

Patrícia Maria dos Santos Martins



**Modelo de decisão para avaliar a utilização sustentável
das tecnologias de informação**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professor Doutor António Grilo

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Virgílio António Cruz Machado
Vogais: Prof. Doutor Nuno Videira Costa
Prof. Doutor António Bárbara Grilo



Março de 2012

Modelo de decisão para avaliar a utilização sustentável das tecnologias de informação

Copyright:

Patrícia Maria dos Santos Martins, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao professor António Grilo, pela orientação, mas também pelas palavras de motivação e de incentivo à melhoria enquanto pessoa e profissional.

Às empresas que preencheram o questionário e que permitiram que este estudo fosse feito, Envall, Olitrem e Vortal. Um agradecimento especial à Envall pela possibilidade de crescimento e aprendizagem que me proporcionou.

Aos meus pais, por tudo. À minha mãe por me ensinar a força. Ao meu pai por me ensinar a coragem.

À minha irmã, por sempre discutir comigo as outras perspetivas do mundo.

Aos meus amigos, principalmente aos que me ofereceram as melhores palavras de incentivo nesta fase. Um obrigada especial aos que mais me acompanharam nestes últimos tempos. Por tudo.

Resumo

Com os crescentes problemas associados ao elevado consumo energético e à emissão de poluentes para a atmosfera, as preocupações em torno da sustentabilidade ganham uma dimensão considerável. Aproximadamente 2% destas emissões são provocadas pelo setor das tecnologias de informação. Os parâmetros associados ao *green IT* são uma ferramenta com a capacidade de controlar e reduzir a pegada de carbono provocada pelas tecnologias de informação, supondo a adoção de iniciativas sustentáveis ao longo do ciclo de vida de um equipamento.

No contexto empresarial, com o aumento da utilização das TIC, o consumo de energia aumenta gradualmente e as opiniões relativamente ao *green IT* dividem-se. Enquanto algumas empresas defendem que as práticas sustentáveis estão fora dos seus limites de ação, outras encaram as iniciativas verdes como um benefício para o negócio.

O principal objetivo deste estudo é conceber um modelo de decisão que apoie as empresas na utilização sustentável das tecnologias de informação. Adicionalmente pretende-se testar a aplicabilidade do modelo, verificando a implementação dos parâmetros de *green IT* nas empresas. Para tal, foram feitas comparações par a par entre os critérios correspondentes ao comportamento humano e à redução da energia consumida pelas infraestruturas, sendo obtidos pesos para cada parâmetro. Estes pesos foram considerados no contexto organizacional, ficando a conhecer-se o grau de implementação das iniciativas sustentáveis nas empresas estudadas.

A aplicabilidade do modelo ficou provada, apesar de ser necessário um maior número de dados para permitir o seu emprego em contexto real. Os testes aplicados aos casos de estudo permitiram concluir que a empresa com uma utilização mais sustentável das tecnologias é a empresa de prestação de serviços.

Palavras-chave: Tecnologias de Informação, Sustentabilidade, *Green IT*, *fuzzy AHP*, TOPSIS

Abstract

With the growing problems linked to the high energy consumption and the emissions of greenhouse gases into the atmosphere, concerns about sustainability are gaining substantial extent. Nearly 2% of these emissions are caused by the information technology sector. The parameters associated with green IT are a suitable tool to control and reduce the carbon footprint caused by the IT sector, determining the adoption of sustainable initiatives throughout the product lifecycle.

Referring to the business context, with the raise of ICT usage, the energy consumption is gradually increasing and the opinions about the green IT are divided. While some companies are defending that sustainable practices are outside of its boundaries, others are taking green initiatives as a business value.

The main purpose of this study is to conceive a decision model to support companies within the use of sustainable information technologies. Additionally it is expected to test the applicability of the model, verifying the implementation of the parameters of green IT in enterprises. In order to do that, pairwise comparisons referring to human behavior and reduction of energy consumption by infrastructures were made, and the weights of the parameters were obtained. These weights were applied in the organizational context, allowing the knowledge of the implementation level related to sustainable initiatives in the scope of the companies studied.

The applicability of the created model has been established, although it is necessary to gather a higher number of data to enable its use in a real context. The tests applied to case studies demonstrate that the company with the most sustainable use of technologies is the services provider company.

Keywords: Information Technology, Sustainability, Green IT, fuzzy AHP, TOPSIS

Índice

Agradecimentos	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice de figuras.....	xv
Índice de tabelas.....	xvii
Lista de abreviaturas.....	xxi
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento e motivação	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura do documento	3
2. Tecnologias de informação e sustentabilidade	5
2.1 Tecnologias de informação	5
2.1.1 Conceito	5
2.2 Desenvolvimento sustentável.....	6
2.2.1 Conceito	6
2.2.2 Importância.....	7
2.2.3 Emissões de gases poluentes e a pegada de carbono	7
2.2.4 Preocupações e o papel das empresas	9
2.2.5 As TI e o ambiente	10
2.3 <i>Green IT</i> : a sua importância no desenvolvimento sustentável	14
2.3.1 Motivações para o surgimento do <i>green IT</i>	15
2.3.2 Incentivos e regulamentação ambiental	19
2.3.3 Estratégias de otimização energética	20
2.4 <i>Green IT</i> no contexto empresarial.....	33
2.4.1 Implementação do <i>green IT</i>	35
2.5 Benefícios e implicações do <i>green IT</i>	37

3. Modelos para tomada de decisão.....	39
3.1 Avaliação de alternativas	40
3.2 <i>Fuzzy sets</i>	41
3.3 AHP e Fuzzy AHP	43
3.3.1 AHP clássico	43
3.3.2 Fuzzy AHP.....	47
3.4 TOPSIS	50
4. Modelo para avaliação da utilização sustentável das TIC.....	55
4.1 Descrição do modelo.....	55
4.1.1 Definição dos critérios e subcritérios.....	56
4.1.2 Representação hierárquica do problema	56
4.2 Metodologia de aplicação do modelo.....	58
4.2.1 Tipo de questionário aplicado	58
4.2.2 Estabelecimento das prioridades entre critérios	58
4.2.3 A utilização do <i>fuzzy AHP</i> e do TOPSIS	60
5. Estudos de caso	63
5.1 Recolha de dados para o estudo do modelo	63
5.1.1 Âmbito e tipo de empresa	63
5.1.2 Caso de estudo 1: Envall e Cia. Ltda.	64
5.1.3 Caso de estudo 2: Olitrem S.A.	64
5.1.4 Caso de estudo 3: Vortal	65
5.2 Pesos dos critérios do modelo: método <i>fuzzy AHP</i>	66
5.2.1 Análise comparativa das empresas	66
5.3 Teste de aplicabilidade do modelo: método TOPSIS	69
5.4 Discussão de resultados	71
5.5 Vantagens e limitações do <i>fuzzy AHP</i> e do TOPSIS	71
6. Conclusões e sugestões de trabalho futuro	73
7. Referências Bibliográficas	75
8. Apêndices	81
Apêndice A Questionários aplicados	81
Apêndice A.1 Questionários de comparação par a par	81

