



Uma Abordagem Multicritério à Gestão de Resíduos Sólidos na Ilha Terceira

Bela Dutra¹ e Emiliania Silva²

Resumo

Neste trabalho a metodologia consiste na utilização dos modelos de apoio à tomada de decisão para a localização de um aterro de inertes em ilhas, nomeadamente da gestão ambiental da ilha Terceira (Açores, Portugal). A resolução recorreu à análise de seis alternativas-espaco através do método da análise multicritério, mais especificamente da técnica SMART (Simple Multicriteria-Attribute Rating Technique) com o auxílio de uma escala percentual. São avaliados critérios económicos, ambientais e funcionais compostos por vários atributos (ou características). É o Agente de Decisão (AD) o responsável pelas ponderações percentuais (ou valor original), permitindo a hierarquização das alternativas-espacos (*Direct Rating*), através do cálculo do padrão peso normalizado. Os resultados da fronteira eficiente definem as alternativas-espaco dentro da solução óptima, excluindo as restantes localizações. A análise de sensibilidade indica que é a alternativa SS_02 a localização da Ilha Terceira com maior potencial para a instalação de um aterro de inertes.

Palavras-Chave: Análise de Sensibilidade; Apoio à Tomada de Decisão; Fronteira Eficiente; Gestão Ambiental; Localização de um Aterro de Inertes; SMART.

1- Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Largo da Igreja, Terra-Chã-Angra do Heroísmo, 9700-851-beladutra@gmail.com.

2- Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Largo da Igreja, Terra-Chã, 9700-851-Angra do Heroísmo-emiliania@uac.pt



Introdução

A dificuldade na deposição de inertes representa uma área ambiental de grande importância para as ilhas pela exiguidade do espaço (Correia, 2002).

Os relatórios do Estado do Ambiente dos Açores de 2003 e 2005 evidenciam que os resíduos inertes mais frequentes, como Resíduos de Construção e Demolição (RCD), surgem em locais de deposição ilegal devido à “geografia da Região, dificultando assim, a implementação de estratégias de minimização do abandono”. Neste sentido surge a necessidade de uma localização de deposição de inertes face ao volume de obras públicas e privadas na ilha Terceira.

Os resíduos em causa são definidos como *aqueles que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não podem ser solúveis e inflamáveis. Os mesmos não podem afectar negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto, de forma a aumentar a poluição no ambiente* (PEGRA, 2007).

A análise multicritério, auxiliada pela técnica SMART, é definida por critérios de avaliação económica, ambiental e funcional perante as seis alternativas-espço. A técnica mencionada, através da Agente de Decisão, (AD) obedece às seguintes fases: Formulação do Problema, Identificação das Alternativas, Identificação dos critérios, Determinação do valor original para cada critério, Tomada de decisão provisória, Análise de sensibilidade e Tomada de decisão final. O AD proporciona um processo construtivo e criativo consoante o seu sistema de ponderações dos diferentes atributos ou características (Keeney e Raiffa, 1976).

Costa (1988) defende que os instrumentos de apoio à decisão reúnem esforços para resolver o dilema dos objectivos conflituosos, cuja presença impede a existência da “solução óptima” (fronteira eficiente) e conduz para a procura da “solução de melhor compromisso”.

O objectivo deste trabalho consiste encontrar a alternativa-espço com maior potencial de instalação de um aterro de inertes na Terceira. Estruturalmente, numa primeira fase caracteriza-se a Ilha, de modo a enquadrar o problema; numa segunda fase, caracterizam-se os resíduos inertes e; numa terceira fase, apresenta-se e utiliza-se a ferramenta: análise multicritério.



1. Caracterização da Ilha Terceira

Geograficamente, a ilha Terceira, pertence ao Grupo Central do Arquipélago dos Açores, com uma superfície de 400,3 km², de comprimento e largura 29 km e 17,5 km, respectivamente. Está situada a 38° 38'33'' de latitude Norte e 27° 12'48'' de longitude Oeste de Greenwich e encontra-se a uma distância aproximada de 2.000 km da costa Ocidental do Continente Europeu e a menos de 3.000 km do extremo oriental da América do Norte. A ilha está dividida em dois concelhos, Angra do Heroísmo e Praia da Vitória. O concelho de Angra ocupa 239,88 km², cerca de 60% de área total da ilha, sendo constituído por dezanove freguesias. O concelho da Praia da Vitória ocupa 159,93 km², cerca de 40% da área total da ilha, sendo constituído por onze freguesias [1].

Demograficamente, a ilha Terceira é a segunda ilha dos Açores com maior índice populacional com um valor total na ordem dos 55.844 habitantes. Comparando os dados dos Censos do ano 2001 e dos dados do Serviço Regional de Estatística dos Açores no ano 2007 verifica-se que ocorreu um acréscimo da população total da ilha na ordem dos onze habitantes. No concelho de Angra do Heroísmo ocorreu um decréscimo de quatrocentos e sessenta e cinco habitantes, enquanto no Concelho da Praia da Vitória ocorreu um acréscimo de quatrocentos e setenta e oito habitantes (Figura 1.).

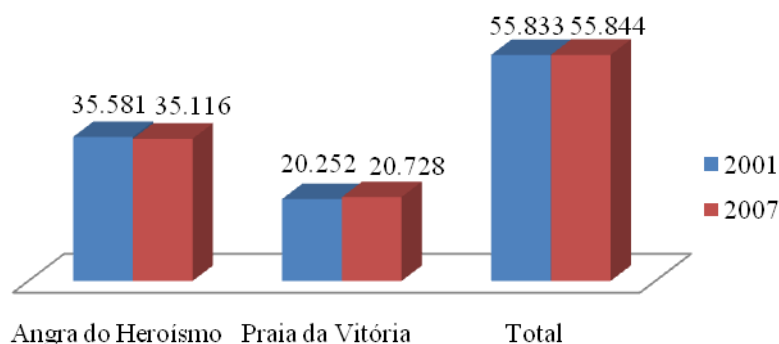


Figura 1. Número de habitantes em 2001 e 2007, nos concelhos da Ilha Terceira.

Fonte: Anuário Regional do SREA (ano 2007) e Censos 2001.



O conhecimento da geomorfologia da ilha Terceira permite definir a localização de um Aterro de Inertes, na perspectiva da sua inserção na paisagem. A ilha de origem vulcânica alicerça-se sobre três grandes maciços estruturais, constituídos pelos estractovulcões dos Cinco Picos a Leste, pelo maciço Guilherme Moniz- Pico Alto no Centro e Santa Bárbara a Oeste.

