidades de núcleos populacionais, que pode ser realizado por meio do impedimento de instalação de moradias e programas de educação ambiental, Possamai et al. (2007) informa que cabe integralmente a gestão municipal fiscalizar o entorno e desabitar moradias fixadas dentre este perímetro, bem como, a população deve ser conscientizada em relação aos riscos impostos pela sua resistência.

Demais técnicas demandas, embora em menor grau, devem ser consideradas nos dos PRADs que se encontram em andamento para se tornarem eficientes à mitigação ambiental.

## Comentários finais

Com base na pesquisa documental realizada foram identificadas 192 ADDIRSU no estado do Espírito Santo, das quais 70% são áreas de lixões desativados, entretanto foi verificado que em 14% das áreas ainda estão em operação e em 5% ainda existe a catação de materiais recicláveis, em 98% estão inseridas parcialmente em áreas de preservação permanente e em 35% existem captações em corpos hídricos ou em poços artesianos, o que pode resultar em problemas de saúde pública.

A partir de diversos estudos nacionais e internacionais foram estabelecidos aspectos e critérios ambientais capazes de qualificar as ADDIRSU. Entretanto, devido à falta de informações detalhadas de algumas áreas a metodologia proposta só foi possível de ser aplicada em 32 ADDIRSU. Como resultado obteve-se que os critérios presença de portaria, monitoramento e vigilância, compactação dos resíduos, drenagem e tratamento do lixiviado, monitoramento das águas subterrâneas e monitoramento geotécnico são as variáveis mais críticas para o Espírito Santo.

A partir da avaliação dos critérios selecionados foi possível avaliar a melhor técnica a ser adotada para mitigação dos impactos ambientais decorrentes da disposição inadequadas de resíduos sólidos. Assim, foi verificado que ações como isolamento das áreas, controle de acesso, compactação do solo, instalação de placas e sistemas de drenagem e tratamento de lixiviado, remediação do solo e monitoramento das águas subterrâneas e do comportamento dos maciços são necessárias em todas as áreas avaliadas. Com destaque também para ações de retaludar as áreas e assegurar critérios de proteção vegetal que foram avaliadas como ausentes em 97% das ADDIRSU.

Conclui-se com os resultados desta pesquisa que a partir da adoção de critérios ambientais, precedida do diagnóstico detalhado das ADDIRSU, é possível auxiliar o processo de decisão dos gestores para escolha da técnica de mitigação mais viável para cada situação.

## Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio recebido.

## Referências Bibliográficas

- Abdel-Shafy, H. I. Mansour, M. S. M., 2018. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian journal of petroleum*, 2018, pp. 1276-1290.
- Ali, S. M. Pervaiz, A. Afzal, B. Hamid, N. Yasmin, A., 2014. Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city. *Journal of King Saud University-Science*, 2014, pp. 59-65.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR. 13896, 1997. Aterros de resíduos não perigosos-critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- Azevedo, P. B. Leite. J. C. A. Oliveira, W. S. N. Silva, F. M. Ferreira, P. M. L., 2015. Diagnóstico da degradação ambiental na área do lixão de Pombal-PB. *Revista Verde*, 2015, pp. 20-34.
- Beli, E. Naldoni, C. E. P. Oliveira, A. C. Sales, M. Siqueira, M. Medeiros, G. A. Reis, F. A. G. V., 2005. Recuperação da área degradada pelo lixão areia branca de Espírito Santo do Pinhal-SP. *Engenharia Ambiental*, São Paulo, 2005, pp. 135-138.
- Betio, M. M. Santos, M. M., 2016. Contaminação das águas subterrâneas por lixões desativados: avaliação da antiga área de disposição final de resíduos sólidos de Rolândia-PR, *Águas Subterrâneas*, 2016, pp.1-20.
- Brasil, 2011. Instrução Normativa NR 04/11 – parágrafo 2º - IBAMA. Disponível em: <<http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Instrucao-Normativa-IBAMA-04-de-13-04-2011.pdf>> Acesso em: 27 set. 2019.
- Brasil. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 03 ago. 2010c. Seção 1, 2010, pp. 1 – 7.
- Brasil. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, Seção 1, 2005, pp. 58-63.
- Companhia Técnica de Saneamento Ambiental (Cetesb), 2017. Procedimentos para Implantação de Aterro Sanitário em Valas, São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br>>. Acesso: 02 jun. 2019.
- Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre), 2010. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado, Editora CEMPRE, São Paulo, 2010.
- Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam), 2008. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Minas Gerais, 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>>. Acesso em: 03 jul. 2018.
- Cruvinel, V. R. N. Marques, C. P. Cardoso, V. Carvalho, M. R. Novaes, G. Araújo, W. N. Anugulo-Tuesta, A. Escalda, P. M. F. Galato, D. Brito, P. Silva, E. N., 2019. Health conditions and occupational risks in a novel group: waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. *BMC public health*, 2019, pp 9. 581.
- Dasgupta, B. Yadav, V. L. Mondal, M. K., 2013. Seasonal characterization and present status of municipal solid waste (MSW) management in Varanasi, India. *Advances in environmental research*, 2013, pp. 51-60.

Espírito Santo (Estado). Lei nº 9.264, de 15 de julho de 2009. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências correlatas. Diário Oficial [do] Estado do Espírito Santo, Vitória, 16 de jul. 2009. Seção Poder Executivo, p. 1 – 11.

Espírito Santo [Estado]. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo. 2019. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Vitória, 2019.

Fundação Estadual Do Meio Ambiente (FEAM), 2010. Áreas Contaminadas Por Resíduos Sólidos. Minas Gerais, 2010. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/2016/AREAS\\_CONTAMINADAS/INVENT%C3%81RIO\\_2016.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2016/AREAS_CONTAMINADAS/INVENT%C3%81RIO_2016.pdf)> Acesso em: 03 jul. 2018.