Apêndice A.2	Questionários de definição do grau de implementação dos critérios.....	89
Apêndice A.3	Explicação dos parâmetros do modelo presentes no questionário.....	91
Apêndice B	Preenchimento dos questionários	93
Apêndice B.1	Grau de implementação dos critérios e subcritérios em cada empresa	93
Apêndice C	Comparações par a par de cada empresa.....	97
Apêndice C.1	97
Apêndice C.2	Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares	103
Apêndice D	Passos para a resolução do <i>fuzzy</i> AHP	109
Apêndice E	Passos para a resolução do TOPSIS.....	113

Índice de figuras

Figura 1.1 – Representação esquemática da metodologia aplicada	3
Figura 2.1 – Definição esquemática de sustentabilidade	6
Figura 2.2 – A pegada de carbono mundial provocada pelas TIC.....	8
Figura 2.3 – Emissões do setor das TIC em Portugal, divididas por subsetor	8
Figura 2.4 – Preocupações que conduzem à sustentabilidade por parte das empresas.....	10
Figura 2.5 – Representação da rota que conduz os equipamentos eletrónicos para os países menos desenvolvidos.....	13
Figura 2.6 – A importância das iniciativas verdes no conceito de sustentabilidade	14
Figura 2.7 – Principais objetivos associados à implementação do <i>green IT</i>	17
Figura 2.8 – Algumas estratégias de utilização sustentável das TI.....	23
Figura 2.9 – Evolução do número de equipamentos acreditados vendidos	24
Figura 2.10 – Excerto da tabela de López-Vallejo et al. (2008), representando os consumos de monitores CRT e LCD dependendo do tamanho.....	26
Figura 2.11 – Comparação de consumos e emissões para os computadores de secretária e os <i>thin-client</i>	28
Figura 2.12 – Representação das infraestruturas de <i>cloud computing</i>	29
Figura 2.13 – Razões que levam uma empresa a adotar iniciativas sustentáveis	34
Figura 2.14 – Implementação de estratégias de <i>green IT</i> nas empresas	36
Figura 2.15 – Fases fundamentais para a implementação do <i>green IT</i> numa empresa	37
Figura 2.16 – Vantagens da utilização do <i>green IT</i>	38
Figura 3.1 – Representação das fases de um processo de decisão multicritério	40
Figura 3.2 – Esquema para avaliação de alternativas	41
Figura 3.3 – Representação dos números <i>fuzzy</i> triangulares	42
Figura 3.4 – Estrutura hierárquica do método AHP	44
Figura 3.5 – Intersecção entre M1 e M2	50
Figura 3.6 – Representação da distância ao ideal e ao anti-ideal.....	51
Figura 3.7 – Passos para aplicação do método TOPSIS	52
Figura 4.1 – Representação hierárquica dos critérios e subcritérios relativamente ao objetivo principal de utilização sustentável das tecnologias de informação.....	57

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Fatores que justificam a adoção do <i>green IT</i>	17
Tabela 3.1 – Escala para comparação par a par	45
Tabela 3.2 – Índice de consistência aleatório	47
Tabela 3.3 – Números <i>fuzzy</i> utilizados para comparação par a par.....	48
Tabela 3.4 – Matriz de decisão	52
Tabela 4.1 – Definição da nomenclatura correspondente a cada critério e subcritério	59
Tabela 4.2 – Exemplo de preenchimento da primeira parte do questionário	60
Tabela 5.1 – Agregação dos valores das matrizes de comparação par a par de cada empresa para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	67
Tabela 5.2 – Agregação dos valores das matrizes de comparação par a par de cada empresa para os critérios principais.....	68
Tabela 5.3 – Agregação dos valores das matrizes de comparação par a par de cada empresa para o critério <i>comportamento humano</i>	68
Tabela 5.4 – Representação dos pesos dos critérios associados a cada subcritério	69
Tabela 5.5 – Matriz de decisão para os critérios e subcritérios selecionados e respetivos pesos	70
Tabela 5.6 – Alternativas ordenadas por ordem descendente de implementação de iniciativas de <i>green IT</i>	70
Tabela A.1– Avaliação da importância de cada critério relativamente ao objetivo "Green IT na utilização"	82
Tabela A.2 – Avaliação da importância de cada subcritério relativamente ao critério "Comportamento humano"	82
Tabela A.3 – Avaliação da importância de cada subcritério relativamente ao critério "Redução da energia consumida pelas infraestruturas"	83
Tabela A.4 – Definição linguística para a classificação dos critérios.....	89
Tabela A.5 – Avaliação da implementação de cada critério na empresa em estudo	89
Tabela A.6 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Envall e Cia. Ltda.	93
Tabela A.7 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Olitrem.....	94
Tabela A.8 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Vortal (1)	95
Tabela A.9 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Vortal (2)	96
Tabela A.10 – Comparações par a par da empresa Envall e Cia. Ltda. para os critérios principais	97
Tabela A.11 – Comparações par a par da empresa Olitrem para os critérios principais	97
Tabela A.12 – Comparações par a par da empresa Vortal (1) para os critérios principais	97
Tabela A.13 – Comparações par a par da empresa Vortal (2) para os critérios principais	97

Tabela A.14 – Comparações par a par da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério <i>comportamento humano</i>	97
Tabela A.15 – Comparações par a par da empresa Olitrem para o critério <i>comportamento humano</i>	97
Tabela A.16 – Comparações par a par da empresa Vortal (1) para o critério <i>comportamento humano</i>	98
Tabela A.17 – Comparações par a par da empresa Vortal (2) para o critério <i>comportamento humano</i>	98
Tabela A.18 – Comparações par a par da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	99
Tabela A.19 – Comparações par a par da empresa Olitrem para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	100
Tabela A.20 – Comparações par a par da empresa Vortal (1) para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	101
Tabela A.21 – Comparações par a par da empresa Vortal (2) para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	102
Tabela A.22 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Envall e Cia. Ltda. para os critérios principais	103
Tabela A.23 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Olitrem para os critérios principais.....	103
Tabela A.24 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Vortal (1) para os critérios principais.....	103
Tabela A.25 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Vortal (2) para os critérios principais.....	103
Tabela A.26 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério <i>comportamento humano</i>	103
Tabela A.27 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Olitrem para o critério <i>comportamento humano</i>	104
Tabela A.28 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Vortal (1) para o critério <i>comportamento humano</i>	104
Tabela A.29 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Vortal (2) para o critério <i>comportamento humano</i>	104
Tabela A.30 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	105
Tabela A.31 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Olitrem para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	106
Tabela A.32 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Vortal (1) para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	107
Tabela A.33 – Comparações par a par com números <i>fuzzy</i> triangulares da empresa Vortal (2) para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	108