Hidrologicamente, a Terceira tem 78 unidades hidrológicas das quais 44 correspondem a bacias hidrográficas fisicamente individualizadas e 34 a zonas agregadas a estas com escoamento mal estruturado. As bacias hidrográficas são dos tipos exorreicas ou arreicas, isto é ou o curso principal desemboca directamente no mar ou em pequenas lagoas, pântanos ou zonas de grande infiltração, respectivamente (Rodrigues, 2002)

As obras de arroteamento de extensas áreas e abertura de acessos que se tem verificado nas zonas altas da ilha têm sido ultimamente um grande impacte sobre a estrutura da rede de drenagem e funcionamento dos seus cursos. Em sequência desta problemática teve-se o cuidado da atribuição na ponderação da localização do Aterro de Inertes face aos recursos hídricos existentes nas diferentes alternativas-espço.

2. Caracterização de Resíduos Inertes

Nos termos das Directivas n.º 2006/12/CEE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e n.º 91/689/CEE do Conselho, de 26 de Abril, transposta para a ordem jurídica portuguesa pelo D.L. n.º 178/2006, de 5 de Setembro, entende-se por resíduo inerte, *o resíduo que não sofre transformações físicas, químicas ou biológicas importantes. Em consequência, um resíduo inerte não pode ser solúvel nem inflamável, nem ter qualquer outro tipo de reacção física ou química, e não pode ser biodegradável, nem afectar negativamente outras substâncias com as quais entrem em contacto, de forma susceptível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana. A lixiviabilidade - efluente que percola através da massa de RSU confinada em aterro e que é resultante da água contida nos resíduos adicionada da que é proveniente da precipitação*



meteorológica - total, o conteúdo poluente dos resíduos e a ecotoxicidade do lixiviado devem ser insignificantes e, em especial, não pôr em perigo a qualidade das águas superficiais e/ou subterrâneas.

Recentemente, surgiu o D.L. nº 46/2008, de 12 de Março que estabelece o regime de operações de gestão de RCD, de natureza inerte, compreendendo a sua prevenção e reutilização e, ainda, as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação.

Embora se inclua em resíduos especiais, os RCD, nos Açores, apresentam uma elevada quantidade de produção na ordem dos 200kg/(habitante por ano) e 325kg/(habitante por ano), relativamente à restante tipologia de resíduos produzidos. Na Figura 2, observa-se que a ilha Terceira é a segunda ilha em que a estimativa da produção máxima de RCD é de 11.174 toneladas. Esta informação foi retirada do Plano Estratégico de Resíduos dos Açores, aprovado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 20/2008/A, de 12 de Maio, que altera e republica o Decreto Legislativo Regional n.º 20/2007/A, de 23 de Agosto.

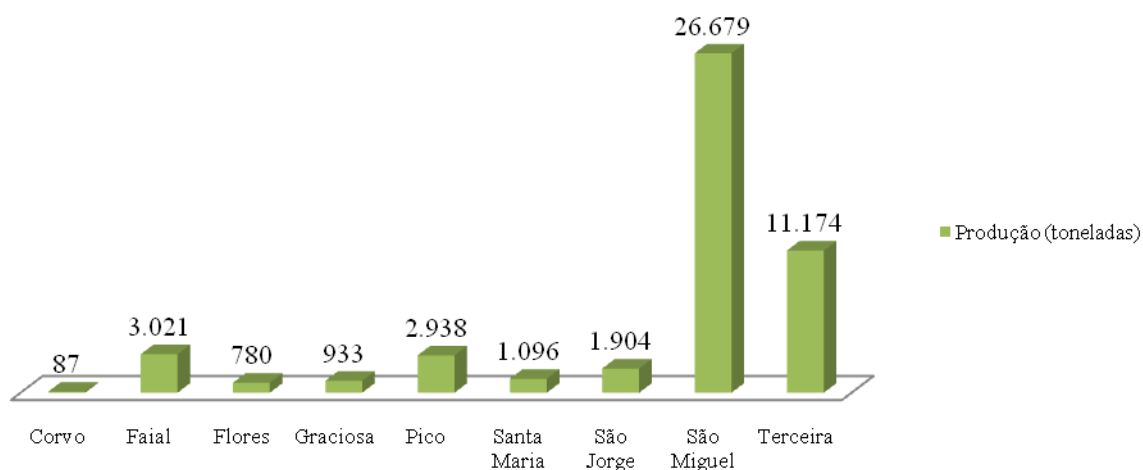


Figura 2. Estimativa da Produção Máxima de RCD.

Fonte: Plano Estratégico de Gestão de Resíduos dos Açores, 2007

Nos Açores verifica-se a mesma problemática de deposição ilegal devido à “conjugação de vários factores, alguns de grande complexidade, dada a geografia da Região, dificultando assim, a implementação de estratégias de minimização do abandono”. Os locais mais frequentes de deposição ilegal são, por exemplo,



ribeiras, terrenos sem proprietário, zonas de mistério entre muitos outros locais. O factor que julga-se ser o mais evidente que propicia a deposição ilegal é a distância da fonte poluidora até ao Aterro licenciado (Relatórios do Estado do Ambiente dos Açores, 2003 e 2005; Crittendem e Kolaczowski, 1995).

3. Metodologia - Análise Multicritério

Hoje em dia, todas decisões do Homem estão a causar um estado de pressão sobre o meio ambiente e assim surge a necessidade de adequar todas as práticas nele exercidas. Este esforço está inserido no domínio da Gestão Ambiental, que pela definição remete ao *“processo de organização de todas as actividades económicas e sociais de forma a atingir a racionalização dos recursos naturais, renováveis ou não, tendo em vista a minimização dos impactes ambientais”*. Sendo a localização de um aterro de inertes um problema de gestão ambiental é comum recorrer à ciência investigação operacional para a resolução de problemas de administração/decisão com solução que se aproxima do óptimo, face à afectação de recursos naturais escassos (Oliveira, 2006 e Romero, 1994).

O apoio à tomada de decisão implica o decisor fundamentar a decisão através de uma abordagem multicritério, que é um método com a finalidade de investigar um número de alternativas, considerando os múltiplos critérios na situação de problema (Costa, 1988).

Existem vários modelos de apoio à decisão, que no caso em estudo, é recorrido à teoria da utilidade (MAUT - *Multi Attribute Utility Theory*), pertencente à pioneira Escola Americana. É importante referir que cada vez mais utiliza-se o método mencionado em outros domínios como na Agricultura, defendida por diversos autores como Calker *et al.* (2006) em *“Development and application of a multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems”*. O presente trabalho inserido na Gestão Ambiental segue a tese defendida por Kijak e Moy intitulada por *“A Decision Support Framework for Sustainable Waste Management”* ([2], Parreiras, 2006 ; Tavares *et al.*, 2003, Calker *et al.*, 2006 e Kijak e Moy, 2004).



