ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Subjectivity reduction in the MSW disposal areas classification through a new index applying Hierarchical Process Analysis: Quality Index of Irregular MSW Disposal Areas – IQUADI

Gustavo Aiex Lopes¹, Amarildo da Cruz Fernandes², Estevão Freire³

¹ Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Escola Politécnica, CEP: 21.941-909, Ilha do Fundão - Centro de Tecnologia - Bloco A, 2º andar - sala DAPG, Cidade Universitária (RJ), Brasil, Tel.: (+55 21) 99861-3612, gustavaoaiex@poli.ufrj.br (corresponding author). ² Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Escola Politécnica, CEP: 21.941-909, Ilha do Fundão - Centro de Tecnologia - Bloco A, 2º andar - sala DAPG, Cidade Universitária (RJ), Brasil, Tel.: (+55 21) 3938-7676, amarildo@poli.ufrj.br. ³ Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Escola Politécnica, CEP: 21.941-909, Ilha do Fundão - Centro de Tecnologia - Bloco A, 2º andar - sala DAPG, Cidade Universitária (RJ), Brasil, Tel.: (+55 21) 3938-7676, estevao@eq.ufrj.br.

Artigo recebido em 07/03/2021 e aceito em 23/08/2021

ABSTRACT

The new legal framework publication for basic sanitation in Brazil in July 2020 defined new imminent deadlines for the closure of the 3326 “dumps” and controlled landfills in the national territory. The importance of the end of activities or the adequacy of MSW irregular disposal areas is essential for the elimination / reduction of contamination of environmental compartments. With the financial difficulties and the subjectivity of the quality assessment indexes of disposal areas - IQR (CETESB) and IQDR (INEA), little has been accomplished by municipal managers in these areas. In order to overcome the subjectivity in the use of these indices and direct effective actions, this work proposes a new Quality Index for MSW Irregular Disposal Areas (IQUADI), based on the Analytic Hierarchy Process (AHP), defining specific intervals for the selected criteria from a bibliographic and documentary survey. The final results show those responsible for environmental liabilities whether activities in the area will be closed or will continue and what measures must be performed. Legal differences have been identified in the limits usually used and new values were proposed for the criteria that compose IQUADI. The comparative application (case study) of IQUADI and IQR in the controlled landfill of Volta Redonda allowed us to conclude that the IQR presents 58% subjectivity for the selection of the weights of each criterion, in contrast to the IQUADI which presented specific values for each interval selected integral to the criterion.

Keywords: municipal solid waste, closure, quality index, analytical hierarchy process.

Redução da subjetividade na classificação de áreas de disposição de RSU através de um novo índice aplicando Análise Hierárquica de Processo: Índice de Qualidade de Áreas de Disposição Irregular de RSU – IQUADI

RESUMO

A publicação do novo marco legal do saneamento básico no Brasil em julho de 2020 definiu novos prazos iminentes para encerramento dos 3326 “lixões” e aterros controlados no território nacional. A importância do fim das atividades ou a adequação das áreas de disposição irregular de RSU é primordial para a eliminação/redução da contaminação dos compartimentos ambientais. Com as dificuldades financeiras e índices de avaliação de qualidade de áreas de disposição subjetivos – IQR (CETESB) e IQDR (INEA) pouco foi feito pelos gestores municipais nessas áreas. A fim de superar a subjetividade na utilização desses índices e direcionar ações efetivas, este trabalho propõe um novo Índice de Qualidade de Áreas de Disposição Irregular de RSU (IQUADI), baseada na Análise Hierárquica de Processo (AHP), definindo-se intervalos específicos para os critérios selecionados a partir de levantamento bibliográfico e documental. Os resultados finais mostram aos responsáveis pelos passivos ambientais se as atividades na área serão encerradas ou continuarão e quais medidas deverão ser adotadas. Verificaram-se divergências legais nos limites usualmente utilizados e novos valores foram propostos para os critérios componentes do IQUADI. A aplicação comparativa (estudo de caso) do IQUADI e do IQR no aterro controlado de Volta Redonda permitiu concluir que o IQR apresenta 58% de subjetividade para a seleção dos pesos de cada critério, ao contrário do IQUADI que apresentou valores específicos para cada intervalo selecionado integrante dos critérios.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, encerramento, índice de qualidade, análise hierárquica de processo.

Introdução

Os padrões de consumo *per capita* de bens duráveis e não duráveis refletidos pelo aumento populacional, pela intensificação da urbanização e pela globalização influenciam diretamente os sistemas de produção e consequentemente pressionam as soluções de tratamento de resíduos e rejeitos, gerando impactos ambientais negativos e riscos à saúde pública sem a correta gestão e evidenciando os passivos ambientais em áreas irregulares sem o adequado gerenciamento (Han et al., 2020; Vinti et al., 2021).

A gestão de RSU depende principalmente de planos estruturados e investimentos, que são questões complicadas e de difícil aplicabilidade nos países em desenvolvimento, mas precisam ser debatidas e aprimoradas no contexto de soluções sustentáveis locais (*e.g.* reciclagem) e de resolução de passivos ambientais de áreas irregulares e contaminadas (*i.e.* aterros controlados e “lixões”), pois apresentam elevado potencial de impacto ambiental negativo nos compartimentos ambientais (Mosina et al., 2020; Ferronato, 2021).

O aterro sanitário, que é uma estrutura construída que utiliza princípios técnicos de engenharia para contenção *in situ* de resíduos e rejeitos e para tratamento dos contaminantes gerados nos processos internos, mantém-se como a opção mais comum e barata para disposição final, no entanto, o percentual do total gerado disposto em aterros sanitários nos últimos anos se manteve praticamente inalterado no Brasil (2012 – 58%; 2016 – 58,3%; 2014 – 58,4%; 2018 – 59,5%) (ABRELPE, 2015, 2016, 2019; González-Arqueros et al., 2021).

Visualiza-se claramente que a evolução da gestão desse setor é bastante lenta, identificada também pelo percentual de resíduos coletados em 2018 e que foram destinados para “lixões” - 17,5%, e destinados para aterros controlados - 23%, que do ponto de vista ambiental, pouco se diferenciam dos próprios “lixões”. Ainda de acordo com a ABRELPE (2019) existem 3326 “lixões” no Brasil e os passivos ambientais relacionados às áreas de disposição são: em escala local, contaminação do solo, das águas superficiais e das águas subterrâneas, e em escala global, emissão de gases do efeito estufa (metano e dióxido de carbono) (ABRELPE, 2019; Marques et al., 2021; Palermo et al., 2020).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, publicada em 2010, teve a intenção de encerrar as atividades de disposição a céu aberto

(“lixão”) e a disposição em aterros controlados estabelecendo o prazo de 2014. Entretanto, devido a diversos fatores (principalmente financeiro), os gestores municipais não conseguiram atender à determinação, o que proporcionou a constante prorrogação até a promulgação da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 em que os prazos foram divididos de acordo com o tamanho da população, por regiões geográficas e pela existência de planos de gestão de RSU. A data mais iminente para encerramento das atividades foi 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana ou de Região Integrada de Desenvolvimento de capitais (BRASIL, 2020).