Tabela A.34 – Valor <i>fuzzy</i> sintético para os critérios principais	109
Tabela A.35 – Valor <i>fuzzy</i> sintético para o critério <i>comportamento humano</i>	109
Tabela A.36 – Valor <i>fuzzy</i> sintético para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	109
Tabela A.37 – Grau de possibilidade para os critérios principais	109
Tabela A.38 – Grau de possibilidade para o critério <i>comportamento humano</i>	110
Tabela A.39 – Grau de possibilidade para o critério <i>redução da energia consumida pelas infraestruturas</i>	111
Tabela A.40 – Matriz de decisão para os critérios selecionados e respectivos pesos.....	113
Tabela A.41 – Matriz de decisão normalizada	113
Tabela A.42 – Matriz de decisão normalizada ponderada.....	114
Tabela A.43 – Solução ideal positiva e ideal negativa para cada critério.....	114
Tabela A.44 – Distância de cada alternativa às soluções	115
Tabela A.45 – Proximidade relativa às soluções	115

Lista de abreviaturas

ACPI	<i>Advanced Configuration and Power Interface</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BSI	<i>British Standards Institute</i>
CI	<i>Consistency index</i>
CR	<i>Consistency ratio</i>
CRT	<i>Cathode Ray Tube</i>
CSR	<i>Corporate Social Responsibility</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPEAT	<i>Electronic Product Environmental Assessment Tool</i>
EuP	<i>Eco-Design for Energy Using Products</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IT	<i>Information Technology</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MADM	<i>Multiple Attribute Decision Making</i>
MCDM	<i>Multi-criteria Decision Making</i>
MODM	<i>Multiple Objective Decision Making</i>
ONG	Organizações Não Governamentais
PUE	<i>Power Use Effectiveness</i>
REACH	<i>Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals</i>
RI	<i>Random index</i>
RoHS	<i>Restriction of Hazardous Substances Directive</i>
TI	Tecnologias de Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
WEEE	<i>Waste Electrical and Electronic Equipment</i>

Introdução

1.1 Enquadramento e motivação

O setor das tecnologias de informação (TI) é responsável por cerca de 2% das emissões de dióxido de carbono a nível mundial, ou seja, cerca de 600 milhões de toneladas por ano. Se não forem tomadas medidas, este valor tenderá a aumentar gradualmente (Walsh, 2007). O consumo de energia por parte das empresas é cada vez maior, conduzindo a um aumento das emissões de dióxido de carbono e do consequente efeito de estufa.

A consciência ambiental tende a aumentar e as empresas começam a encarar as iniciativas sustentáveis como um recurso imprescindível ao negócio, mas também importante para o ambiente. O *green IT* refere-se à produção, gestão, utilização e eliminação das tecnologias de informação de forma a provocar o mínimo impacto no ambiente (Walsh, 2007).

No âmbito deste trabalho, são estudadas de forma mais aprofundada as estratégias de *green IT* relacionadas com a utilização das tecnologias. São inúmeros os parâmetros que podem ser considerados quando se fala em utilização sustentável, desde critérios relacionados com o comportamento humano até critérios que supõem infraestruturas mais sustentáveis. Os parâmetros para a utilização de *green IT* serão explicados oportunamente no Capítulo 2, sendo que essa explicação não será na vertente técnica, mas sim das ações e vantagens no contexto sustentável das tecnologias de informação.

Em Portugal, o *green IT* ainda divide as opiniões das empresas. Enquanto alguns gestores consideram que as empresas demonstram preocupação e maturidade no que diz respeito à utilização sustentável das tecnologias, outros referem que a realidade aponta para o facto de as organizações começarem agora a despertar para os problemas ambientais. Todavia, é evidente que a maioria das empresas encara as iniciativas estratégicas como uma oportunidade para inovar (Nóbrega, 2011).

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é a criação de um modelo de decisão que permita às empresas avaliar a utilização sustentável das tecnologias de informação. A par deste objetivo,

pretende-se testar a aplicabilidade do modelo criado, através de testes ao grau de implementação de critérios de *green IT* nas empresas.

Para o cumprimento dos objetivos definidos, é criado um modelo de decisão, tendo por base a vasta literatura existente sobre o *green IT*, definindo os critérios e subcritérios mais importantes para uma utilização sustentável das TIC. O modelo é estudado após a aplicação de questionários a empresas, sendo calculados, através do método *fuzzy AHP*, os pesos de cada um dos critérios definidos. A aplicabilidade deste modelo é testada recorrendo ao método *TOPSIS*, ordenando as empresas de acordo com o nível de utilização das iniciativas de *green IT*.

1.3 Metodologia

Após a escolha do tema para a dissertação e da avaliação da sua relevância no quotidiano, é feita uma revisão bibliográfica incluindo o tema da sustentabilidade, das tecnologias de informação e do *green IT*. Esta revisão permite decidir sobre a melhor abordagem a adotar, tendo em vista a problemática da utilização de tecnologias de informação verdes nas empresas.

Concluída a análise destes princípios, é realizada uma revisão bibliográfica sobre os métodos para a tomada de decisão. Estes métodos são avaliados e estudados, a fim de decidir sobre a sua acuidade no problema a tratar. A seleção de cada um dos métodos utilizados no âmbito desta dissertação advém das metas definidas e da maior facilidade encontrada, tanto em relação aos cálculos, como à objetividade com que o resultado final é obtido.

A criação de um modelo de decisão que englobe as melhores práticas ambientais de TI, aplicado a qualquer tipo de empresa, torna-se um objetivo sólido e coerente. Procede-se, desta forma, à seleção dos critérios e subcritérios característicos do *green IT*, sendo possível a criação do modelo de decisão.

Após a seleção dos métodos e a estrutura do modelo de decisão, são elaborados questionários apropriados à metodologia que a tomada de decisão implica. Assim, a primeira parte do questionário elaborado implica comparações par a par entre critérios e subcritérios de *green IT*, e a segunda parte refere-se ao grau de implementação de cada um destes parâmetros no contexto empresarial. Este questionário é aplicado nas empresas contactadas, sendo possível obter dados para o cálculo dos pesos dos critérios do modelo de decisão.

Os pesos dos critérios do modelo de decisão são obtidos com a utilização do *fuzzy AHP* e a aplicabilidade do mesmo é testada com o *TOPSIS*. Os resultados obtidos são discutidos e são retiradas conclusões relativamente ao estudo realizado, nomeadamente no que diz respeito à efetiva validação do modelo e às vantagens que daí poderão surgir no futuro.

Segue-se, na Figura 1.1, uma breve representação esquemática da metodologia seguida no contexto da dissertação.