A forma de combinar os critérios, a consideração de todos ou apenas parte deles, a forma como uns podem compensar outros, são aspectos que assumem grande importância nas decisões, particularmente em contextos de recursos escassos. A localização de um aterro é um processo de decisão de “natureza” multicritério, no qual são definidos diversos atributos avaliados por intermédio de ponderações que selecção das alternativas consideradas à priori [2].

A tomada de decisão é uma actividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que tem de se escolher não apenas entre possíveis alternativas, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas acções. Este papel é desempenhado por um Agente de Decisão (AD), similar à função de um gestor, no qual é responsável por considerar toda a multiplicidade de factores directa e indirectamente relacionados com o problema.

O AD ter em conta a aprendizagem do problema através do levantamento da situação actual, proporcionando um processo construtivo e criativo consoante o seu sistema de preferências, sem esquecer a necessidade de ponderar os conflitos entre os critérios, com vista a encontrar uma solução de compromisso satisfatória. Os autores Keeney e Raiffa (1976), mentores de uma obra em matéria de apoio à tomada de Decisão, explicitam a necessidade de ponderar os conflitos entre os critérios, como o exemplo do problema da autoridade (AD) de determinado local que tem o objectivo de traçar uma nova rota territorial. Neste caso, o AD necessita de ponderar a minimização dos custos de investimento e o mínimo de impacto no meio ambiente. Por vezes, os baixos custos implicam a destruição massiva dos habitats (degradação do meio ambiente) e pode não ser tomada a decisão mais satisfatória à opinião pública.

Na análise multicritério pode-se recorrer à utilização da técnica SMART (Simple Multi-attribute Rating Technique) porque, além de respeitar a teoria MAUT, consegue definir uma forma linear de simples implementação e com relação directa entre as ponderações e o peso Normalizado (ou relativo).

A técnica SMART muito utilizada nos autores e trabalhos já referenciados foi adaptada ao caso em estudo e obedeceu às seguintes etapas:

- 1) Identificação dos critérios de avaliação;
- 2) Identificação das alternativas-espaco;

- 3) Atribuição de ponderações aos atributos (ou características) de cada critério;
 - i. “*Direct Rating*”;
 - ii. Fronteira Eficiente;
 - iii. Análise de Sensibilidade;
- 4) Tomada de Decisão Final.

Identificação dos Critérios

Na escolha dos critérios de avaliação do caso em estudo recorreu-se à estruturação de um esquema de critérios (Figura 3.), que segundo Keeney e Raiffa (1976) deve obedecer às seguintes etapas:

1. Preenchimento: critérios de decisão incluindo atributos (ou características);
2. Operacionalidade: atribuição de uma escala aos atributos;
3. Simplificação: Problema claro e conciso de forma que seja perceptível;
4. Ausência de redundância: evitar a repetição de atributos;

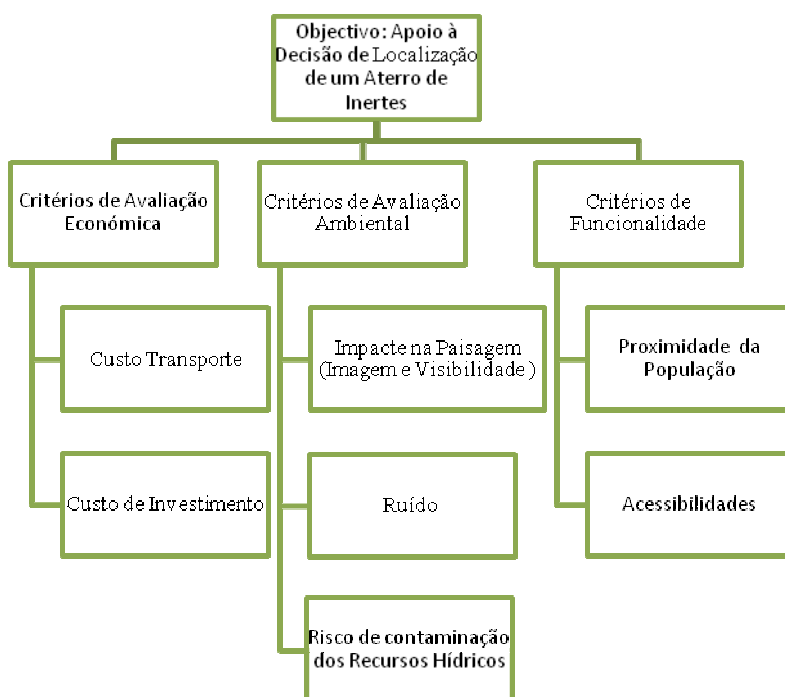


Figura 3. Árvore de Critérios de Avaliação.

Para estudar a localização do aterro de inertes recorreu-se ao estudo das áreas da economia, do ambiente e da sua funcionalidade da presença do aterro perante as principais fontes poluidoras, o sector da construção civil e a população em geral. A escolha destes três principais vectores deve-se ao facto de, na actualidade, haver



a necessidade de organização do meio ambiente face a todas as actividades nele exercidas. O AD mediante o problema de gestão ambiental definiu atributos de relação para cada critério, sendo medido numa escala percentual proposta pelo AD, de modo a cumprir as relações entre os critérios.

Critérios de Avaliação Económica:

A escolha dos atributos referentes ao critério de Avaliação Económica incidiu, principalmente, nos Custos de Transporte (CT) e de Investimento Praticados (CI) “no mercado” da ilha Terceira. Desta forma, conseguimos perceber a realidade local dos preços praticados junto do sector da construção civil e da população que necessita dos serviços de recolha de inertes. Para fundamentar, a atribuição das ponderações percentuais, relativamente ao custo de transporte dos resíduos inertes recorreu-se ao levantamento dos preços médios praticados no “mercado da ilha”, por não haver um custo fixo tabelado. No custo de investimento, o AD considerou, os requisitos mínimos legislados no Anexo I do Decreto-Lei nº46/2008, de 12 de Março e do Decreto-Lei nº 544/99, de 13 de Dezembro, assim como a contratação do pessoal. Contudo, é necessário escolher a alternativa-espço que mais se aproxime da minimização dos custos de transporte e de investimento.

Critérios de Avaliação Ambiental:

Os RCD têm tradicionalmente sido depositados em aterro, frequentemente nos mesmos em que são depositados os RSU. Além do mais, tornou-se claro que o volume ocupado de RCD, na sua maioria inerte, provoca a escassez crescente de espaço nos aterros, e os custos crescentes de protecção do ambiente através da gestão e engenharia são cada vez mais exigentes.