Considerando que os passivos ambientais precisam de solução definitiva devido aos prazos impostos pela legislação, torna-se necessário o diagnóstico e prognóstico das áreas de disposição de RSU, sendo que esse procedimento pode ser realizado por meio de índices e avaliações de desempenho, pois estes sintetizam uma grande quantidade de variáveis em uma única expressão, valor ou categoria, o que facilita a tomada de decisão dos atores envolvidos (Pessoa et al., 2020).

Apesar da existência de ferramentas e índices de qualidade consolidados na literatura e utilizados por órgãos ambientais estaduais, o levantamento feito por Cunha e colaboradores em 26 aterros sanitários e controlados no estado do Rio de Janeiro utilizando o Índice de Qualidade de Destinação Final de Resíduos (IQDR) do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) que tem suas bases (indicadores ou critérios) no Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) mostrou que as ações são direcionadas apenas para estratégias e desenvolvimento de políticas públicas e para o enquadramento das áreas (Da Cunha et al., 2020).

A classificação dessas áreas em adequadas ou inadequadas através de pontuação determinada pela avaliação dos parâmetros existentes possuem elevada subjetividade na seleção da avaliação do critério que é relacionado ao peso escolhido pelo avaliador. Poucos são os critérios que indicam em sua avaliação valores específicos que necessitem de informações técnicas e medidas baseadas em referenciais metodológicos para sua determinação. O uso de índices auxilia os processos de tomada de decisão, no entanto, a sua utilização baseada nos critérios com escolha condicionada a subjetividade

e não a intervalos numéricos relacionados a critérios técnicos e operacionais dificulta a resolução de passivos ambientais em áreas de disposição irregular de RSU.

Nesse sentido, o grande desafio do setor é a busca de ferramentas apropriadas para análise das características dos sítios de disposição final baseadas em intervalos mensuráveis para os critérios existentes e que possam indicar ações pontuais de mudança para adaptações às tendências e à legislação. Portanto para contribuir com o aperfeiçoamento dessas ferramentas, esse trabalho propõe um novo índice de qualidade relacionado à caracterização das áreas irregulares de disposição de RSU (“lixões” e aterros controlados) desenvolvido através da identificação de intervalos estabelecidos para os critérios com valores específicos determinados através de metodologias específicas e passíveis de interpretação dos erros intrínsecos ao processo metodológico e não a subjetividade da escolha para cada critério avaliado.

Métodos

O referencial teórico deste trabalho foi realizado por meio de levantamento bibliográfico, documental e verificação *in situ* no Aterro Controlado de Volta Redonda – RJ, que permitiu estabelecer a prioridade na seleção dos novos critérios que são utilizados pelos índices tradicionais.

A partir da estrutura do IQR (CETESB), em que são definidos 41 indicadores agrupados por semelhança de acordo com suas características, foi realizada a comparação com os indicadores apresentados no Manual de Reabilitação de “Lixões” desenvolvido para a gestão de resíduos da Ásia (Kurian et al., 2005). Esse manual apresenta uma ferramenta de tomada de decisão estabelecendo ações diretas na área de disposição irregular de RSU.

Depois de tabelados, os critérios selecionados para composição do Índice de Qualidade de Áreas de Disposição Irregular de RSU – IQUADI - foram desagregados e posteriormente agregados entre as novas categorias, obtendo-se a priorização através da comparação par a par utilizando o método Análise Hierárquica de Processo – AHP. Calculou-se o autovvalor máximo por meio da multiplicação da matriz original pelo auto vetor máximo identificando a Razão de Consistência (CR –

Consistency Ratio) que considera um erro aleatório relacionado com a ordem da matriz, dado pelo Índice de Consistência Aleatória (RI – *Random Consistency Index*) para determinação da consistência do processo (Aguarón et al., 2020).

Os intervalos finais definidos para orientar o responsável pela resolução de passivos ambientais foram determinados seguindo as seguintes diretrizes:

1 – Definição de novas categorias compostas por novos critérios;

2 - atribuição de valor ($q = 1, 2, 3$ ou 4) para cada critério relacionado às suas características específicas e passíveis de mensuração. As justificativas para os valores (q) dos intervalos foram determinadas de acordo com as referências legais e o potencial de impacto de cada valor q . A quantidade de intervalos (quatro) foi definida de acordo com o tipo de ação que o responsável pela resolução de passivos ambientais deverá escolher (encerramento ou prosseguimento das atividades e as ações intermediárias).

3 – O valor (q) escolhido como representante do critério foi elevado ao peso determinado na AHP para o critério analisado. Esse procedimento foi realizado para todos os valores ($q = 1, 2, 3$ e 4) de todos os critérios da respectiva categoria. Os valores intermediários determinados foram multiplicados entre si para cada critério da categoria de valor semelhante ($1, 2, 3$ e 4). Por fim foi realizada a divisão entre os valores obtidos e o maior valor obtido, determinando-se o intervalo não normalizado. Para padronizar o intervalo entre zero e um foi inserido o fator de normalização que é o maior valor obtido no último procedimento. As faixas de intervalo foram transformadas de um - quatro para zero - um. Quando o valor q ($1, 2, 3$, e 4) é escolhido para o indicador analisado ele mantém a escolha do intervalo e depois da transformação para os intervalos finais do IQUADI ($>0-0,2952$; $0,2952-0,503$; $>0,503 - 0,751$; $>0,751 - 1$) a escolha se mantém.

4- Introdução do valor de exclusão (ve): caso atenda à legislação o valor de exclusão ($ve = 1$), caso não atenda à legislação ou o impacto ambiental seja muito representativo ($ve = 0$). O valor de exclusão igual a zero, indica de forma direta se a atividade de disposição deve ser encerrada ou não. Quando não se aplica o critério para a área, utiliza-se q igual a um e ve igual a um. As equações (Equações 1 a 6 – IQUADI₁₋₆) do novo índice foram divididas entre as categorias para facilitar a identificação das ações na área final

de disposição irregular de RSU. A equação final para o IQUADI é a média aritmética simples dos valores determinados para os IQUADI₁₋₆.

Resultados e discussão

As novas categorias determinadas para o IQUADI foram: 1- Distâncias; 2- Características físicas da área; 3- Características geológicas – geotécnicas – geomorfológicas - climatológicas; 4- Índice de qualidade e características dos RSU; 5- Estruturas e procedimentos; e, 6- Sistemas e dispositivos de controle.

Através destas categorias, foi estabelecida a ordem de prioridade para os critérios aplicando a AHP. Os resultados parciais para determinação do IQUADI são listados parcialmente devido a grande quantidade de informações, mas a classificação final e suas informações são apresentadas de forma completa nesta seção. Por meio da análise da tabela comparativa e das referências identificadas, a 1ª categoria foi agrupada de acordo com as distâncias legais existentes, conforme indicado na Tabela S1 (Material suplementar: Tabela S1-Tabela S6 apresentam os dados para as demais categorias).