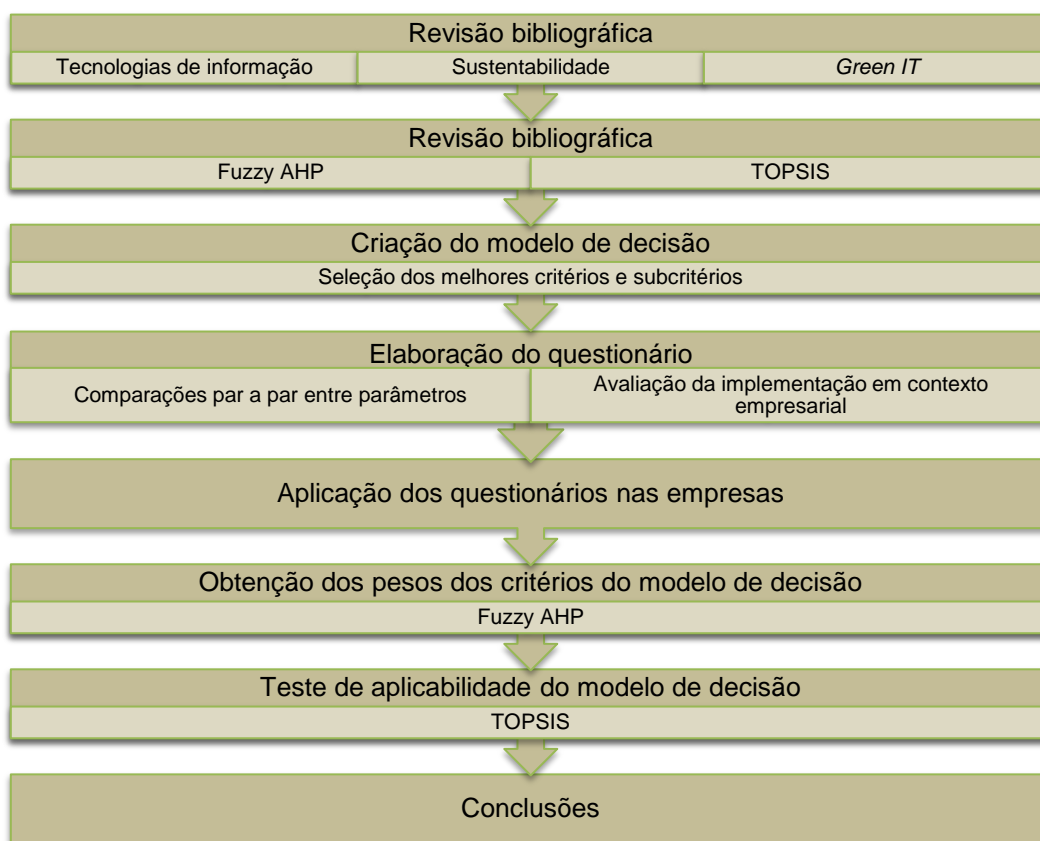


Figura 1.1 – Representação esquemática da metodologia aplicada

1.4 Estrutura do documento

Esta dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, encontrando-se no final do documento os apêndices relativos ao trabalho. O primeiro capítulo, a introdução, faz referência às motivações e enquadramento da dissertação, bem como os seus objetivos, a metodologia aplicada para os cumprir e o modo como está organizado o documento.

O segundo capítulo é a revisão da literatura. Neste capítulo é feita uma análise dos principais tópicos relacionados com as tecnologias de informação e sustentabilidade. A junção das tecnologias de informação e sustentabilidade origina o conceito de *green IT*, que é igualmente analisado neste capítulo. As implicações que cada um destes pontos tem nas empresas é também alvo de investigação neste capítulo.

No terceiro capítulo é feita uma análise cuidadosa dos métodos de tomada de decisão. Cada um dos métodos aplicados no contexto desta dissertação é avaliado e os passos para a sua aplicação são descritos pormenorizadamente.

A descrição do modelo de decisão para avaliação da utilização sustentável das TIC é feita no capítulo quatro. Neste capítulo é feita a definição dos critérios e subcritérios e demonstrada a representação hierárquica do problema. Para além disso, é descrita a metodologia de aplica-

ção do modelo, tendo em conta os questionários aplicados e a opção pelos métodos de tomada de decisão.

No capítulo cinco é exposta a implementação do modelo de decisão definido anteriormente, sendo feita a descrição das empresas que serviram como caso de estudo para posteriormente serem explicados os passos de aplicação do modelo de decisão. No final deste capítulo é feita a discussão dos resultados obtidos.

As conclusões do trabalho realizado, bem como as sugestões de trabalho futuro e de continuidade para esta dissertação estão expostas no capítulo seis.

Finalmente são organizadas as referências bibliográficas utilizadas no contexto deste trabalho e apresentados os apêndices fundamentais.

Tecnologias de informação e sustentabilidade

O presente capítulo pretende fazer um enquadramento no que diz respeito à utilização das tecnologias de informação e comunicação, ao desenvolvimento sustentável e a sua importância no contexto atual e à utilização de iniciativas de *green IT*. Estes parâmetros são avaliados no âmbito empresarial, considerando as implicações para uma empresa da sustentabilidade associada às TIC.

Por uma questão de simplicidade na escrita, optou-se por utilizar a terminologia tecnologias de informação (TI), indiferenciadamente para as tecnologias de informação e comunicação (TIC) ou para as próprias TI, sendo que as TIC, para além dos computadores, impressoras e servidores (*data centers*), incluem redes e componentes de telecomunicações, abrangendo a internet.

O setor das tecnologias de informação tem evoluído a um ritmo elevado nos últimos anos, provocando grandes transformações na sociedade e na economia. As TI têm impacte nos negócios, nos estilos de vida, nas relações entre as pessoas. No entanto, com o crescimento das tecnologias de informação, também as emissões de poluentes e gases de efeito de estufa aumentaram (Prasad, 2010).

Ao longo da última década, os conceitos relativos à gestão ambiental têm vindo a merecer uma maior atenção, desafiando a consciência global para os problemas das alterações climáticas e da conservação dos recursos naturais. A necessidade de transformação em larga escala nunca foi tão clara, no entanto continua difícil a definição das ações que devem ser tomadas. Os termos “aquecimento global”, “gases de efeito de estufa” e “pegada de carbono” passaram a ser comuns, escutados nos meios de comunicação social e em relatórios de ciência (Olson, 2008).

2.1 Tecnologias de informação

2.1.1 Conceito

As tecnologias de informação referem-se, em termos gerais, a tudo o que envolve a computação (“Differences between IS, CS, and IT”, s.d.), incluindo transmissão, processamento e

armazenamento de informação (Watson, 2008). Importa mencionar que o termo sistemas de informação vem muitas vezes associado e diluído no termo tecnologias de informação. No entanto, sistemas de informação são a informação que os sistemas computacionais conseguem oferecer e os processos que uma organização consegue implementar utilizando as tecnologias de informação (“Differences between IS, CS, and IT”, s.d.). O foco do presente trabalho estará essencialmente voltado para as tecnologias de informação.