Com base na leitura da bibliografia de *Gestão de Agregados*, foram escolhidos os seguintes atributos relevantes à avaliação Ambiental:

- Impacte na Paisagem (IP): Avaliação com base na imagem e na redução da visibilidade para que a população aceite a sua localização. Todo o processo de inserção paisagística pode ser consultado no DL n.º 544/99, de 13 de

Novembro, devendo todas as empresas de extracção de Inertes ter um plano de lavra.

- Ruído (R): Avaliado na proximidade da possível localização do aterro dentro das freguesias, afectas à população residente e ao meio Ambiente.
- Risco de contaminação de recursos hídricos (RC): Avaliado na proximidade de captações, nascentes ou até de linhas de água.

Critérios de Funcionalidade:

A proximidade geográfica (LG) e as acessibilidades (A) são os atributos de funcionalidade escolhidos pelo AD que podem beneficiar o sector da construção civil e população com obras a título individual, principais fontes poluidoras.

Na avaliação da proximidade geográfica recorreu-se aos Sistemas de Informação Geográfica (programa Arc GIS 9.1.), no qual obteve-se as distâncias percorridas das freguesias da Terceira até às diferentes alternativas-espço.

As acessibilidades são avaliadas no estado do caminho de acesso, nomeadamente no tipo de asfaltagem das estradas, assim como do acesso às respectivas alternativas-espço. A acessibilidade pode condicionar o custo de investimento do projecto, no futuro.

Identificação das Alternativas-Espço

No presente relatório estão identificadas, como alternativas-espço, seis áreas. As alternativas-espço são as seguintes:



Figura 4. Alternativas-espço 1 e 2 - Aterro AIMIT (Aterro Intermunicipal da Ilha Terceira) e Açorbuild.

| Características | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
|-------------------------|--|-------------------------------|
| Freguesia | Ribeirinha | Feteira |
| Zona- | Biscoito da Achada | Achada |
| Coordenadas UTM: | x- 4281504, 61 y- 484022,72 | x- 4283910,00 y- 484678,73 |
| Altitude: | 385 m | 326 m |
| Observações: | <p>O Aterro Intermunicipal da Ilha Terceira não recebe RCD.</p> <p>No entanto, numa perspectiva de apoio ao AD, a escolha deste espaço serve como ponto referência (ou partida) que permitiu a influência na atribuição das ponderações às restantes alternativas-espaço.</p> <p>Recuperação de pedreira e britadeira para reutilização.</p> | |

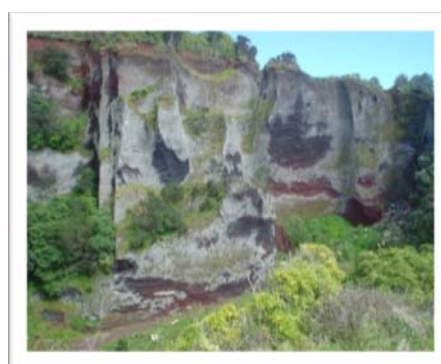


Figura 5. Alternativas-espaço 3 e 4 –Tecnovia e S. Sebastião_01

| Características | Alternativa 3 | Alternativa 4 |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Freguesia | Feteira | S. Sebastião |
| Zona | Recta da Achada. | Pico das Cruzes |
| Coordenadas UTM | x- 4285298,44 y- 486553,42 | x- 4280017,95 y- 492470,81 |
| Altitude | 344 m | 163 m. |



Figura 6. Alternativas-espço 5 e 6 – S. Sebastião_02 e Altares_03

| Características | Alternativa 5 | Alternativa 6 |
|------------------------|-----------------|---------------|
| Freguesia | S. Sebastião | Altares |
| Zona- | Pico das Cruzes | Cal Pedra |
| Coordenadas UTM | x- 4280389,57 | x- 4291528,56 |
| | y- 492559,58 | y-474458,05 |
| Altitude | 160 m | 338 m |

Atribuição de ponderações

Após a definição dos atributos dos três principais critérios e da identificação das alternativas-espço para a instalação do aterro de inertes, segue-se a etapa da atribuição de ponderações aos atributos. Esta fase tem como objectivo a exclusão das alternativas-espço menos relevantes (“*Direct Rating*”), através do cálculo da agregação dos benefícios, permitindo a visualização das alternativas-espço que melhor se aproximem da solução óptima (fronteira eficiente).

i. “*Direct Rating*”

As ponderações são avaliações realizadas pelo AD que podem ser traduzidas na aplicação de uma escala. No caso em estudo, é utilizada a escala percentual que tem um intervalo de zero a cem por cento (0% a 100%), quer no valor original, quer no peso normalizado. Cada atributo está assinalado nas extremidades pelo sinal positivo (+) e negativo (-) que traduz a ponderação do AD perante a respectiva alternativa-espço como observa-se no Quadro 1.



Quadro 1. Representação esquemática das Ponderações.

| | |
|---|--|
| Localização geográfica (LG) | (+) aproxima-se dos agentes económicos (-) distancia-se dos agentes económicos |
| Acessibilidades (A) | (+) maior facilidade de acesso (-) menor facilidade de acesso |
| Custo de investimento (CI) | (+) possível maior custo de investimento (-) possível menor custo de investimento |
| Impacte na Paisagem (IP) | (+) maior impacte na paisagem (-) menor impacte na paisagem |
| Risco de Contaminação de Recursos Hídricos (RC) | (+) maior risco de contaminação (-) menor risco de contaminação |
| Ruído (R) | (+) maior perturbação no meio Ambiente (-) menor perturbação no meio Ambiente |
| Custo de transporte (CT) | (+) maior custo de transporte (-) menor custo de transporte |

Entende-se por valor original, a ponderação discutida e atribuída pelo AD para os atributos (ou características) definidos. O cálculo da função peso normalizado, em termos matemáticos, é dependente do valor original, como podemos observar através da fórmula:

$$\text{Padrão Peso Normalizado} = \left(\frac{\text{Valor Original}}{\text{Total}} \right) * 100$$

Numa primeira instância, definiu-se o padrão do peso normalizado que é utilizado na seguinte etapa, em multiplicação com os diferentes valores originais das alternativas-espço.



Quadro 2. Valores Originais do Padrão-Peso Normalizado.

| Valores Originais | | |
|-------------------|---|-----------|
| | Localização Geográfica (LG) | 90 |
| | Acessibilidades (A) | 80 |
| | Custo de Investimento (CI) | 70 |
| | Impacte na Paisagem (IP) | 60 |
| | Risco de Contaminação de Recursos Hídricos (RC) | 40 |
| | Ruído (R) | 30 |
| | Custo de Transporte (CT) | 10 |

Os valores originais atribuídos pelo AD têm um desfasamento de 10 valores entre os diferentes atributos, à excepção do intervalo de 20 valores entre os atributos ruído e custo de transporte. O desfasamento ocorre por números inteiros, e maioritariamente num intervalo de 10 valores, porque facilitam a operacionalidade matemática. No entanto, o último atributo sofre um desfasamento de 20 valores porque é dependente do preço praticado mercado, sendo considerado pelo AD de menor importância na tomada de decisão.

