

UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO E LÓGICA FUZZY NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM-ES

Julio Almeida Moreira¹, Luiz Felipe Lempê¹, Marcos Moulim da Paschoa¹, Fabricia Benda de Oliveira¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, CCENS, Departamento de Geologia, Alto Universitário, s/n, Caixa Postal 16, CEP: 29500-000, Alegre - ES, Brasil, julioalmeida9612@gmail.com; luizfelipelempe@live.com; marcosmoulin96@gmail.com; fabriciabenda@gmail.com

RESUMO

Durante o beneficiamento de rochas ornamentais, um grande volume de resíduos é gerado e a disposição final dos mesmos, deve obedecer a legislação ambiental. O presente estudo propõe a utilização da análise multicritério e lógica fuzzy para determinar locais adequados para disposição de resíduos de rochas ornamentais, no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES. Os fatores utilizados foram: hidrografia, declividade, solos, rodovias, zonas naturais, áreas urbanas, geologia e corredor ecológico. A padronização dos fatores se deu através da lógica fuzzy, a avaliação dos pesos foi realizada utilizando matriz de comparação pareada, e foram combinados por meio da combinação linear ponderada. Gerou-se o mapa de aptidão em escala de 0 a 255, mostrando locais menos ou mais aptos ao empreendimento. Para refinar a análise, gerou-se o mapa final com uma aptidão mínima de 140 e uma área mínima de 60 ha, resultando em três locais favoráveis à disposição dos resíduos.

Palavras-chave — Sistema de informações geográficas, resíduos, gestão ambiental.

ABSTRACT

During the process of processing ornamental stones, a large volume of waste is generated and the final disposal thereof, must comply with environmental legislation. The present study proposes the use of multicriteria analysis and fuzzy logic to determine suitable locations for the correct destination of ornamental rock residues, in the municipality of Cachoeiro de Itapemirim-ES. The factors used were: hydrography, slope, soils, highways, natural zones, urban areas, geology and ecological corridor. The standardization of the factors was done through fuzzy logic, the weights evaluation was performed using paired comparison matrix,

and were combined by weighted linear combination. The fitness map was generated on a scale from 0 to 255, showing locations less or more suitable to the enterprise. To refine the analysis, the final map with a minimum fitness of 140 and a minimum area of 60 ha was generated, resulting in three favorable locations for disposal of the wastes.

Key words — Geographic information system, solid waste, environmental management.

1. INTRODUÇÃO

As atividades básicas desenvolvidas pela humanidade, em todos os seus aspectos (industriais, sociais e residenciais), são responsáveis pela geração de grande quantidade de resíduos [1]. Nas últimas décadas, a problemática ambiental causada pelo processo do desenvolvimento da sociedade tem despertado interesse por parte das políticas públicas. Assim, as leis ambientais se tornaram mais rígidas em relação ao processo de produção e descarte de resíduos, além dos órgãos fiscalizadores que mostram um desempenho mais eficiente.

No segmento econômico, o Estado do Espírito Santo apresenta grande destaque nacional na exploração do potencial mineral do setor de rochas ornamentais, sendo responsável pela produção de 75% do mármore e 50% de granito do país. No Estado, o município de Cachoeiro do Itapemirim (Figura 1) se destaca como maior pólo de beneficiamento deste setor.

Durante o processo de beneficiamento dos blocos de rochas (método de teares), é utilizada uma polpa de serragem (lama abrasiva) composta por granalha de aço, cal e água [2]. O pó de rocha produzido é então incorporado à lama, sendo posteriormente descartado.

O volume de resíduos produzidos nas diversas etapas de produção do setor de rochas ornamentais e a busca por locais adequados de descarte a fim de se atender a legislação vigente, têm gerado preocupação em grande parte das empresas deste setor. O custo de locais ideais para

disposição de resíduos é alto, justificando assim a busca por alternativas que sejam cada vez mais viáveis [3].

A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) constitui-se como uma importante ferramenta na tomada de decisões, uma vez que torna possível a manipulação de grande quantidade de informações e análise dos dados de maneira eficiente. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é propor locais adequados para o descarte dos resíduos sólidos gerados pelo setor de rochas ornamentais no Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, por meio da análise multicritério e lógica *fuzzy*.