2.2 Desenvolvimento sustentável

2.2.1 Conceito

A sustentabilidade ambiental pode ser definida como o recurso que garante a satisfação das necessidades e ambições do presente sem comprometer que as gerações vindouras possam satisfazer as suas próprias necessidades (Dao, Langella, & Carbo, 2011; Jenkin, Webster, & McShane, 2010; Walsh, 2007).

Apesar da discussão ao redor dos impactes ambientais das organizações, o seu significado permanece por esclarecer, dependendo do ponto de vista de cada autor. Na verdade, a definição de sustentabilidade ambiental pode estar apenas relacionada com o meio ambiente (Jenkin et al., 2010) ou considerar também os impactes sociais e económicos (Figura 2.1) (Brassor & Vandeputte, 2009; Dao et al., 2011). Ao atentar nas pessoas e no planeta para além do lucro a atingir, os efeitos ambientais e sociais passam a ser incorporados nas ambições empresariais, conduzindo a resultados sustentáveis a longo prazo (Dao et al., 2011).

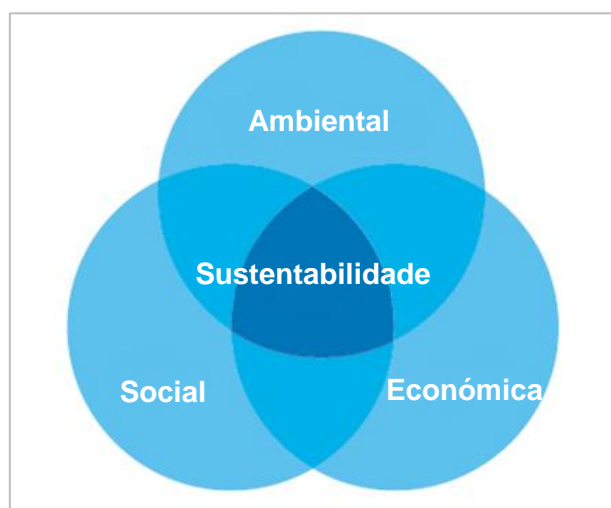


Figura 2.1 – Definição esquemática de sustentabilidade (adaptado de (Brassor & Vandeputte, 2009))

2.2.2 Importância

De acordo com Watson (2008), nunca a opinião global tinha sido tão unânime: é necessário conseguir um desenvolvimento sustentável. A tendência atual para o consumo exagerado de recursos está a tornar-se insustentável e a criar problemas ambientais sérios. Alterações climáticas, extinção dos recursos, perda de biodiversidade e poluição do ar estão a provocar fortes impactes nas populações, sendo imprescindível alterar comportamentos.

A consciência ambiental está a crescer à medida que os impactes climáticos se tornam mais evidentes. Na verdade, a emissão de poluentes irá transformar-se em custos operacionais brevemente. Os dois fatores principais que conduzem as empresas a uma consciencialização sustentável são a necessidade da redução dos custos operacionais, a vários níveis, e a necessidade de transformar a responsabilidade ambiental em mais do que um simples dever moral (APDC, 2008).

2.2.3 Emissões de gases poluentes e a pegada de carbono

O conceito de pegada de carbono tem vindo a ganhar importância ao longo dos anos, sendo amplamente utilizado em debates públicos relacionados com as alterações climáticas. No entanto, a definição atribuída não traz consenso, não tendo sido possível até hoje decidir sobre como deve ser medida a pegada de carbono (Wiedmann & Minx, 2007).

Após alguma pesquisa bibliográfica, Wiedmann & Minx (2007) propuseram como definição de pegada de carbono:

“The carbon footprint is a measure of the exclusive total amount of carbon dioxide emissions that is directly and indirectly caused by an activity or is accumulated over the life stages of a product.”¹

A pegada de carbono pode ser medida em termos individuais ou da organização. A razão para a súbita preocupação com as emissões de gases poluentes prende-se, em parte, com as regulamentações que têm surgido e que serão descritas posteriormente neste trabalho.

Na Figura 2.2 é possível verificar a pegada de carbono provocada pelo setor das TIC, fazendo a comparação entre o passado e o que é esperado para 2020. É esperado um aumento até aos 6% de emissões para o ano de 2020. O dióxido de carbono gerado pelos materiais e produção é de aproximadamente um quarto de toda a pegada de carbono provocada pelas TIC (Webb, 2008).

¹ A pegada de carbono é a medida das emissões de dióxido de carbono, provocadas direta ou indiretamente por uma atividade ou pela acumulação dos ciclos de vida de um produto.

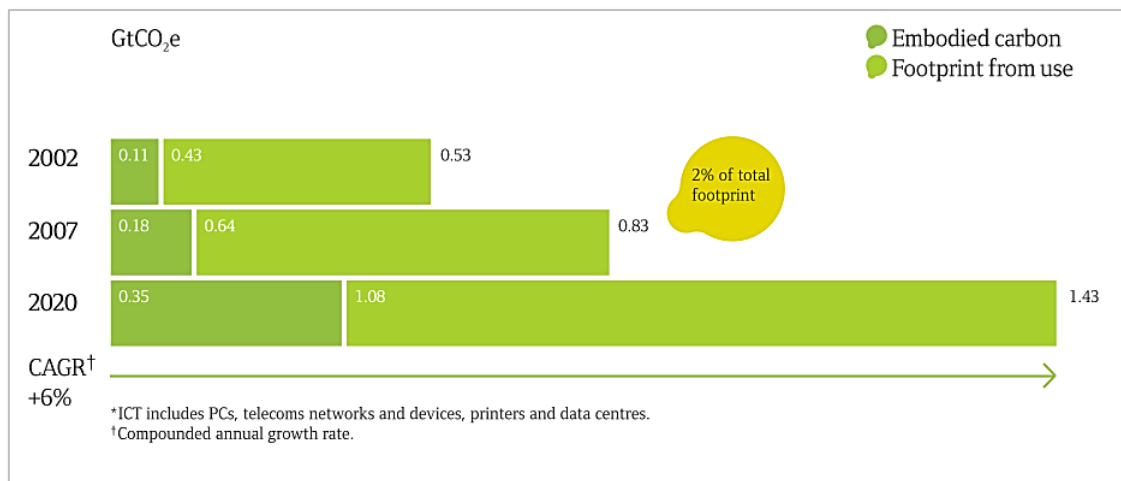


Figura 2.2 – A pegada de carbono mundial provocada pelas TIC (Webb, 2008)

O caso português

As emissões portuguesas de gases de efeito de estufa atingem um valor muito superior ao permitido. Esta situação representa graves consequências no contexto social, político e económico. Para contornar este problema, foram definidas no relatório Smart Portugal 2020 as áreas de atuação prioritárias: eletricidade, transportes e utilização de energia em edifícios. Os últimos dados disponíveis indicam, de acordo com a APA (Agência Portuguesa do Ambiente), que em 2006 as emissões portuguesas de gases de efeito de estufa representaram 82,7 MtonCO₂e (APDC, 2008).