O AD decidiu que a hierarquia dos atributos a avaliar, representada em gráfico na Figura 7, teria principal incidência sobre os principais agentes económicos/poluidores que venham a usufruir do aterro de inertes, sendo eles, o sector da construção civil e a população em geral. A selecção dos atributos em causa tem como objectivo minimizar a deposição ilegal de inertes, tendo em conta, a proximidade geográfica aos agentes económicos, as suas acessibilidades, o custo de investimento pelo proponente, o impacte na paisagem assim como da sua inserção, o risco de contaminação dos recursos hídricos, o ruído e por fim, o custo de transporte.

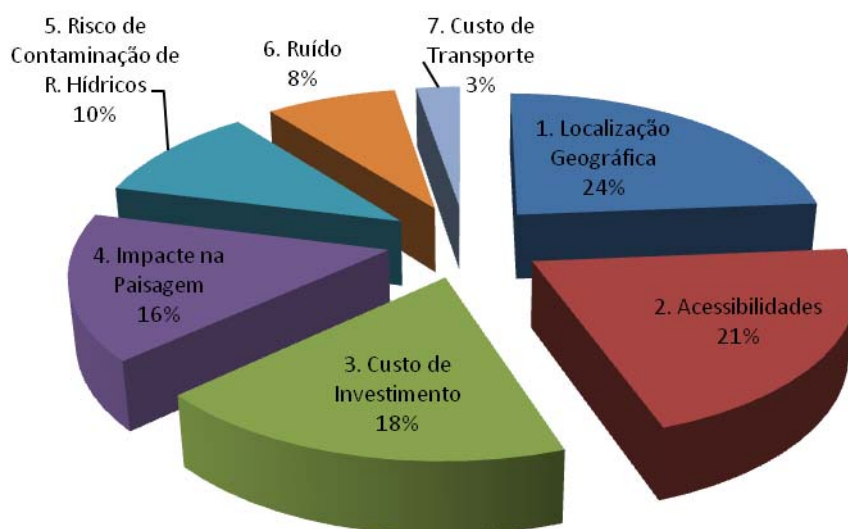


Figura 7. Gráfico representativo do peso normalizado dos atributos.

Nos quadros 3,4,5,6,7 e 8 observam-se as representações esquemáticas relativas às ponderações dos valores originais atribuídas pelo AD a cada alternativa-espço.

Quadro 3. Valor Original (%): AIMIT.

| (%) | LG | A | CI | IP | RC | R | CT |
|-----|----|---|----|----|----|---|----|
| 100 | + | + | + | + | + | + | + |
| 90 | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 0 | - | - | - | - | - | - | - |

Na alternativa-espço AIMIT, a maior ponderação atribuída foi relativa à localização geográfica (90%) e a menor ao custo de investimento (10%).



Quadro 4. Valor Original (%): Açorbuild.

| (%) | LG | A | CI | IP | RC | R | CT |
|------------|----|---|----|----|----|---|----|
| 100 | + | + | + | + | + | + | + |
| 90 | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 0 | - | - | - | - | - | - | - |

Na Açorbuild, a maior ponderação atribuída foi relativa ao custo de transporte (80%) e a menor ao custo de investimento (40%).

Quadro 5. Valor Original (%): Tecnovia.

| (%) | LG | A | CI | IP | RC | R | CT |
|------------|----|---|----|----|----|---|----|
| 100 | + | + | + | + | + | + | + |
| 90 | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 0 | - | - | - | - | - | - | - |

Na Tecnovia, a maior ponderação atribuída foi relativa ao Custo de Transporte (70%) e a menor ao custo de investimento (40%).



Quadro 6. Valor Original (%): SS_01.

| (%) | LG | A | CI | IP | RC | R | CT |
|------------|----|---|----|----|----|---|----|
| 100 | + | + | + | + | + | + | + |
| 90 | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 0 | - | - | - | - | - | - | - |

Na alternativa SS_01, a maior ponderação atribuída foi relativa ao Custo de Investimento (90%) e a menor ao Risco de Contaminação dos recursos hídricos (40%).

Quadro 7. Valor Original (%): SS_02.

| (%) | LG | A | CI | IP | RC | R | CT |
|------------|----|---|----|----|----|---|----|
| 100 | + | + | + | + | + | + | + |
| 90 | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 0 | - | - | - | - | - | - | - |



Na alternativa SS_02, a maior ponderação atribuída foi relativa ao Impacte na Paisagem (80%) e a menor ao Risco de Contaminação dos recursos hídricos (40%).

Quadro 8. Valor Original (%): Alt._03.

| (%) | LG | A | CI | IP | RC | R | CT |
|------------|----|---|----|----|----|---|----|
| 100 | + | + | + | + | + | + | + |
| 90 | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | |

Na alternativa Alt._03, a maior ponderação atribuída foi relativa ao Custo de Transporte (90%) e a menor à Localização Geográfica (30%).

O conceito “benefícios agregados” é um índice económico que expressa a hierarquização do AD perante as diferentes alternativas. Desta forma, calculou-se os benefícios agregados, em função de cada valor original atribuído, para cada alternativa-espaco. Este cálculo tem o objectivo de reunir todas as características favoráveis à tomada de decisão. A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\text{Benefícios Agregados} = \frac{\sum (\text{Peso Normalizado} \times \text{Valor Original alt. espaco})}{100}$$

Segundo Bana e Costa (1988), o problema fundamental subjacente à utilização da técnica SMART é o facto da explicitação das ponderações dos vários atributos. Este processo depende da perspectiva do AD sobre o assunto (ou matéria) em causa.



O Quadro 9 é uma síntese das ponderações dos valores originais, atrás representadas, juntamente com o cálculo dos benefícios agregados.