Gomes, L. P. Martins, F. B., 2003. Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro, 2003, pp.51-105.

Gonçalves, C. V. Malafaia, G. Silva Castro, A. L. Veiga, B. G. A., 2013. A vida no lixo: um estudo de caso sobre os catadores de materiais recicláveis no município de Ipameri GO. Holos, 2013, pp. 238-250.

Gunther, W.M.R. Grimberg, E., 2006. Directrices para la Gestion Integrada y Sostenible de Residuos Solidos Urbanos en America Latina y el Caribe. AIDIS/IDRC, São Paulo, 2006, pp. 1–118.

Joseph, K. Nagendran, R. Palanivelu, K. Thanasekaran, K. Visvanathan, C., 2004. Dumpsite Rehabilitation and Landfill Mining. CES, Anna University, 2004, pp. 600-625.

Kharat, M. G. Murthy, S. Kamble, S. J. Raut, R. D. Kamble, S. S. Kharat, M. G., 2019. Fuzzy multi-criteria decision analysis for environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection. Technology in Society, 2019, pp. 20-29.

Kumar, A. Samadder, S. R., 2017. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. Waste Management, 2017, pp. 407-422.

Kumar, S. Smith, S. R. Fowler, G. Velis, C. Kumar, S. J. Arya, S. Cheeseman, C., 2017. Challenges and opportunities associated with waste management in India. Royal society open science, 2017, pp. 2-11.

Lanza, V. C. V. Carvalho, A. L., 2006. Orientações básicas para a operação de aterro sanitário. Fundação do Meio Ambiente (FEAM), Belo Horizonte-Minas Gerais, 2006.

Law, H. J. Ross, D. E., 2019. International Solid Waste Association's "closing dumpsites" initiative: status of progress. International Solid Waste Association (IWA), 2019, pp. 556-558.

Lessa, A. C. V., 2017. Caracterização Do Chorume Do Centro De Gerenciamento De Resíduos De Sergipe. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Saneamento Ambiental, Instituto Federal de Sergipe, Aracajú, 2017.

Lima, P. D. M. Colvero, D. A. Gomes, A. P. Wenzel, H., Schalch, V. Cimpan, C., 2018. Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. Waste management, 2018, pp. 857-870.

Mönkäre, T. Palmroth, M. R. Sormunen, K. Rintala, J., 2019. Scaling up the treatment of the fine fraction from landfill mining: Mass balance and cost structure. Waste management, 2019, pp. 464-471.

Mou, Z. Scheutz, C. Kjeldsen, P., 2014. Evaluating the biochemical methane potential (BMP) of low-organic waste at Danish landfills. Waste management, 2014, pp. 2251-2259.

Nicoleite, E. Overbeck, G. E. Müller, S. C., 2017. Degradation by coal mining should be priority in restoration planning. Perspectives in ecology and conservation, 2017, pp. 202-205.

Nogueira, I. A., 2015. Recuperação De Lixões: proposta de metodologia de apoio à tomada de decisão. 2015. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia da UFJF, Juiz de Fora, 2015.

Pinto, L. V. A. Silva, S., Resende, L. Oliveira, T., 2010. Seleção de espécies para recuperação de áreas de lixão. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2010, pp. 1-5.

Possamai, F. P. Viana, E. Schulz, H. E. Costa, M. M. D., 2007. Casagrande, E. Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Ciência & Saúde Coletiva, 2007, pp. 171-179.

Ramos, N. F., 2016. Proposição de metodologia para apoio à decisão para a recuperação de Área Degradada Por Disposição Irregular De Resíduos Sólidos Urbanos. 247 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambienta, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

Reale, R. Ribas, L. C. Borsato, R. Magro, T. C.; Voigtlaender, M., 2016. The life certification methodology as a diagnostic tool of the environmental management system of the automotive industry. Environmental Science & Policy, 2016, pp. 101-

111.

Romeiro, C. E. Souza, C. E., 2014. Discussões Sobre A Recuperação De Áreas Degradadas Por Resíduos Sólidos Urbanos. I Simpósio Mineiro de Geografia, 2014, pp. 1-17.

Salviano, T. H., 2016. Projeto informacional de um mecanismo para ajustar automaticamente a bitola das esteiras de um trator. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, 2016.

Scarlat, N., Motola, V., Dallema nd, J., Monforti-Ferrario, F., Mofor, L., 2015. Evaluation of energy potential of municipal solid waste from African urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, pp. 1269-1286.

Setta, B. R. S., 2016. Análise preliminar da degradação ambiental na área do lixão do município de Volta Redonda-RJ. *Anais do 5º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade*, 2016, pp. 212-220.

Soltani, A. Sadiq, R. Hewage, K., 2016. Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. *Waste Management*, 2016, pp. 318-328.

Srivastava, R. Krishna, V. Sonkar, I., 2014. Characterization and management of municipal solid waste: a case study of Varanasi city, India. *Int. J. Curr. Res. Acad*, 2014, pp. 10-16.

Subramanian, N; Ramanathan, R., 2012. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 2012, pp. 215-241.

Vargas, R., 2010. Utilizando a Programação Multicritério (AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio. *PMI Global Congress*, 2010, pp.1-22.

Vilhena, A., 2010. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 3º. Ed. São Paulo: CEMPRE, 2010.

Ye, J. Chen, X. Chen, C. Bate, B., 2019. Emerging sustainable technologies for remediation of soils and groundwater in a municipal solid waste landfill site--A review. *Chemosphere*, 2019, pp. 681-702, 2019.