Na Figura 2.3 é possível verificar que as emissões portuguesas provocadas pelas TIC apresentam uma tendência de crescimento de 0,7% ao ano, até 2020.

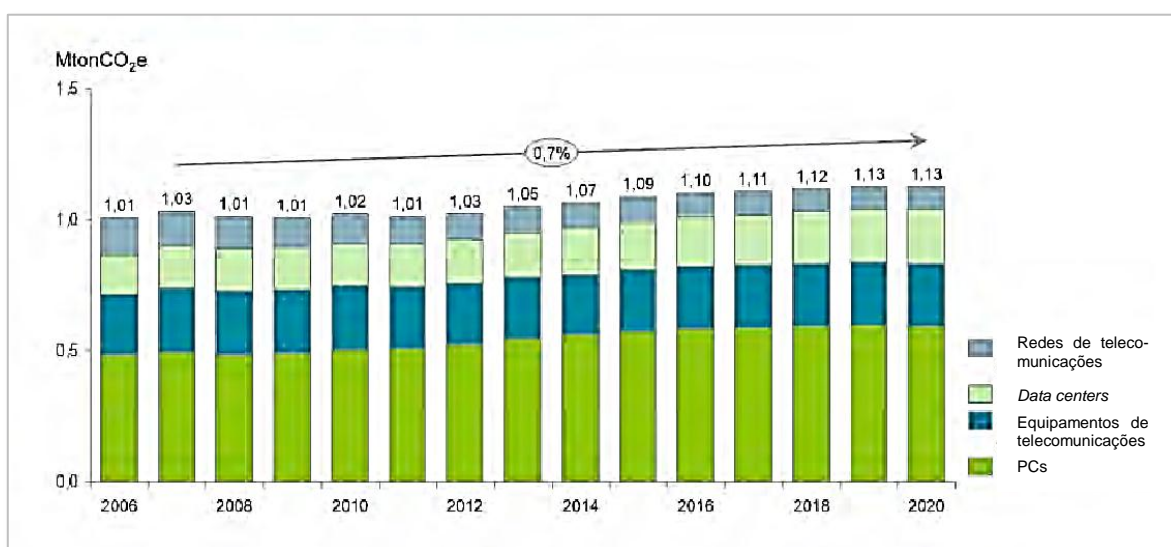


Figura 2.3 – Emissões do setor das TIC em Portugal, divididas por subsector (APDC, 2008)

Este aumento nas emissões das TIC pode ser justificado de acordo com o subsector considerado (APDC, 2008):

- Emissões dos computadores pessoais deverão crescer a uma taxa de 1,4% devido sobretudo a um grande aumento do número de computadores, embora haja tendência para substituir todos os computadores de secretária por computadores portáteis.
- Emissões dos dispositivos de telecomunicações têm tendência a estabilizar uma vez que o aumento do número de dispositivos será compensado pela redução das emissões associadas a cada dispositivo.
- Redução das emissões das redes de telecomunicações com o investimento em redes de menor consumo.
- Grande subida nas emissões dos *data centers*, aproximadamente 2,1%, devido ao aumento do número de servidores para colmatar as necessidades de potência de processamento.

2.2.4 Preocupações e o papel das empresas

De acordo com Hendry & Vesilind (2005), muitos estudos que têm sido realizados concluem que uma empresa adota iniciativas verdes se tal for benéfico para o negócio. Ainda com base no mesmo estudo, os autores dizem que todas as empresas assumem que as regulamentações impostas pelos governos são a principal causa para serem levadas a cabo as iniciativas sustentáveis. As organizações admitem que as regulamentações relativas aos resíduos eletrónicos tornam-se de tal forma onerosas, que é mais compensador alterar a forma de produzir, gerando menos resíduos. A segunda razão que leva à adoção das práticas verdes é a vantagem competitiva (Hendry & Vesilind, 2005). Adicionalmente, os custos crescentes com a energia e arrefecimento, combinados com a necessária alta performance essenciais para uma organização funcionar, estão a contribuir para uma mudança na economia das tecnologias de informação, obrigando as empresas a otimizar as suas instalações com tecnologias sustentáveis (Rad, Thoene, & Webb, 2008).

No entanto, há muitas empresas que tomam atitudes ambientalmente sustentáveis porque acreditam que é a abordagem certa para o ambiente. Quando é necessário tomar decisões, os responsáveis têm em consideração os três aspetos fundamentais: financeiro, social e ambiental (Hendry & Vesilind, 2005).

Tal como a Figura 2.4 pretende representar, a preocupação mais básica das organizações é cumprir a lei. Em segundo lugar, vem a preocupação financeira, o cuidado com a produção de um produto ou serviço que irá de encontro ao desejo do consumidor e que trará benefícios para a empresa. Por fim, no nível mais elevado, estão as preocupações morais e éticas, onde surge a preocupação com as gerações vindouras e com uma produção em que se procura ser o mais sustentável possível (Hendry & Vesilind, 2005).

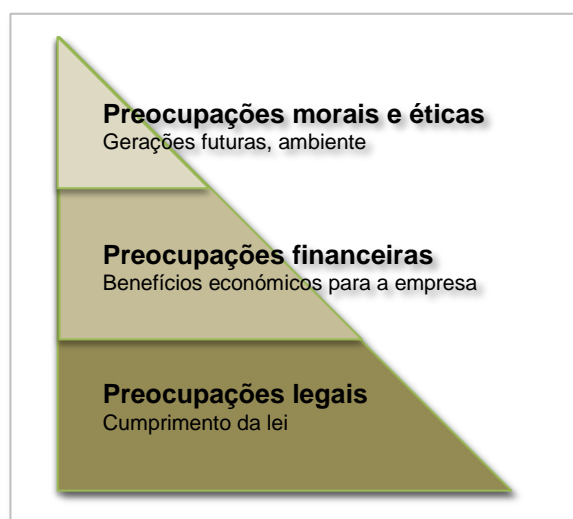


Figura 2.4 – Preocupações que conduzem à sustentabilidade por parte das empresas (adaptado de (Hendry & Vesilind, 2005))

A responsabilidade social corporativa (CSR do inglês *Corporate Social Responsibility*) é definida como “o compromisso contínuo por parte das empresas para terem um comportamento ético e contribuir para o desenvolvimento económico, enquanto melhoram a qualidade de vida dos trabalhadores e as suas famílias, bem como a comunidade local e a sociedade em geral” (Sinha, 2011). O CSR incide sobre todos os efeitos financeiros, sociais e ambientais de uma empresa. As empresas que tenham preocupações em empregar o CSR minimizam os efeitos resultantes da sua atividade, assumindo a responsabilidade dos benefícios ou custos das suas operações (Butler, 2009).