Tabela S1: Atributos para a categoria “Distâncias” para o IQUADI

ATRIBUTOS NA ÁSIA	ATRIBUTOS NO BRASIL	NOVOS ATRIBUTOS	OBSERVAÇÕES
Distância de fonte de suprimento de água		Distância a rios perenes e intermitentes	> 500 metros - qualquer que seja sua situação topográfica
	Proximidade de corpos de água; Restrições legais ao uso do solo; Proximidade de núcleos populacionais.	Distância a lagos e lagoas naturais	> 500 metros - qualquer que seja sua situação topográfica
Distância para habitats críticos como áreas úmidas e reservas florestais		Distância a reservatório d'água artificial	> 200 metros - qualquer que seja sua situação topográfica
...	...	...	...

Legenda: O símbolo “...” indica a continuidade da tabela. Devido à grande quantidade de informações, algumas foram suprimidas, ficando apenas um recorte (Material suplementar: Tabela S1).

Aplicou-se a Análise Hierárquica de Processo para identificação dos pesos para os critérios das novas categorias. As matrizes de comparação pareada foram desenvolvidas para todos os critérios. Essa fase consiste na atribuição de valor de importância de um critério em relação a outro. Após o desenvolvimento da matriz de

comparação pareada, fez-se a normalização da matriz, obtendo-se a ordem de prioridade, conforme a Tabela T1. O procedimento apresentado foi aplicado para todas as categorias que fazem parte do IQUADI e são apresentados no Material suplementar – Tabela T1 – Tabela T6.

Tabela T1: Matriz Normalizada dos critérios da categoria “Distância”.

n	CRITÉRIO	COMENTÁRIO	PESO
1	Corpos de água superficiais naturais	> 500 metros - rios (perenes e intermitentes), lagos e lagoas naturais, nascentes e olhos d'água, restingas, mangues e veredas.	35,0%
2	Reservatório d'água artificial	> 200 metros	10,7%
3	Bordas de tabuleiros e chapadas	> 300 metros	7,7%
4	Área de segurança aeroportuária	> 20km	1,5%
5	Unidades de Conservação	> 10 km - UC's e reserva legal.	9,2%
6	Aglomerado populacional e Áreas verdes	> 2km - áreas verdes urbanas, corredores ecológicos e aglomerados populacionais	17,0%
7	Zonas de falhas	> 200 metros	11,3%

Os critérios foram agrupados de acordo com a semelhança nas distâncias para reduzir a quantidade de comparações pareadas até o máximo possível de 10. Os critérios de maiores pesos, ou seja, de maior importância em relação ao impacto

ambiental negativo proporcionado pelas áreas de disposição irregular de RSU são, em ordem decrescente: rios (perenes e intermitentes), lagos e lagoas naturais, nascentes e olhos d'água, restingas, mangues e veredas – 35,0%; áreas verdes urbanas,

corredores ecológicos e aglomerados populacionais – 17,0%; zonas de falhas 11,3%; reservatório d'água artificial – 10,7%; unidades de conservação e reserva legal – 9,2%; bordas de tabuleiros, chapadas, APP e morros e altitudes acima de 1800 metros – 7,7%; e, área de segurança aeroportuária – 1,5%.

A Razão de Consistência (RC = 0,09) encontrada, para números de subcritérios ($n > 4$) mostra a consistência do processo para essa categoria.

Tabela U1: IQUADI

A Tabela U1 apresenta os critérios distribuídos por peso e os seus respectivos valores (q), variando de 1 – 4, e o valor de exclusão (0, 1) para multiplicação final e determinação do encerramento ou prosseguimento da atividade. As

equações do novo índice foram divididas entre as categorias para facilitar a identificação das principais medidas na área para cada critério. A coluna sete da tabela U1 apresenta a aplicação do índice para o aterro controlado de Volta Redonda.

Categorias	CRITÉRIOS	PESO	INTERVALOS	q	ve	VALORES ESCOLHIDOS PARA CÁLCULO DO IQUADI PARA O ATERRO CONTROLADO DE VR - RJ.
Distâncias	Rios perenes e intermitentes; lagos e lagoas naturais; nascentes e olhos d'água perenes; restingas; manguezais; veredas.	35,0%	< 500 500- 700 700- 900 > 900	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 1 ve = 0 Obs. distância = 475,35 metros - Ribeirão Brandão Mapa Região Hidrográfica III – Volta Redonda.
	Aglomerados populacionais; áreas verdes urbanas e corredores ecológicos	17,0%	< 2 Km 2 Km – 5 Km 5 Km – 10 Km > 10 Km	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 1 ve = 0 Obs. distância = 1,3 km - aglomerado populacional = 1,3 km. Mapa de uso do solo.
	Zonas de falhas	11,3%	< 200 m 200 – 400 m 400 m – 600 m > 600 m	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 4 ve = 1 Obs.: Mapa geológico.
	Reservatório d'água artificial	10,7%	< 200 m 200 – 400 m 400 m – 600 m > 600 m	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 4 ve = 1 Obs. Atlas dos mananciais de abastecimento público do estado do Rio de Janeiro. Mapa Hidrográfico
	Unidades de conservação e reservas legais	9,2%	< 10 Km 10 Km – 15 Km 15 Km – 20 Km > 20 Km	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 1 ve = 0 Obs. distância = 1,61 km - Parque Natural Municipal de Volta Redonda. Medido.
	Bordas de tabuleiros e chapadas	7,7%	< 300 m 300 – 600 m 600 m – 900 m > 900 m	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 1 ve = 1 Obs. Não se aplica para a região. Mapa geomorfológico
	Áreas de segurança aeroportuária	1,5%	< 20 Km 20 Km – 25 Km 25 Km – 30 Km > 30 Km	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 4 ve = 1 Obs. Distância = 8,28 km – aeroporto inativo. Não se aplica, logo: q = 1; ve = 1
	$IQUADI_i = \left(\prod_1^n (q^{peso}) \right) \times \left(\prod_1^n ve \right) \times \frac{1}{\alpha}$			$IQUADI_i = (1/3,600007719) \times (1^{0,35} \times 1^{0,17} \times 4^{0,113} \times 4^{0,107} \times 1^{0,092} \times 4^{0,077} \times 4^{0,015}) \times (0 \times 0 \times 1 \times 1 \times 0 \times 1 \times 1);$		
	$IQUADI_i = [(1/\alpha) \times (q^{0,35} \times q^{0,17} \times q^{0,113} \times q^{0,107} \times q^{0,092} \times q^{0,077} \times q^{0,015})] \times (ve);$			$IQUADI_i = (0,277) \times (1 \times 1 \times 1,69 \times 1,159 \times 1 \times 1 \times 1,021) \times (0)$		
	$IQUADI_i = [(1/\alpha) \times (q^{0,35} \times q^{0,17} \times q^{0,113} \times q^{0,107} \times q^{0,092} \times q^{0,077} \times q^{0,015})] \times (ve);$			$IQUADI_i = (0,277) \times (1,385109) \times (0)$		
	$(ve); \alpha = 3,600007719 \text{ (fator de normalização que garante a soma igual a um). Quando não se aplica o critério para a área utilizar } q=1 \text{ e } ve=1.$			$IQUADI_i = (0,38) \times (0)$		
				$IQUADI_i = 0$		
Características físicas da	Altura da camada de RSU acima ou abaixo da superfície.	19,7%	> 9 m	1	1	q = 4
			6,01 – 9 m	2		ve = 1
			3,01 – 6 m	3		Obs. Calculado através do Modelo Digital de Terreno (MDT) desenvolvido para a área.
			0 – 3 m	4		