Quadro 9. Benefícios Agregados das alternativas-espço.

| Técnica SMART (%) | SS_01 | SS_02 | Tecnovia | Alt._03 | Açorcuild | AIMIT |
|---|--------------|--------------|-----------------|----------------|------------------|--------------|
| 1.Proximidade Geográfica | 70 | 70 | 50 | 30 | 60 | 90 |
| 2.Acessibilidades | 50 | 60 | 60 | 40 | 60 | 60 |
| 3.Custo de Investimento | 80 | 60 | 40 | 50 | 40 | 0 |
| 4. Impacte na Paisagem | 70 | 80 | 50 | 60 | 50 | 60 |
| 5. Risco de Contaminação de Recursos Hídricos | 40 | 40 | 50 | 50 | 60 | 70 |
| 6. Ruído | 70 | 60 | 50 | 40 | 50 | 50 |
| 7. Custo de Transporte | 60 | 60 | 80 | 90 | 70 | 50 |
| Total | 440 | 430 | 380 | 340 | 390 | 380 |
| Benefícios Agregados | 64 | 63 | 51 | 45 | 54 | 52 |

As ponderações da proximidade geográfica revelam que o AIMIT é a alternativa mais próxima dos agentes poluidores (população e sector da construção civil), sendo atribuído um valor de 90%. Em oposição, a alternativa dos Altares é a mais distante do aglomerado populacional, apresentado um valor de 30%. À mesma distância e com a mesma ponderação estão as alternativas da Freguesia de S.Sebastião, com uma percentagem de 70%. Entre a alternativa Tecnovia e Açorbuid a diferença da ponderação é de 10% porque existe pequena distância entre estas alternativas.

O segundo atributo, a justificar, refere-se ao estado das acessibilidades, baseado no estado da asfaltagem dos caminhos de acesso, assim como da própria entrada nas alternativas. A ponderação mais elevada corresponde a 60% para as alternativas SS_02, Tecnovia, Açorbuid e AIMIT porque o caminho de acesso (Via Rápida Vitorino Menésio) tem boa asfaltagem, assim como da sua entrada. No entanto, a diferença de ponderação dos Altares para a de SS_01 é de 10% porque a primeira alternativa tem uma localização em média altitude, enquanto a alternativa de SS_01 é mais próxima dos agentes poluidores. A SS_01 não tem



acessibilidade de asfaltagem na sua entrada, factor que diferencia das restantes alternativas de maior ponderação.

No atributo, relativo ao custo de investimento, o AD, tomou conhecimento dos requisitos mínimos exigidos (caminhos de acesso, vedação das instalações, centro de triagem, entre outros) pelas leis já mencionadas, assim como da necessidade de ter em conta o custo da contratação do pessoal. A diferenciação das ponderações foi baseada nas visitas de campo aos locais, e do levantamento dos investimentos que se podem realizar futuro. Vejamos o caso da maior ponderação, respeitante à alternativa SS_01, em que no futuro, o investimento pode ser elevado devido ao facto do ajuste da circulação e acesso ao local. A ponderação de 0% do AIMIT deve-se ao facto de ter deixado de receber os resíduos de natureza inerte a partir do mês de Abril do ano 2008. As alternativas Açorbuild e Tecnovia têm a mesma ponderação (40%) porque têm requisitos de licenciamento (ou em fase) e, no futuro, os investimentos servirão para melhoramento da sua eficácia. A alternativa SS_02 tem maior área o que implica um investimento considerável na vedação, em relação à alternativa SS_01. Nos Altares, os investimentos a realizar incidem, principalmente, sobre a vedação e a facilidade de acesso, sendo atribuída uma ponderação de 50%.

Quanto ao impacto do aterro de inertes na paisagem, atribuiu-se a maior ponderação à alternativa SS_02 porque é possível a sua visualização da estrada regional, logo apresenta uma ponderação de 80%. Seguida, com uma ponderação de 70% está a alternativa SS_01 porque é menos visível, mas no entanto está próximo da população da freguesia. As alternativas AIMIT e Alt._03 têm a mesma ponderação (60%) e causam maior impacte na paisagem do que as alternativas Açorbuild e Tecnovia (50%).

A dificuldade da atribuição das ponderações ao atributo risco de contaminação de recursos hídricos deve-se ao facto da escassez de informação disponível. No entanto, considera-se que a alternativa AIMIT apresenta maior risco de contaminação dos recursos hídricos, de 70%, pelo pressão existente do aterro actual, sendo a ponderação a mais elevada. A Açorbuild apresenta 60% de risco de contaminação visto que observa-se a bacia hidrográfica respeitante à fuma de água. As alternativas da Tecnovia e dos Altares têm a mesma ponderação



(50%) porque, embora seja menor a lixiviabilidade dos inertes, existe sempre risco de contaminação do recurso hídrico. O levantamento das captações e das nascentes na freguesia de São Sebastião (SS_01 e SS_02) e das alternativas em estudo não estão localizadas nas proximidades das estruturas mapeadas, mas têm uma ponderação de 40% devido à possibilidade do risco de contaminação.

O atributo ruído, além de ter menor peso normalizado, está presente no caso em estudo pela possibilidade de afectar o meio ambiente, incluindo o Homem e todos os seres vivos. A ponderação do ruído é mais elevada, com 70%, na alternativa SS_01 por está mais próxima da população, em comparação com a alternativa SS_02. As restantes alternativas não estão localizadas perto da população residente mas com a possibilidade da instalação do aterro não é excluída a hipótese de perturbação dos diversos organismos existentes no meio ambiente. A única diferenciação está patente na ponderação dos Altares, com 40%, visto que esta encontra-se a média altitude.

O último parâmetro a considerar na escolha de uma alternativa-espço é a avaliação do custo de transporte. O levantamento do preço praticado no “mercado da ilha” tem como unidade euros por hora. Desta forma, as ponderações foram atribuídas através da relação de “quanto maior for a distância das alternativas até à fonte poluidora, maior o custo de transporte”. Vejamos que a maior ponderação foi atribuída à alternativa Altares, com 90%, porque o custo de transporte é mais elevado por distanciar-se dos locais com maior índice de população. Em oposição, encontra-se o AIMIT com um valor de 50% o que corresponde a uma maior aproximação e consequentemente a menor custo de transporte. As restantes ponderações foram atribuídas consoante as distâncias, sendo respectivamente, 80% para a Tecnovia, 70% para a Açorbuild, 60% para as alternativas de S. Sebastião.

Os volumes, descritos no quadro 10, foram cedidos pelas próprias empresas e/ou estimados segundo informações colhidas nas cartas georeferenciadas com a ajuda dos sistema de informação geográfico.

A alternativa AIMIT tem capacidade nula, visto que não recebe mais resíduos inertes. As capacidades das alternativas-espço Açorbuild e Tecnovia foram cedidas pelas empresas. É de referir, que a Açorbuild está na fase de



licenciamento para aterro de inertes e a Tecnovia encontra-se licenciada. No caso em estudo, a presença destas duas últimas alternativas tem como objectivo marcar a diferença entre as restantes alternativas definidas.

Os cálculos dos volumes das alternativas-espço SS_01, SS_02 e Alt._03 foram estimados.

Através da aplicação da fórmula dos benefícios agregados, resultou a seguinte hierarquia e eficiência das alternativas-espço, SS_01, SS_02, Açorbuild, AIMIT, Tecnovia e, por fim, Alt._03.