2.2.5 As TI e o ambiente

Em 1970 viveu-se uma grave crise energética, com a poluição a aumentar em grande escala e com o descontrolo dos preços da energia. Com o passar da crise, verificaram-se enormes avanços nas tecnologias, conduzindo a maior eficiência de edifícios e de todo o tipo de equipamentos. Atualmente vive-se uma nova crise, com o aumento dos custos da energia e de alterações climáticas profundas. Apesar de existirem preocupações e ações que não eram pensadas há trinta anos atrás, como a utilização de energias renováveis e a limitação das emissões de carbono, a utilização das tecnologias de informação, que aparentemente seriam inofensivas, tornou-se num fator que contribui para a crise energética que se enfrenta (Cameron, 2009).

A emissão de poluentes para a atmosfera tem causado o aparecimento de certos fenómenos como o aumento da temperatura média global, alterações climáticas e acontecimentos catastróficos mais frequentes, bem como a subida do nível do mar (Prasad, 2010).

Gartner apud Walsh (2007) refere que a energia consumida pelas tecnologias de informação representa 2% de um total de 830 milhões de toneladas de dióxido de carbono. Atualmente, a

pegada de carbono provocada pelas TI é superior à causada pelo setor da aviação (CNS (s.d.); Hodges & White (2008); Jenkin et al., 2010; Walsh, 2007).

Thomas et al. (2009) defendem que o maior impacto ambiental originado pelas tecnologias de informação advém da sua produção. Se os consumidores prolongarem o tempo útil dos equipamentos ou se aderirem a práticas de reutilização, os impactos poderão ser reduzidos.

Impactes diretos, indiretos e comportamentais

Para uma tecnologia ser *green*, existe preocupação desde a escolha do material que vai ser usado para a sua produção até à forma como essa tecnologia será eliminada no fim do seu ciclo útil de vida (Prasad, 2010).

Na discussão do tema das tecnologias de informação são considerados três tipos principais de impactes causados: diretos, indiretos e comportamentais (Berkhout & Hertin, 2004).

Os efeitos diretos são, predominantemente, negativos. São aqueles que se referem à produção, utilização e eliminação de todos os equipamentos eletrónicos, como os computadores, monitores, cabos. Na verdade, não são efeitos muito diferentes dos causados por outros produtos semelhantes, mas têm associados problemas específicos na utilização, emissão e gestão de resíduos (Berkhout & Hertin, 2004).

Os efeitos indiretos, por sua vez, são positivos. Em primeiro lugar, as TI contribuem para o aumento da eficiência dos processos de produção, através da possibilidade de utilização de *softwares* de apoio, permitem um aumento da velocidade de produção das empresas e uma maior eficácia no seu controlo. Por outro lado, as TI facilitam o acesso à informação, permitindo uma rápida propagação de produtos e serviços (Berkhout & Hertin, 2004).

Atualmente, as tecnologias de informação desempenham um papel fundamental no entendimento do meio ambiente, bem como no desenvolvimento, produção e distribuição de produtos e serviços. São aspetos positivos associados às TI, que ajudam a melhorar produtividade, lucros e o consumo racional de recursos naturais e, conseqüentemente, a criar benefícios para o meio ambiente (Berkhout & Hertin, 2004).

Para além de todos os efeitos que já foram referidos, as TI tendem também a afetar social e culturalmente. Berkhout & Hertin (2004) afirmam que as tecnologias de informação contribuem para uma “transparência ecológica e sugerem uma nova dimensão para o fenómeno do consumismo verde”. Na realidade, se a informação sobre práticas verdes é tornada mais acessível através das tecnologias, os consumidores terão tendência para agir de acordo com estas preferências, dado que a publicidade em torno das práticas sustentáveis é cada vez mais notada.

Os efeitos comportamentais estão relacionados com processos fundamentais de mudança e detêm aspetos positivos e negativos. Do lado positivo, há que fazer referência ao facto de a difusão das TI permitir a mudança de uma economia industrial para uma economia de serviços, conduzindo a uma redução nos consumos de energia e de recursos. Para além disso, as tecnologias de informação permitem apoiar os movimentos de consciencialização ambiental para

produtos e serviços, servindo-se da possibilidade de criação de valor com a utilização de ideias e não da exploração de mais energia e materiais. O lado negativo prende-se com as repercussões dos setores dos transportes e energia, relacionados com a utilização das TI (Berkhout & Hertin, 2004).

O projeto, produção, implementação, operação, utilização e eliminação das tecnologias de informação têm implicações consideráveis para o meio ambiente. As TI consomem quantidades significativas de energia e contribuem para o aumento das emissões de gases de efeito de estufa. Para além disso, os equipamentos tecnológicos possuem materiais perigosos. Assim, as pressões sociais e a criação de regulamentação são crescentes neste setor, particularmente durante a produção, mas também na utilização e eliminação dos produtos. As TI são vistas como culpadas pelos crescentes problemas ambientais, embora muitos responsáveis de TI ainda não levem a sério esta preocupação (Butler, 2009).

Impactes ambientais diretos das TI

Apesar da constante evolução e mutação das tecnologias não permitirem uma avaliação detalhada, é fácil reconhecer que a produção, utilização e eliminação das TI representam um problema ambiental grave. Dentro do mundo das tecnologias de informação e comunicação, a variedade de equipamentos é elevada e, apesar de cada um deles representar uma ameaça distinta para o ambiente, têm em comum um tempo de vida reduzido, utilizam grandes quantidades de energia e requerem um número considerável de materiais para a sua produção (Berkhout & Hertin, 2004).

Produção

Os equipamentos tecnológicos são constituídos por uma grande quantidade de componentes distintos, sendo que a produção de cada um deles representa efeitos ambientais adversos, desde a emissão de gases para a atmosfera, desperdícios de solventes e outros compostos, que poluem água e solo, passando pelo consumo exagerado de energia. Berkhout & Hertin (2004) afirmam que, dos materiais utilizados para a produção de um computador, 98% são desperdício e apenas 2% destes materiais fazem, efetivamente, parte do produto final.

Cadeia de distribuição

De acordo com Berkhout & Hertin (2004), um computador pessoal comum necessita entre 1500 e 2000 componentes, oriundos de todo o mundo e transportados, na sua maioria, por via aérea. O comércio eletrónico pode ter a vantagem de facilitar as trocas comerciais, mas em contrapartida conduz a uma segmentação da cadeia de distribuição, tornando-se ambientalmente ineficiente (Berkhout & Hertin, 2004).

Utilização

Segundo Berkhout & Hertin (2004), um computador típico consome cerca de 1 kWh num dia de trabalho normal. Foi estimado que, em média, um computador num escritório está ligado mais de 2000 horas por ano, sendo que apenas 20% deste tempo é em modo ativo e 80% do tempo está em modo de suspensão.