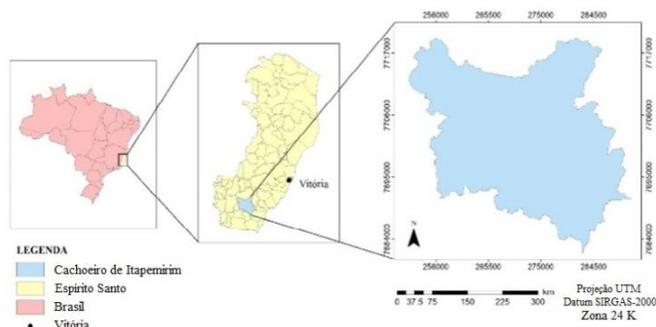


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se os seguintes materiais para processamento dos dados: Mapa Geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) na escala 250.000; Folha Cachoeiro de Itapemirim (SF. 24-V-A), 1997; Mapa de declividade, gerado através de imagem de radar da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), refinado pela plataforma TOPODATA (INPE); Shapefile de ferrovias e rodovias federais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), na escala de 1:50.000, 2016; *shapefile* de Rodovias Estaduais do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo na escala de 1:50.000, 2016; Shapefile de Hidrografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:50.000, 1983; Mapa de solos, do projeto RadamBrasil/IBGE, na escala de 1:250.000, 1983; Cartas temáticas produzidas pelo Instituto Jones Santos Neves (IJSN), na escala de 1:50.000, 2012: *shapefile* de áreas urbanas; *shapefile* de limites administrativos; mapa de corredor ecológico; mapa de zonas naturais.

O modelo de análise multicritério é estruturado por níveis hierárquicos de análise, sendo processados em 3 etapas: padronização (ou normalização) dos fatores; avaliação de pesos; e combinação. Para a avaliação, utilizou-se a Combinação Linear Ponderada (WLC) e os fatores foram padronizados numa escala contínua de adequabilidade através da lógica *fuzzy*.

Como critérios foram utilizados fatores e restrições. As restrições utilizadas excluem áreas de acordo com

determinadas condições e possuem caráter booleano. Os fatores definem algum grau de aptidão para a área considerada, sendo necessário uma padronização, e neste trabalho foram normalizados em uma escala entre 0 e 255.

Como fonte complementar para o auxílio na determinação das áreas mais adequadas para disposição de resíduos, utilizou-se a norma NBR 13.896 [4] e os trabalhos de Marques (2001) [5] e Calijuri *et al.* (2007) [6].

As restrições impõem limitações absolutas aos critérios considerados. Assim sendo, as condições máximas ou mínimas determinadas para os fatores devem ser estabelecidas com relação à distância máxima ou mínima em relação às distâncias destes.

As restrições utilizadas encontram-se no Quadro 1. Para hidrografia, áreas urbanas e declividade, foram utilizados valores baseados na norma NBR 13.896 [4], que determina as condições mínimas exigidas para a implantação de aterros de resíduos não perigosos. Com relação ao sistema viário e ao corredor ecológico determinou-se uma distância mínima de 100 m.

Quadro 1. Critérios utilizados para a definição das restrições.

Restrição	Valor adotado
Hidrografia	200m (<i>buffer</i>)
Declividade	Entre 2% a 29%
Rodovias	100 m (<i>buffer</i>)
Ferrovias	100 m (<i>buffer</i>)
Áreas Urbanas	550 m (<i>buffer</i>)
Corredor Ecológico	100 m (<i>buffer</i>)
Limite do município	Limite municipal

Os fatores utilizados foram: hidrografia, declividade, solos, rodovias, zonas naturais, áreas urbanas, geologia e corredor ecológico.

Em relação às unidades geológicas, os valores de maior adequabilidade foram atribuídos às unidades com maciços graníticos e rochas metamórficas com baixo grau de fraturamento. Dessa forma, os Depósitos Aluvionares receberam o menor valor de adequabilidade (0), por serem saturados, compressíveis e por possuírem baixa resistência ao cisalhamento. Os valores intermediários foram atribuídos às unidades: Complexo Paraíba do Sul (100) e Rochas Intrusivas Gnaissificadas de Regime Compressivo (200). O maior valor de adequabilidade foi atribuído à unidade de rochas intrusivas, ácidas, intermediárias e básicas tardi-a-pós-transcorrentes (255).

Posteriormente, utilizou-se o mapa de solos a fim de reconhecer as principais unidades de solos. Considerando que solos mais argilosos (coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s) são os mais favoráveis para deposição de resíduos de acordo com a NBR 13.896 [4], atribui-se aos solos aluviais o menor valor de adequabilidade (0). Os demais solos receberam valores intermediários: litólico (30), cambissolo (50), brunizéns avermelhados (100), podzólico

eutrófico (160). Já o latossolo vermelho-amarelo obteve o maior valor de adequabilidade (255).