	Área do maciço	19,0%	> 50.000 m ² 10.000 m ² – 50.000m ² 1.001 m ² – 10.000m ² 0 – 1.000 m ²	1 2 3 4	1	q = 2 ve = 1 Obs. Calculado através do MDT.
	Idade de preenchimento	18,5%	0 – 5 anos 6 – 15 anos 16 – 25 anos > 25 anos	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Ano de abertura = 1987. Verificação documental
	Quantidade de RSU dispostos.	12,7%	> 182.500 ton 146.00 – 182.500 ton 109.501 – 146.000 ton 0 – 109.500 ton	1 2 3 4	1	q = 4 ve = 1 Obs. Calculado através do MDT. Peso total de RSU depositados = 361.343,353 ton
	Espessura da camada de cobertura final superior	11,6%	Sem cobertura 10 – 20 cm 20,01 – 50 cm > 50 cm	1 2 3 4	1	q = 4 ve = 1 Obs. Espessura da camada na área = 0,53 cm (calculado através do MDT).
	Espessura da camada oxidativa na cobertura superior	6,2%	Sem cobertura 0,5 – 20 cm 20,01 – 40 cm 40,01 – 60 cm	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Não existe camada oxidativa. Verificação documental.
	Existência de geossintéticos na camada superior	4,5%	Inexistente Parcial – (< 50% da área) Parcial + (≥ 50% da área) Existente (100% da área)	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Não existe geossintéticos. Verificação documental.
	Homogeneidade da cobertura : Cu = D ₆₀ x D ₁₀ ⁻¹ (D = diâmetro efetivo); (Cu > 5 apresenta maior resistência, compressibilidade e permeabilidade)	3,8%	Resíduos e rejeitos Solos uniformes: Cu ≤ 5 Solos mediamente uniformes: 5 < Cu < 15 Solos desuniformes: Cu ≥ 15	1 2 3 4	1	q = 3 ve = 1 Cu = (D ₆₀ /D ₁₀) Obs. Diâmetro do solo: 5 < Cu < 15. Características físicas do solo.
	Proteção vegetal acima do solo de cobertura superior (modelo de facilitação)	2,0%	Inexistente Parcial – (< 50% da área) Parcial + (≥ 50% da área) Existente (100% da área)	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Ortofotorretificada desenvolvida para a área.
	Espessura do solo orgânico superior	1,9%	Sem cobertura 0,5 – 10 cm 10,01 – 20 cm > 20 cm	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Verificação documental
	$IQUADI_2 = \left(\prod_1^n (q^{peso}) \right) \times \left(\prod_1^n ve \right) \times \frac{1}{\alpha}$ $IQUADI_2 = [(1/\alpha) \times (q^{0,197} x q^{0,190} x q^{0,185} x q^{0,127} x q^{0,116} x q^{0,062} x q^{0,045} x q^{0,038} x q^{0,02} x q^{0,019})] \times (ve); \alpha = 3,994458664$ (fator de normalização que garante a soma igual a um)					
Características geológicas-geotécnicas-geomorfológicas-climatológicas	Impermeabilização do solo de base	22,0%	- Inexistente - Simples - Composto - Duplos	1 2 3 4	0	q = 1 ve = 0 Obs. Verificação documental e <i>in situ</i> .
	Profundidade do lençol freático	20,1%	0 – 3,0 m 3,1 – 4,5 m 4,6 – 6,0 m > 6,1 m	1 2 3 4	0	q = 2 ve = 1 Obs. profundidade = 3,8 m. Verificação documental.
	Permeabilidade (cm x s ⁻¹)	16,0%	k > 1,0 x 10 ⁻⁴ 1,0 x 10 ⁻⁶ ≤ k ≤ 1,0 x 10 ⁻⁴ 1,0 x 10 ⁻⁷ ≤ k ≤ 1,0 x 10 ⁻⁶ k ≤ 1,0 x 10 ⁻⁷	1 2 3 4	0	q = 3 ve = 1 Obs. k = 4,8 x 10 ⁻⁶ Verificação documental
	$IQUADI_2 = (1/3,600007719) \times (4^{0,197} \times 2^{0,190} \times 1^{0,185} \times 4^{0,127} \times 4^{0,116} \times 1^{0,062} \times 1^{0,045} \times 3^{0,038} \times 1^{0,02} \times 1^{0,019}) \times (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1);$ $IQUADI_2 = (0,250347) \times (1,314 \times 1,140 \times 1 \times 1,1925 \times 1,1744 \times 1 \times 1 \times 1,0426 \times 1 \times 1) \times (1)$ $IQUADI_2 = (0,250347) \times (2,188934) \times (1)$ $IQUADI_2 = (0,38) \times (1)$ $IQUADI_2 = 0,547993$					