Quadro 10. Volumes Estimados para cada Alternativa.

| Alternativas- Espaço | Capacidade (m³) |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| AIMIT | 0 |
| Açorbuild* | 274.512,40 |
| Tecnovia* | 121.500,00 |
| SS_01 | 12.947,00 |
| SS_02 | 174.006,65 |
| Alt._03 | 105.155,00 |

ii. Fronteira Eficiente

Segundo Bana e Costa (1988), a fronteira eficiente é definida pela agregação dos benefícios em detrimento de uma componente que determina a solução próxima do óptimo. No caso em estudo, a componente utilizada foi a capacidade (ou volume) de cada alternativa-espço, pois esta determina o tempo de vida útil de um aterro de inertes. O AD tem o objectivo de encontrar a alternativa-espço que, além de ter um elevado índice dos benefícios agregados, tenha uma capacidade considerável que permita a realização do investimento e a sua durabilidade por um longo período de tempo.

A figura 8. representa a fronteira eficiente, na qual se apresentam as alternativas-espço que oferecem melhores condições, próximas da solução óptima. No caso em estudo, a fronteira eficiente é constituída pelas alternativas SS_01, SS_02 e Açorbuild, as restantes alternativas são excluídas porque não se aproximam da solução óptima, sendo AIMIT, a Tecnovia e a Alt._03.

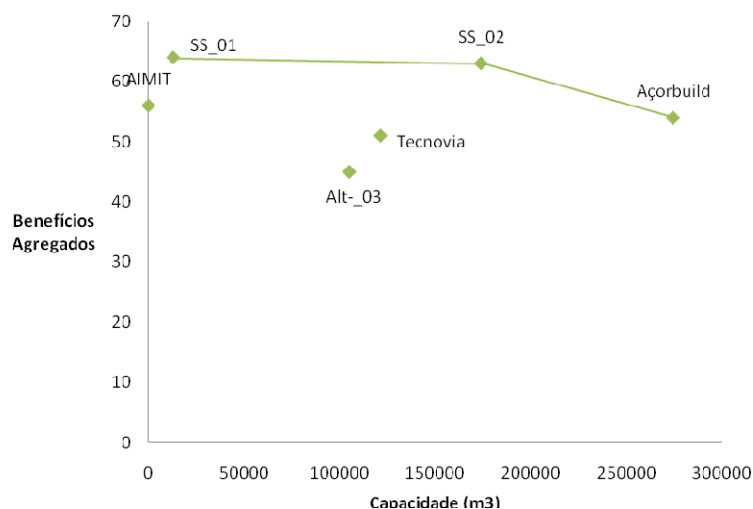


Figura 8. Gráfico representativo da fronteira eficiente.

A tomada da decisão provisória baseia-se na escolha de uma das alternativas que constitui a barreira eficiente, mas que no caso em estudo apresente uma capacidade considerável que permita a viabilidade económica do aterro de inertes no futuro. A situação da alternativa SS_01 em que o índice dos benefícios agregados tem um valor elevado mas apresenta uma capacidade reduzida. No caso da Açorbuild, além de possuir um considerável volume, não apresenta elevado índice nos benefícios agregados. A alternativa SS_02 aproxima-se da solução óptima, mas é incerta quanto ao índice dos benefícios agregados, pois diferencia-se da SS_01 em apenas uma unidade. Para tal aconselha-se a realização de uma análise de sensibilidade.

iii. Análise de Sensibilidade;

Segundo Tavares *et al.* (2003), uma análise de sensibilidade, principalmente aplicada na área da programação linear, procura determinar o efeito de uma variação de um determinado parâmetro no seu valor total. Neste contexto, a análise de sensibilidade é efectuada com a intenção de medir a variação (aumento ou diminuição) dos factores mais relevantes, associados a uma maior incerteza, de modo a que conduza à eficácia da tomada de decisão final. A maior incerteza (ou conflito) reside nas ponderações referentes aos atributos, proximidade geográfica, acessibilidades e custo de investimento. No Quadro 11



observamos os valores originais alterados (assinalados a *itálico*) em relação aos valores existentes no Quadro 9.

Quadro 11. Benefícios Agregados após Análise de Sensibilidade.

| Técnica SMART (%) | SS_02 | Açorcuilid | SS_01 |
|---|--------------|-------------------|--------------|
| 1.Proximidade Geográfica | <i>50</i> | 60 | <i>50</i> |
| 2.Acessibilidades | <i>55</i> | 60 | <i>30</i> |
| 3.Custo de Investimento | 60 | 40 | 80 |
| 4. Impacte na Paisagem | 80 | 50 | 70 |
| 5. Risco de Contaminação de Recursos Hídricos | 40 | 60 | 40 |
| 6. Ruído | 60 | 50 | 70 |
| 7. Custo de Transporte | 60 | 70 | 60 |
| Total | 405 | 390 | 400 |
| Benefícios Agregados | <i>58</i> | <i>54</i> | <i>55</i> |

Supôs-se que, nas alternativas de S. Sebastião, a proximidade geográfica poderia ser reduzida para 50% visto que a sua localização é intermédia entre os dois concelhos da ilha Terceira.

Nas acessibilidades considerou-se uma redução mínima de 5% na alternativa SS_02 e de 20% na SS_01. Estas reduções devem-se ao facto do tipo de asfaltagem não ser de qualidade na alternativa SS_02 e, no caso, da alternativa SS_01 não permitir a facilidade de circulação no terreno.

Desta forma, a hierarquia das alternativas quanto aos benefícios agregados altera-se, passando a ser a primeira alternativa, SS_02, SS_01 e Açorbuild. Neste cenário e em relação ao Quadro 9 os benefícios agregados decresceram de 64 para 55, o que comprova a subjectividade das ponderações atribuídas.

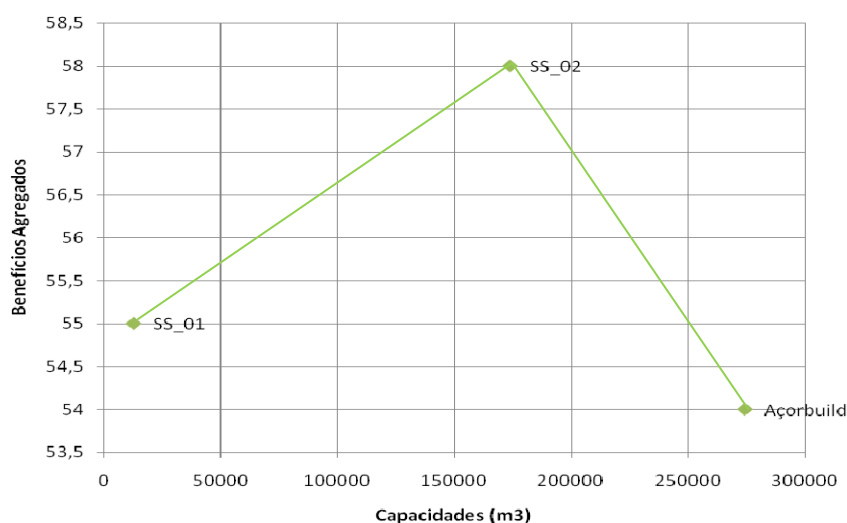


Figura 6. Gráfico representativo da Análise de Sensibilidade.