O fator zonas naturais tem como base o mesmo processo na obtenção dos fatores geológicos, pedológicos e ambientais. Os locais de menor adequabilidade são as zonas frias, acidentadas e chuvosas (30). As zonas de valor intermediário foram: zonas amenas, acidentadas e chuvosas (80), zonas quentes, acidentadas e chuvosas (100), zonas quentes, acidentadas e chuvosas/secas (125), zonas quentes, acidentadas e secas (230). Já as zonas naturais caracterizadas por serem quentes, planas e secas obtiveram o maior valor de adequabilidade (255).

A combinação dos fatores se deu pela combinação linear ponderada, em que a partir do processo de hierarquia analítica, os fatores foram comparados dois a dois, por uma matriz de comparação par-a-par. Este algoritmo considera os fatores a partir de sua importância relativa, calculando diferentes pesos para cada variável envolvida na escolha das áreas mais aptas para disposição de resíduos de rocha ornamental.

Foram considerados em ordem decrescente de importância os seguintes fatores: hidrografia, declividade, solos, rodovias, zonas naturais, áreas urbanas, geologia e corredor ecológico. Os valores dos pesos calculados encontram-se no Quadro 2.

Quadro2. Pesos calculados para cada fator.

Fatores	Pesos calculados
Hidrografia	0,3228
Declividade	0,2187
Solos	0,1687
Rodovias	0,1337
Zonas naturais	0,0767
Áreas urbanas	0,0425
Geologia	0,0237
Corredor Ecológico	0,0131

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos critérios utilizados no processo de hierarquia analítica, foi gerado um mapa de adequabilidade de disposição de resíduos de rochas ornamentais no município em questão, numa escala de 0 a 255, onde 0 é considerado inapto e 255 são áreas com maior adequabilidade.

A partir dos pesos atribuídos aos fatores, gerou-se o mapa final de adequabilidade (Figura 2). Observa-se que as áreas mais favoráveis se encontram localizadas nas porções central, sudeste e oeste, não ultrapassando valores de 157 de adequabilidade.

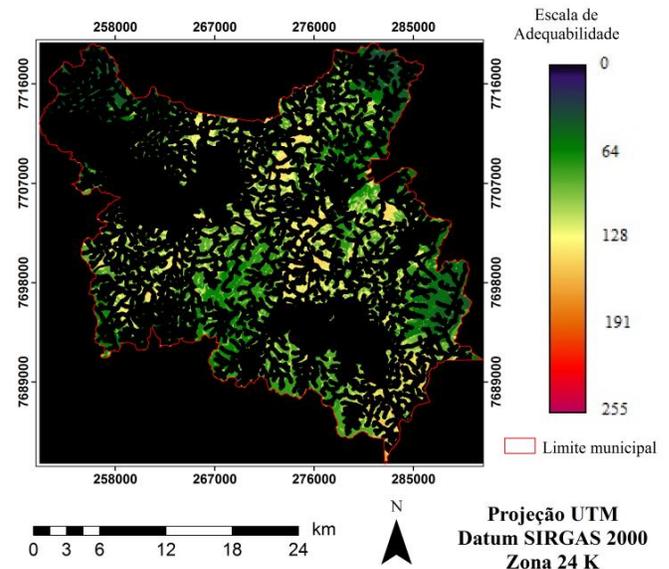


Figura 2. Mapa de favorabilidade apresentando as áreas potenciais para a disposição de resíduos de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim.

Para refinar a análise, gerou-se um mapa com adequabilidade mínima de 140 e área mínima de 60 hectares (ha), valor este estabelecido por Marques (2001) [5], sendo a área mínima necessária para receber o volume médio mensal de resíduos produzidos por empresas de rochas ornamentais do município, obtendo-se como resultado três locais potenciais, enumerados de 1 a 3 (Figura 3).

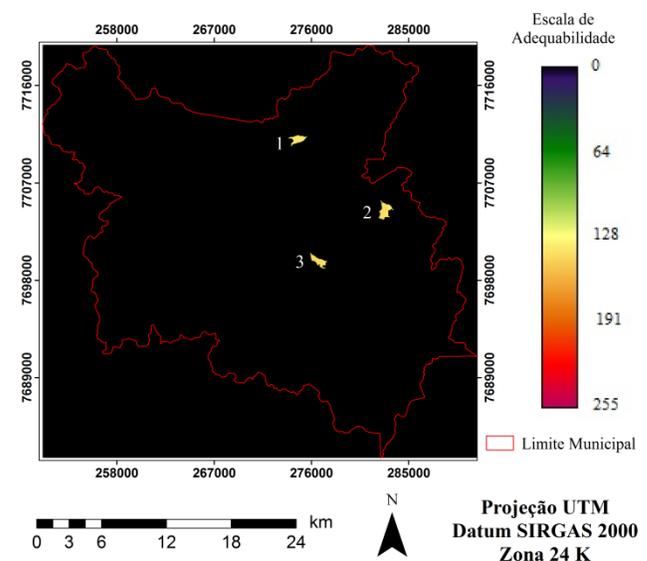


Figura 3. Mapa final com os três polígonos de maior favorabilidade para disposição de resíduos de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim, considerando adequabilidade mínima de 140 e 60 ha de área.