Índice de Qualidade e características dos RSU	Tipo de solo de base	13,8%	Pedregulhos ou cascalho	1	0	q = 3
			Areia (grossa, média ou fina)	2	0	ve = 1
			Siltes	3	1	Obs. Características físicas do solo.
			Argilas	4	1	
	Afloramento superficial de lixiviado	6,9%	Existente (80% - 100% da área)	1	1	q = 3
			Parcial + (50% - 80% da área)	2		ve = 1
			Parcial – (< 50% da área)	3		Obs. Verificação in situ e MDT Hidrologicamente Consistido – Acúmulo de escoamento.
			Inexistente	4		
	Precipitação anual média	5,2%	> 1000 mm x ano ⁻¹	1	1	q = 1
			500 – 1000 mm x ano ⁻¹	2		ve = 1
			250 – 500 mm x ano ⁻¹	3		Obs. Estação operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) Código: 2244041
			< 250 mm x ano ⁻¹	4		
	Dinâmica superficial	4,7%	- Sulcos e ravinas;	1	1	q =3
			- Laminar;	2		ve = 1
			- Trincas (retração por secagem, transversais, longitudinais);	3		Obs. Verificação <i>in situ</i> e MDT Hidrologicamente Consistido – Rede de drenagem Inferida.
			- Inexistente;	4		
	Declividade	4,6%	> 30%	1	0	q =4
			11% - 30%	2	1	ve = 1
			8% - 10%	3	1	Obs. Mapa de declividade desenvolvido através do MDT.
			2% - 7%	4	1	
	Instabilidade das inclinações laterais (RSU ou construído) – deslocamento horizontal (H) e vertical (V).	4,6%	Alto: > 20 cm H; > 10 cm V (semanal)	1	0	q =4
			Médio: 5-20 cm H; 2-10 cmV (quinzenal)	2	1	Obs. Verificação documental
			Baixo: 3-5 cmH; 1-2 cmV (mensal)	3	1	
			Muito baixo ou inexistente: < 3cmH;<1 cmV (mensal)	4	1	
			Escavabilidade de solo	2,0%	- Rocha dura e muito dura (rocha sã a pouco alterada);	
	- Rocha branda (mais ou menos rígidas com graus de alteração);	2				Obs. Mapa geológico, pedológico e ortofotorretificada.
	- Material brando (solos argilosos e arenosos);	3				
	- Friável e fluente (areias, solos orgânicos e turfas);	4				
	$IQUADI_3 = \left(\prod_1^n (q^{peso}) \right) \times \left(\prod_1^n ve \right) \times \frac{1}{\alpha}$ $IQUADI_3 = [(1/\alpha) \times (q^{0,220} \times q^{0,201} \times q^{0,160} \times q^{0,138} \times q^{0,0690} \times q^{0,052} \times q^{0,047} \times q^{0,0460} \times q^{0,0460} \times q^{0,020})] \times (ve); \alpha = 3,994458664 \text{ (fator de normalização que garante a soma igual a 1)}$ $IQUADI_3 = (1/3,600007719) \times (1^{0,220} \times 2^{0,201} \times 3^{0,160} \times 3^{0,138} \times 3^{0,0690} \times 1^{0,052} \times 3^{0,047} \times 4^{0,0460} \times 4^{0,0460} \times 1^{0,020}) \times (0 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1);$ $IQUADI_3 = (0,250347) \times (1 \times 1,1494 \times 1,1921 \times 1,1637 \times 1,0787 \times 1 \times 1,0529 \times 1,0658 \times 1,0658 \times 1) \times (0)$ $IQUADI_3 = (0,250347) \times (2,0579) \times (0)$ $IQUADI_3 = (0,515189) \times (0)$ $IQUADI_3 = 0$					
	Índice de Qualidade de Águas Subterrâneas (IQAS)	28,1%	IQAS > 5	1	0	q = 2
2 < IQAS ≤ 5			2	0	ve = 0	
1 < IQAS ≤ 2			3	0	Obs. Sem dados para este critério. Considera-se o pior cenário: Para o aterro controlado de VR - água subterrânea impactada pelo lixiviado.	
IQAS ≤ 1			4	1		
Tipos de resíduos e rejeitos	22,0%	Resíduos Classe A	1	0	q = 3	
		Resíduos hospitalares + RSU	2	1	ve = 1	
		Resíduos Classe B (I e II)	3	1	Obs: Verificação documental e <i>in situ</i>	
		Somente RSU.	4	1		
Índice de qualidade de Água do corpo hídrico superficial mais próximo da área (IQA)	19,9%	> 300 (imprópria)	1	0	q = 2	
		100 – 300 (ruim)	2	0	ve = 0	
		50 – 100 (boa)	3	1	Obs. Verificação documental. Análise da qualidade de água do Ribeirão Brandão.	
		< 50 (excelente)	4	1		

Estruturas e procedimentos	Fração biodegradável de resíduos no local (%)	11,3%	> 70 50 – 70 31 – 49 0 – 30	1 2 3 4	1	q = 2 ve = 1 Obs. Considerou-se o valor de 0,5 conforme dados do IPCC para estimativa do biogás.
	Geração média de metano (ton CH ₄ x ano ⁻¹) até o ano de inventário.	9,4%	> 10000 1001 – 10000 101 – 1000 0 – 100	1 2 3 4	1	q = 3 ve = 1 Obs. Estimativa através do modelo de decaimento de primeira ordem do IPCC (Q _{CH₄} = 116,34 ton CH ₄ / ano). Início: 1987 Ano de inventário: 2021
	Umidade dos RSU (%)	6,7%	≥ 70 66 – 70 35 – 65 0 – 34	1 2 3 4	1	q = 3 ve = 1 Obs. Valor médio adotado (60%) para estimativa do biogás.
	Compactação dos RSU (peso específico kN x m ⁻³)	2,7%	2,2 – 4,9 (não compactado) 5,0 – 6,9 (pouco compactado) 7,0 – 9,4 (compactado) ≥ 9,4 (bem compactado)	1 2 3 4	1	q = 3 ve = 1 Obs. Valor médio adotado (7,0 kN x m ⁻³ ou 0,7 ton x m ⁻³)
	$IQUADI_4 = \left(\prod_1^n (q^{peso}) \right) \times \left(\prod_1^n ve \right) \times \frac{1}{\alpha}$ $IQUADI_4 = [(1/\alpha) \times (q^{0,281} \times q^{0,22} \times q^{0,199} \times q^{0,113} \times q^{0,094} \times q^{0,067} \times q^{0,027})] \times (ve) \alpha = 4,005549023 \text{ (fator de normalização que garante a soma igual a 1)}$ $IQUADI_4 = (1/4,005549023) \times (2^{0,281} \times 3^{0,22} \times 2^{0,199} \times 2^{0,113} \times 3^{0,094} \times 3^{0,067} \times 3^{0,027}) \times (0 \times 1 \times 0 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1);$ $IQUADI_4 = (0,2496) \times (1,21 \times 1,27 \times 1,14 \times 1,08 \times 1,10 \times 1,07 \times 1,03) \times (0)$ $IQUADI_4 = (0,2496) \times (2,361436) \times (0)$ $IQUADI_4 = (0,589541) \times (0)$ $IQUADI_4 = 0$					
	Aceitação do público (população total do entorno até 10 km)	36,9%	Não Parcial – (≤ 50%) Parcial + (> 50%) Sim	1 2 3 4	0 1 1 1	q = 4 ve = 1 Obs. Valor adotado devido à baixa densidade demográfica no entorno.
	Inspeção	15,8%	- Sem inspeção - Inspeção na entrada sem dispositivos de separação - Inspeção nas frentes de trabalho - Inspeção na entrada com dispositivos de separação	1 2 3 4	1	q = 2 ve = 1 Obs. Apenas RSU e resíduos hospitalares de acordo com verificação documental.
	Presença de catadores de resíduos	14,2%	≥ 1001 pessoas 101 – 1000 pessoas 1- 100 pessoas 0 pessoa	1 2 3 4	0 0 1 1	q = 4 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	Frente de trabalho no interior da área de disposição	10,4%	Inexistente Parcial – (< 50% da área) Parcial + (≥ 50% da área) Existente	1 2 3 4	1	q = 4 ve = 1 Obs. A atividade foi encerrada em 2012.
	Presença de aves, animais, vetores, odores e queima de RSU	8,1%	Existente (animais + aves + vetores + odores + queima de RSU) Parcial - (animais + aves + vetores + odores) Parcial + (animais + vetores + odores) Inexistente	1 2 3 4	1	q = 4 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	Portaria, vigilância e balança.	6,5%	Não Parcial – (portaria) Parcial + (portaria + vigilância) Sim (Portaria + vigilância + balança.)	1 2 3 4	1	q = 3 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .

Sistemas e dispositivos de controle	Isolamento físico	5,4%	- Sem isolamento - Cerca (arame farpado ou liso) - Cinturão verde + cerca - Cerca + cinturão verde + vala	1 2 3 4	1	q = 2 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	Acesso à área de disposição	2,7%	- Rodovia planejada - Rodovia em leito natural - Rodovia implantada sem pavimentação - Rodovia pavimentada	1 2 3 4	1	q = 2 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	$IQUADI_5 = \left(\prod_1^n (q^{peso}) \right) \times \left(\prod_1^n ve \right) \times \frac{1}{\alpha}$ $IQUADI_5 = [(1/\alpha) \times (q^{0,369} \times q^{0,158} \times q^{0,142} \times q^{0,104} \times q^{0,081} \times q^{0,065} \times q^{0,054} \times q^{0,027})] \times (ve) \quad \alpha = 4,0 \text{ (fator de normalização que garante a soma igual a 1)}$ $IQUADI_5 = (1/4,0) \times (4^{0,369} \times 2^{0,158} \times 4^{0,142} \times 4^{0,104} \times 4^{0,081} \times 3^{0,065} \times 2^{0,054} \times 2^{0,027}) \times (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1);$ $IQUADI_5 = (0,25) \times (1,66 \times 1,115 \times 1,21 \times 1,15 \times 1,11 \times 1,07 \times 1,03 \times 1,01) \times (1)$ $IQUADI_5 = (0,25) \times (3,326540) \times (1)$ $IQUADI_5 = (0,831635) \times (1)$ $IQUADI_5 = 0,831635$					
	Tratamento de lixo	34,2%	Não Parcial - (primário) Parcial + (primário + secundário) Sim (primário + secundário + terciário)	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	Drenagem de lixo	27,1%	Não Parcial - (revestimento inclinado de 2% com material filtrante) Parcial + (geotêxtil + tubulação + revestimento inclinado de 2% com material filtrante) Sim (camada de coleta + geotêxtil + tubulação + revestimento inclinado de 2% com material filtrante)	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	Drenagem de águas pluviais	18,3%	Não Parcial - (sistemas de condução de fluxo) Parcial + (cobertura de captação de água + divisores de água + sistemas de condução de fluxo) Sim (cobertura de captação de água + divisores de água + sistemas de condução de fluxo + dissipadores de energia)	1 2 3 4	1	q = 2 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	Poços de monitoramento	11,4%	Não Parcial - (poços no interior da área sem determinação da direção do fluxo) Parcial + (poços a montante + poços a jusante do fluxo subterrâneo no interior da área) Sim (poços a montante + poços a jusante do fluxo subterrâneo no interior da área e até 2 km dos limites confrontantes)	1 2 3 4	1	q = 1 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .
	Drenagem de gases	9,0%	Não Parcial - (apenas drenos superficiais de alívio + queima) Parcial + (sistema de captação + queima) Sim (sistema de captação + reaproveitamento)	1 2 3 4	1	q = 2 ve = 1 Obs. Verificação <i>in situ</i> .

$$IQUADI_6 = \left(\prod_{i=1}^n (q^{peso}) \right) \times \left(\prod_{i=1}^n ve \right) \times \frac{1}{\alpha}$$

$$IQUADI_6 = [(1/\alpha) \times (q^{0,342} \times q^{0,271} \times q^{0,183} \times q^{0,114} \times q^{0,09})] \times (ve); \alpha = 4,0 \text{ (fator de normalização que garante a soma igual a 1)}$$

$$IQUADI_6 = (1/4,0) \times (1^{0,342} \times 1^{0,271} \times 2^{0,183} \times 1^{0,114} \times 2^{0,09}) \times (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1);$$

$$IQUADI_6 = (0,25) \times (1 \times 1 \times 1,13 \times 1 \times 1,06) \times (1)$$

$$IQUADI_6 = (0,25) \times (1,20) \times (1)$$

$$IQUADI_6 = (0,302079) \times (1)$$

$$IQUADI_6 = 0,302079$$

Através da determinação dos valores (coluna cinco e seis – valor, q e valor de exclusão, ve), e inserção nas equações $IQUADI_{1-6}$, obtêm-se os

valores finais que devem ser inseridos na equação final do índice – Equação 7, para posterior análise de acordo com os intervalos do Quadro V1.

$$IQUADI_{final} = \frac{(IQUADI_1 + IQUADI_2 + IQUADI_3 + IQUADI_4 + IQUADI_5 + IQUADI_6)}{6} \quad (7)$$

Quadro V1. Intervalos e recomendações do IQUADI.

IQUADI - INTERVALOS	AÇÕES RECOMENDADAS
> 0 – 0,2952	Encerramento da atividade e remediação imediata da área.
>0,2952 – 0,503	Encerramento e remediação em etapas.
>0,503 – 0,751	Prosseguimento das atividades até o final da vida útil prevista e calculada e adequação das inconformidades.
>0,752 - 1	Adequação em fases para transformação em aterro sanitário.

De acordo com a Equação 7 apresentada e a determinação dos valores de $IQUADI_{1-6}$ na coluna sete da Tabela U1, obtêm-se o valor final do índice. $IQUADI_{final} = ((0+0,547993+0+0+0,831635+0,302079))/6$

$IQUADI_{final} = 0,2802$

Realizando o enquadramento com base no Quadro V1, o aterro controlado de Volta Redonda está no

intervalo (>0 – 0,2952): **Encerramento da atividade e remediação imediata da área.**

Os valores indicados na coluna “Intervalos” da Tabela U1 para as novas categorias foram baseados nas análises das leis e normas específicas e as discussões são apresentadas no Quadro V1 (Material Suplementar: Quadro V1, continuação).

Quadro V1: Alegação para aplicação de novos intervalos para as categorias que compõe o IQUADI

CATEGORIAS	ALEGAÇÃO PARA NOVOS INTERVALOS
DISTÂNCIAS	
Rios perenes e intermitentes	A distância aplicada de 200 metros confronta a distância mínima determinada pela Lei Nº 12.651/2012 para cursos de água de largura superior a 600 metros, sendo assim, a distância de 500 metros foi estabelecida.
Lagos, lagoas naturais, reservatório d'água artificial, nascentes e olhos d'água perenes	Aplicou-se a distância utilizada para proximidade de corpos de água determinada pela CETESB de 200 metros para reservatório d'água artificial e 500 metros para lagos, lagoas naturais, nascentes e olhos d'água, pois, a distância de 200 metros confronta a distância mínima determinada pela Lei Nº 12.651/2012 para cursos de água de largura superior a 600 metros;
restingas e restingas quando recoberta por vegetação fixadora de dunas ou estabilizadora de mangues	500 metros a partir da linha de preamar máxima, ou seja, 300 metros de Área de Preservação Permanente acrescidos de 200 metros de proteção dos ambientes típicos de restinga (comunidade halófila, vegetação esclerófila, comunidade hidrófila e mata seca);
Manguezais	500 metros devido à distância mínima determinada pela Lei Nº 12.651/2012 para cursos de água de largura superior a 600 metros;
...	...

Legenda: O símbolo “...” indica a continuidade do quadro. Devido à grande quantidade de informações, algumas foram suprimidas, ficando apenas um recorte (Material suplementar: Quadro V1).

A Tabela U2 apresenta a aplicação do IQR desenvolvido pela CETESB e utilizado como

referência para outros estados brasileiros para o aterro controlado de Volta Redonda – RJ.

Tabela U2: Aplicação do IQR – CETESB para o aterro controlado de Volta Redonda.