Na Figura 9. verificam-se os benefícios agregados da fronteira eficiente, alvo de uma análise de sensibilidade, em função da capacidade. Observa-se que a alternativa SS_02 tem potencial para se instalar um aterro de inertes, visto que tem grande capacidade (ou volume) e elevado índice nos benefícios agregados.

A tomada de decisão final tem como objectivo escolher a alternativa que melhor adequa-se à resolução do problema comparado com a alteração do “cenário”. Numa primeira instância, observa-se que havia maior agregação dos benefícios na alternativa-espço SS_01, mas o reduzido volume era o único factor limitante.

Com a alteração do “cenário”, recorrendo-se à análise de sensibilidade às alternativas-espço da fronteira eficiente, constata-se que SS_02 é a alternativa-espço que melhor adequa-se à resolução do problema de gestão ambiental. Na análise apenas modificaram-se as ponderações dos valores originais dos atributos proximidade geográfica e acessibilidades por pensar que são os mais conflituosos, partindo da subjectividade das ponderações do decisor.

Escolhida a alternativa espço com maior potencial para a instalação de um aterro de inertes na ilha Terceira lança-se o desafio da análise pormenorizada das condicionantes como, planos de gestão, características físicas do território, capacidade de carga, modelação do terreno base e do futuro aterro, uso do solo, tipo de solo e as potencialidades entre outros factores.



CONCLUSÃO

Conclui-se que é na tomada de decisão final que o papel do Agente de Decisão passa pela responsabilidade de realizar uma análise exaustiva da informação que implica a resolução do problema de gestão ambiental.

A atribuição das ponderações pelo AD permitiu definir o padrão do peso normalizado dos atributos pela seguinte ordem e respectivo peso normalizado, proximidade geográfica (24%), acessibilidades (21%), custo de investimento (18%), impacte na paisagem (16%), risco de contaminação de recursos hídricos (10%), ruído (8%) e por fim, custo de transporte (3%).

Na formulação da fronteira eficiente, a técnica SMART permitiu a inclusão das alternativas-espço SS_01, SS_02 e Açorbuild, excluindo as alternativas-espço AIMIT, Alt._3 e Tecnovia da análise de sensibilidade. A avaliação ocorreu através da fórmula do índice dos benefícios agregados, através dos diferentes valores originais atribuídos pelo AD. A capacidade (ou volume) foi o factor decisivo na inclusão e exclusão das respectivas alternativas-espço. A técnica permitiu, numa primeira instância, observar que a alternativa SS_01 apesar da maior relação entre os benefícios agregados não tinha capacidade suficiente que garantisse a sua viabilidade económica.

Na análise de sensibilidade os valores originais alterados incidiram, principalmente, nos atributos proximidade geográfica e acessibilidades devido à subjectividade da situação, o que permitiu traçar outro “cenário” do problema. A alternativa SS_02, após a análise de sensibilidade, apresentou um índice dos benefícios agregados na ordem dos 58 com um volume considerável de 174.006,65 m³.

Nesta situação, e tomando como base, a informação presente neste relatório, sugere-se a tomada de decisão sobre a alternativa SS_02 porque aparenta, uma situação de maior relação entre os atributos considerados.

No decorrer do estudo efectuado às seis alternativas-espço concedidas pelos Serviços de Ambiente da ilha Terceira, verificou-se que a alternativa-espço SS_02 é a área da Ilha Terceira que apresenta condições para a instalação de um aterro de inertes pela relação dos benefícios agregados em função da capacidade (volume) de cada alternativa-espço.



Referências Bibliográficas

- Calker K., Berensten P. , Romero C., Giesen G., Huirne R. 2006. *Development and application of a multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems*. Ecological Economics. 57:640-658.
- Costa C., 1988. *Introdução Geral às Abordagens Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão*. Vol.8. pp.117-139. Lisboa.
- Correia R., 2002. *Acompanhamento e avaliação de espaços para a deposição de inertes em condições Ambientalmente adequadas na Ilha da Madeira*. pp. 3-128. Relatório de Estágio. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.
- Crittendem B. e Kolaczowski S., 1995. *Waste Minimization (a practical guide)*. pp.2-13.
- Núcleos Urbanos de Pesquisa e Intervenção, 2006. *Gestão de Agregados e Sucatas*. pp.9-135. Lisboa.
- Keeney R. e Raiffa H., 1976. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. pp. 7-27. Wiley. New York.
- Kijak R. e Moy D., 2004. *A Decision Support Framework for Sustainable Waste Management*. Journal of Industrial Ecology. Vol.8, (3): 33-50.
- Oliveira J. F., 2006. *Gestão Ambiental*. pp.3-6. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Parreiras R. 2006. *Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério*, pp. 38-48. Tese em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção de título de Doutor. Escola de Engenharia UFMG.
- Rodrigues F.C., 2002. *Hidrologia da Ilha Terceira (Açores-Portugal)*. Dissertação para efeito de obtenção do grau de Doutor no Ramo de Engenharia do Ambiente. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.
- Romero C., 1994. *Economía de los recursos ambientales y naturales*. pp. 149-171. Alianza Editorial. Madrid.
- S.R.A.M. e Governo dos Açores, 2007. *PEGRA- Plano Estratégico De Gestão De Resíduos Dos Açores*. pp. 38-39. Horta.



Secretaria Regional do Ambiente (S.R.A.), 2004. *Relatório do Estado do Ambiente dos Açores- 2003*. pp.84-85. Horta.

Secretaria Regional do Ambiente (S.R.A.), 2006. *Relatório do Estado do Ambiente dos Açores- 2005*. pp.75-78. Horta.

Tavares L., Oliveira R., Themido I. e Correia F., 2003. *Investigação Operacional*. pp.363-434. Lisboa.

Webgrafia

[1] Serviço Regional de Estatística dos Açores.

<http://estatistica.azores.gov.pt/upl/%7B564c3c10-6fcb-457c-a6ff-d10ee1bd4e00%7D.pdf>.

Acedido a 25 de Fevereiro de 2009.

[2] Análise Multicritério da presença da Universidade Federal Fluminense.

<<http://www.uff.br/decisao/RevProducao.pdf>.> Acedido a 17 de Abril de 2008.