O local 1 possui área de 82,39 ha e está localizado no distrito de São Vicente. O local 2 dispõe de 116,79 ha e situa-se no distrito de Gironda. Já o local 3, com 77,20 ha de área, encontra-se na área da sede do município (Figura 4).

Dentre os locais potenciais procurou-se identificar o mais promissor. A área 3 foi o que se demonstrou como tal, por estar em uma posição estratégica, no centro do município e próximo as áreas urbanizadas, onde se encontra o maior número de empresas de beneficiamento, favorecendo a logística para o escoamento dos resíduos.

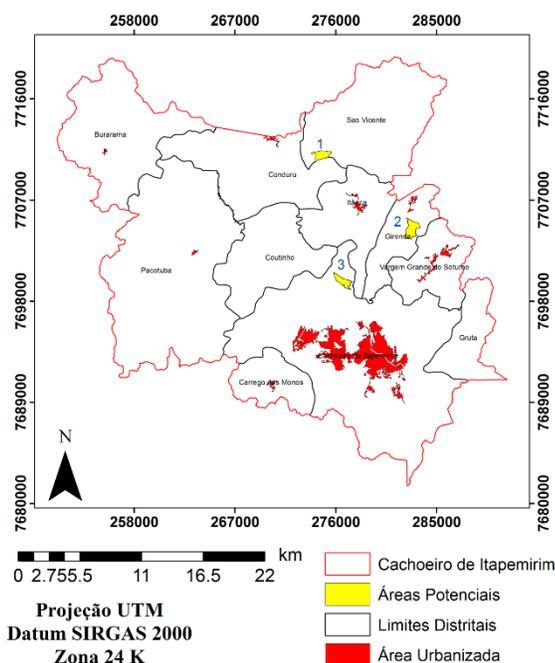


Figura 4. Mapa com a localização das áreas potenciais em relação aos limites distritais e área urbanizada do município.

4. CONCLUSÕES

A metodologia utilizando análise multicritério e sistema de informações geográficas como ferramenta na avaliação de escolha das áreas ditas mais aptas no município de Cachoeiro de Itapemirim, mostrou-se eficaz e adequada para a seleção de possíveis áreas para a disposição de resíduos gerados pelo setor de rochas ornamentais.

Nota-se que o resultado do trabalho evidenciado pelos três locais potenciais gerados mostrou-se bastante restritivo, uma vez que se buscou atender as exigências requeridas pela NBR13.896 [4], considerando que o município de Cachoeiro do Itapemirim apresenta um denso sistema hidrográfico, o que limitou os resultados.

Para resultados mais precisos, sugere-se a utilização de levantamentos hidrogeológicos e geotécnicos e visitas *in loco*. As variações sazonais da superfície freática de aquíferos livres e as características geotécnicas dos solos são fatores muito importantes, que são considerados como uma das exigências pela norma NBR 13.896 [4].

Denota-se a importância das autoridades locais nas considerações propostas neste trabalho, com relação aos locais de maior favorabilidade para a deposição de resíduos de rochas ornamentais, visto que a legislação ambiental vigente é rigorosa, obrigando as empresas a buscarem alternativas para que esta seja atendida.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Pereira Neto, J.T. “Quanto Vale nosso lixo”, IEF/UNICEF, Viçosa, pp.70, 1999.
- [2] Braga, F. S.; Buzzi, D. C.; Couto, M. C. L.; Lange, L. C. “Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais”, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.13, pp.237-244, 2010.
- [3] Sousa, J.G. “Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vista a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim-ES”. 2007. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2007.
- [4] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-13.896: “Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação”. Rio de Janeiro, 1997.
- [5] Marques, E. T. Identificação de áreas potenciais para a disposição de rejeitos de mármore e granito em Cachoeiro de Itapemirim através de análise multicritério. 2001. 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.
- [6] Calijuri, M.L.; Loures, S.S.P.; Santiago, A.F; Schaefer, C.E.G.R; Lugão, W.G; Alves, J.E.M. “Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape – SP”, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, n.3, p.335-342, 2007.