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
1	CAPACIDADE DE SUPORTE DO SOLO	ADEQUADA	5	5
		INADEQUADA	0	
	PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	LONGE > 500m	5	5
			PRÓXIMO	
	PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	LONGE > 200m	3	0
			PRÓXIMO	
	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO	MAIOR 3m	4	4
		DE 1 A 3m	2	
		DE 0 A 1m	0	
	PERMEABILIDADE DO SOLO	BAIXA	5	2
MÉDIA		2		
ALTA		0		
DISPONIBILIDADE DE MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	SUFICIENTE	4	2	
	INSUFICIENTE	2		
	NENHUMA	0		
QUALIDADE DO MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	BOA	2	0	
	RUIM	0		
CONDIÇÕES DE SISTEMA VIÁRIO, TRÂNSITO E ACESSO	BOAS	3	2	
	REGULARES	2		
	RUINS	0		
ISOLAMENTO VISUAL DA VIZINHANÇA	BOM	4	4	
	RUIM	0		
LEGALIDADE DE LOCALIZAÇÃO	LOCAL PERMITIDO	5	0	
	LOCAL PROIBIDO	0		
SUBTOTAL MÁXIMO			40	24
2	CERCAMENTO DA ÁREA	SIM	2	2
		NÃO	0	
	PORTARIA / GUARITA	SIM	2	2
			NÃO	
	IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE DO ATERRO	SIM / DESNECES	5	0
			NÃO	
	DRENAGEM DE CHORUME	SUFICIENTE	5	1
		INSUFICIENTE	1	
		INEXISTENTE	0	
	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS DEFINITIVA	SUFICIENTE	4	2
INSUFICIENTE		2		
INEXISTENTE		0		
DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS PROVISÓRIA	SUFICIENTE	2	1	
	INSUFICIENTE	1		
	INEXISTENTE	0		
TRATOR DE ESTEIRAS OU COMPATÍVEL	PERMANENTE	5	2	
	PERIÓDICAMENTE	2		
	INEXISTENTE	0		
OUTROS EQUIPAMENTOS	SIM	1	1	
		NÃO		0
SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	SUFICIENTE	5	0	
	INSUF. / INEXIST.	0		
ACESSO À FRENTE DE TRABALHO	BOM	3	3	
	RUIM	0		
VIGILANTES	SIM	1	1	
		NÃO		0
SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE	3	1	
	INSUFICIENTE	1		
	INEXISTENTE	0		
CONTROLE RECEBIMENTO DE CARGAS	SIM	2	0	
		NÃO		0
MONITORIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	SUFICIENTE	3	0	
	INSUFICIENTE	2		
	INEXISTENTE	0		
ATENDIMENTO A ESTIPULAÇÕES DE PROJETO	SIM	2	1	
	PARCIALMENTE	1		
		NÃO		0
SUBTOTAL MÁXIMO			45	17

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
3	ASPECTO GERAL	BOM	4	0
		RUIM	0	
	OCORRÊNCIA DE LIXO A DESCOBERTO	NÃO	5	4
			SIM	
	RECOBRIMENTO DO LIXO	ADEQUADO	4	4
		INADEQUADO	1	
	PRESENÇA DE URUBUS OU GAVOTAS	INEXISTENTE	2	1
			NÃO	
	PRESENÇA DE MOSCAS EM GRANDE QUANTIDADE	NÃO	2	2
			SIM	
PRESENÇA DE CATADORES	NÃO	3	3	
		SIM		0
CRIAÇÃO DE ANIMAIS (PORCOS, BOIS)	NÃO	3	3	
		SIM		0
DESCARGA DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	NÃO	3	0	
		SIM		0
DESCARGA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	NÃO / ADEQUADA	4	4	
		SIM / INADEQ.		0
FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL DEFINITIVA	BOM	2	1	
		REGULAR		1
FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL PROVISÓRIA	REGULAR	1	1	
		INEXISTENTE		0
FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM DE CHORUME	BOM	3	2	
		REGULAR		2
FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	REGULAR	5	2	
		INEXISTENTE		0
FUNCIONAMENTO DO SIST. DE MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	BOM	2	0	
		REGULAR		1
EFICIÊNCIA DA EQUIPE DE VIGILÂNCIA	BOA	1	1	
		RUIM		0
MANUTENÇÃO DOS ACESSOS INTERNOS	BOAS	2	2	
	REGULARES	1		
		PÉSSIMAS		0
SUBTOTAL MÁXIMO			45	30

TOTAL MÁXIMO		130	71
--------------	--	-----	----

IQR-SOMA DOS PONTOS / 13		5,4
--------------------------	--	-----

IQR	AVALIAÇÃO
0 a 6,0	CONDIÇÕES INADEQUADAS
6,1 a 8,0	CONDIÇÕES CONTROLADAS
8,1 a 10	CONDIÇÕES ADEQUADAS

TOTAL DE CATADORES:	MENORES DE 14 ANOS:
---------------------	---------------------

De acordo com o IQR – CETESB, o aterro controlado de Volta Redonda obteve o valor de 5,4. O valor está no intervalo de avaliação (0 a 6) considerado como **CONDIÇÕES INADEQUADAS** (Borba et al., 2021; Lopes e Mozer, 2018).

Quando se compara o tipo de avaliação realizada para determinar o valor dos critérios, observa-se que para o IQUADI – “tipo de solo de base” e “escavabilidade do solo” -, e o critério semelhante utilizado no IQR – “capacidade de suporte do solo” -, as seguintes considerações são feitas:

1 – A escolha do valor (peso) utilizado no IQR para “capacidade de suporte do solo” é feita através da “avaliação” presente na coluna 3 da

Tabela U2, indicada como: adequada – peso = 5; inadequada – peso = 0. O peso escolhido é transformado em pontos, sendo: adequado – pontos = 5; inadequado – pontos = 0.

2 – A escolha do valor (q) utilizado no IQUADI para “tipo de solo de base” é feita através da análise das características físicas do solo, indicada como: pedregulhos ou cascalho, valor q = 1; areia (grossa, média ou fina), valor q = 2; silte, valor q = 3; argila, valor q = 4.

3 – A escolha do valor (q) utilizado no IQUADI para “escavabilidade de solo” é feita através da análise das características geológicas e pedológicas da área, indicada como: rocha dura e muito dura (rocha sã a pouco alterada), valor q = 1; rocha branda (mais ou menos rígidas com graus de alteração), valor q = 2; material brando (solos

argilosos e arenosos), valor $q = 3$; friável e fluente (areias, solos orgânicos e turfas), valor $q = 4$.

Observa-se, claramente, a subjetividade utilizada na avaliação do critério pelo IQR – CETESB, pois a interpretação de escolha entre adequada e inadequada para “capacidade de suporte do solo” não apresenta nenhuma referência metodológica como base e escolha do peso.

Por outro lado, a escolha do valor (q) utilizada no IQUADI para critérios semelhantes à “capacidade de suporte do solo” como “escavabilidade de solo” e “tipo de solo de base” é realizada através das características físicas do solo, características geológicas e pedológicas que apresentam metodologia específica para interpretação dos resultados passíveis de erros intrínsecos mas não passíveis de subjetividade de escolhas sem base metodológica de referência.

Essa análise é aplicada para 24 critérios utilizados no IQR – CETESB do total de 41, ou seja, 58% da análise aplicada no IQR apresenta subjetividade.

Quando se observa a aplicação do IQR – CETESB para o aterro controlado de Volta Redonda, chega-se a conclusão de que as condições são inadequadas, sem indicação de ações para a área (Prado e Dalmas, 2020).

As ações que podem ser realizadas através da análise das condições do aterro – inadequada – estão restritas as interpretações dos 42% dos critérios restantes, que apresentam base de comparação, como por exemplo: “proximidade de núcleos habitacionais” > 500 metros ou ≤ 500 metros – possível ação determinada – desapropriação e indenização da população caso o aterro atenda as determinações legais.

A aplicação do IQUADI elimina a subjetividade, pois todos os critérios apresentam intervalos quantificáveis passíveis de mensuração, comparação e interpretação, além de apresentar o valor de exclusão ($ve = 0$; $ve = 1$) que indica de forma direta o atendimento à legislação infraconstitucional dos critérios passíveis de análise legal e atendimento aos critérios mínimos de engenharia adotados para os critérios que apresentem elevado potencial de impacto ambiental.

Conclusões

1- É possível afirmar que os novos atributos e as novas categorias que fazem parte do novo índice de qualidade – IQUADI – representam os aspectos técnicos, operacionais e legais mais

atuais. Foram estabelecidos 47 critérios divididos em seis categorias.

2- Identificaram-se diferenças nos limites legais de distâncias, principalmente devido a falta de atualização das informações das leis e das normas, como a distância mínima de áreas de disposição de RSU à rios perenes e intermitentes, em que a distância aplicada de 200 metros estabelecida na PORTARIA MINTER N° 124 de 1980 confronta diretamente a distância mínima determinada pela Lei N° 12.651/2012 para limites de área de preservação permanente de cursos de água de largura superior a 600 metros em que é estabelecido a distância de 500 metros para proteção. As análises permitiram a atualização dos intervalos para determinados critérios, imprescindíveis para o novo contexto de sustentabilidade que a sociedade vive (BRASIL, 1980, 2012; De Oliveira et al., 2021).

3- As ações recomendadas seguem a divisão determinada através da utilização do IQUADI em: $> 0 - 0,2952$ - encerramento das atividades e remediação imediata da área; $> 0,2952 - 0,503$ - encerramento e remediação em etapas; $> 0,503 - 0,751$ - prosseguimento das atividades até o final da vida útil prevista e calculada e a adequação das inconformidades; $> 0,751 - 1$ - adequação em fases para transformação em aterro sanitário.

4- O novo índice possibilita identificar a ação que deverá ser adotada para a área de disposição final de RSU (encerramento ou continuidade das atividades), e a ação pontual (gerenciamento) para enquadrar o critério analisado no intervalo específico em tempo real, indicando o impacto e a respectiva resposta para solução do passivo ambiental.

5 - O IQUADI pode ser aplicado em qualquer área de disposição final irregular de RSU. A pontuação obtida para cada parâmetro indica automaticamente o que deve ser realizado pelo responsável pela resolução de passivos, transformando a subjetividade em ações efetivas de gerenciamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ/Escola Politécnica.

Referências

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2015. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014

- [online]. Disponível em: <www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 9 nov. 2020.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2016. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015 [online]. Disponível em: <www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019 [online]. Disponível em: <www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- Aguarón, J., Escobar, M. T., Moreno-Jiménez, J. M., Turón, A., 2020. The triads geometric consistency index in ahp-pairwise comparison matrices. *Mathematics*, 8, math8060926 (1-16)
- Borba, W. F. D., Luís, J., Daniel, P., 2021. Aplicação do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR): Estudo em área no sul do Brasil. *Meio Ambiente*, 3, 86–99.
- BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. (Código Florestal). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. (Marco legal do Saneamento). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- BRASIL. Portaria Minter nº 124, de 20 de agosto de 1980 - Estabelece normas para a localização de indústrias potencialmente poluidoras junto às coleções hídricas. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MINTER/PT0124-200880.PDF>>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- Da Cunha, C. E. S. C. P., Ritter, E., Ferreira, J. A., 2020. The use of performance indicators in the evaluation of the operational quality of the Rio de Janeiro state sanitary landfill in the 2013-2015 triennium. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25, 345–360.
- De Oliveira, T. G., Francisco, C. N., Boher, C. B. A., 2021. Permanent preservation areas (APP) on hilltops in the state of rio de janeiro: An evaluation of legal provisions in different geomorphological units. *Ciencia Florestal*, 31, 491–514.
- Ferronato, N., 2021. Integrated analysis for supporting solid waste management development projects in low to middle income countries: The NAVA-CE approach. *Environmental Development*, In Press, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100643>.
- González-Arqueros, M.L., Domínguez-Vázquez, G., Alfaro-Cuevas-Villanueva, R., Israde-Alcántara, I., Buenrostro-Delgado, O., 2021. Hazardous Solid Waste Confined in Closed Dump of Morelia : An Urgent Environmental Liability to Attend in Developing Countries. *Sustainability*, 13, 2557 (1-9).
- Han, X., Hu, C., Lin, L., 2020. A study on the impact of China's urbanization on the quantity of municipal solid waste produced. *Waste Management and Research* 38, 184–192.
- Kurian, J., Esakku, S., Nagendran, R., Visvanathan, C., 2005. A decision making tool for dumpsite rehabilitation in developing countries. *Sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium. Anais...Cagliari, Italy: Environmental Sanitary Engineering Centre*. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.559.245&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- Lopes, G. A., Mozer, T. S., 2018. Instrumentos legais e disposição de resíduos sólidos no aterro de Volta Redonda – RJ. *Direito Ambiental e Sociedade*, 8, 105–135.
- Marques, R. F. P. V., Silva, A. M., Rodrigues, L. S., Mendes, L. F., Oliveira, A. S., 2021. Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo em municípios de Minas Gerais – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 1382–1392.
- Mosina, L. V., Chupakhina, G.N., Maslennikov, P. V., Zhandarova, J.A., Dovletyarova, E.A., 2020. Municipal solid waste landfills as a source of mycotoxins contamination in soil. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 548, 022063.
- Palermo, G. C., Branco, D. A. C., Freitas, M. A. V., 2020. Comparação entre tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e balanço de emissões de gases de efeito estufa no município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25, 635–648.
- Pessoa, M. A. R., Souza, F. J., Domingos, P., Azevedo, J. P. S., 2020. IQAFAL — Fuzzy water quality index for lotic environments. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25, 21–30.
- Prado, R. C. A., Dalmas, F. B. Análise da influência da lei no 12.305/2010 e do Decreto no

57.817/2012 no índice de qualidade de aterro de resíduos (IQR) dos municípios da bacia hidrográfica do alto tietê cabeceiras, de 1997 a 2017. Revista UNG Geociências, 19, 5–23, 2020.

Vinti, G., Bauza, V., Clasen, T., Medlicott, K., Tudor, T., Zurbrügg, C., Vaccari, M., 2021. Municipal solid waste management and adverse health outcomes: A systematic review. Int. J. Environ. Res. Public Health 18, 1–26.