Eliminação

Um problema associado à eliminação de equipamentos eletrônicos é a sua exportação para países em desenvolvimento, onde existe o recurso a mão-de-obra barata para o aproveitamento de componentes que ainda possam ter valor. Munn, Morse, & Ihn (s.d) referem que, em 2002, os Estados Unidos enviaram para estes países 10.2 milhões de computadores, sobretudo para a China (Figura 2.5). Todavia, apesar de alguns dos equipamentos exportados poderem ainda ser reformados e reutilizados, a maioria não representa interesse para ser reutilizado e acaba por ser eliminado de forma incorreta (Thomas et al., 2009).



Figura 2.5 – Representação da rota que conduz os equipamentos eletrônicos para os países menos desenvolvidos (Munn et al., s.d.)

As operações de reciclagem representam oportunidades para as nações em desenvolvimento uma vez que, dos resíduos eletrônicos, é possível retirar metais valiosos para reutilização. Apesar da possibilidade que as regiões mais pobres têm de conseguir um trabalho, os efeitos nefastos que o mesmo tem na saúde e no ambiente são elevados (Munn et al., s.d.).

A reciclagem de computadores é um processo moroso uma vez que os componentes têm de ser retirados manualmente devido ao facto de metais e plásticos estarem combinados. Os metais tóxicos, se não forem separados integralmente, poderão contaminar das formas mais inesperadas. Se o plástico for utilizado em brinquedos ou outros produtos, estes terão vestígios dos materiais nocivos (Munn et al., s.d.).

Do green IT ao TI sustentável

Até há bem pouco tempo, a relação existente entre as tecnologias de informação e o desenvolvimento sustentável não era bem compreendida. Isto acontecia porque, quando comparada com outro tipo de indústrias, a carga ambiental das tecnologias de informação parecia ser insignificante. No entanto, foram feitos esforços com vista a entender o surgimento das TI como uma tecnologia de consequências gerais, bem como os seus impactes na economia e na sociedade (Figura 2.6) (Berkhout & Hertin, 2004).

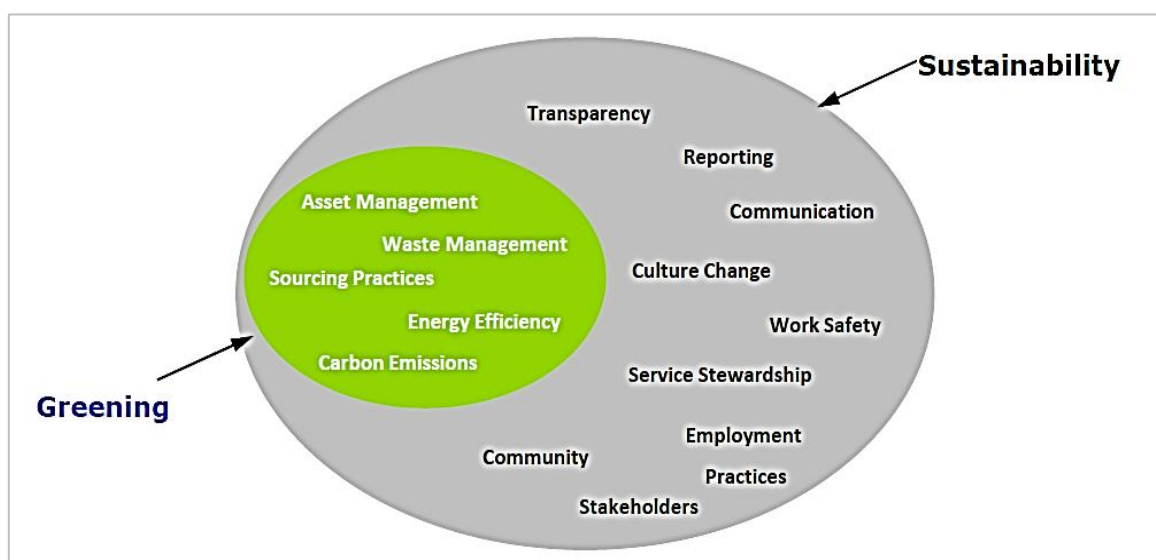


Figura 2.6 – A importância das iniciativas verdes no conceito de sustentabilidade (Chatterton, 2011)

2.3 Green IT: a sua importância no desenvolvimento sustentável

O conceito de *green IT* refere-se à contribuição das tecnologias de informação para a redução da pegada de carbono, sustentabilidade e conformidade normativa através de diversas práticas (Castro, 2009; Chatterton, 2011). O termo *green IT* é utilizado para descrever a produção, gestão, utilização e eliminação das tecnologias de informação da forma que produza o mínimo impacto no ambiente (Walsh, 2007).

Apesar de não existir uma definição única, de acordo com o CGI Group Inc. (2010), o *green IT* pode ser definido como “o estudo e prática da utilização de recursos computacionais de forma

a reduzir os custos operacionais e de energia, permitindo condutas de negócio sustentáveis com a redução dos impactes ambientais”.

O objetivo do *green IT* é utilizar as tecnologias de informação de forma consciente com o propósito de diminuir o consumo de energia, melhorando a utilização dos recursos. Estas práticas oferecem melhorias às empresas, permitindo redução de custos e preservação ambiental (Wanders, 2011).

O *green IT* surgiu depois de, em 1992, ter sido criado o conceito de *Energy Star*, que supõe o reconhecimento de tecnologias eficientes. Isto gerou a adoção generalizada de tecnologias capazes de colocar os equipamentos em estado de consumo mínimo (Hooper, 2008).

No *green IT* estão implícitos objetivos de controlo e redução da pegada de carbono provocada pelas tecnologias de informação, minimizando a utilização e eliminação de materiais prejudiciais, através da adoção das melhores práticas ao longo de todo o ciclo de vida de um equipamento (Harmon, Demirkan, Auseklis, & Reinoso, 2010).

A criação de uma cultura verde passa pelo reforço de práticas que as pessoas desejam adotar mas que ainda necessitam das ferramentas e do treino apropriado. Esta cultura ambiental tem de fazer parte da base estratégica dos negócios, para ser encorajado o comportamento ambientalmente correto em cada decisão tomada (Olson, 2008).

A definição de estratégias claras permite que sejam tomadas decisões alinhadas com as prioridades da organização, facultando bens e serviços no mercado global. Com as estratégias verdes não é diferente. Na verdade, ao contrário de muitas estratégias definidas pelos diversos setores de uma empresa, as estratégias verdes afetam as decisões que são feitas dentro de toda a organização (Olson, 2008).

De acordo com Alves (2010) apud Wanders (2011), o setor das TI é responsável por 1,4% do total das emissões de CO₂. Desta percentagem, os computadores pessoais e monitores contribuem com 57%, os servidores e infraestruturas de TI com 34% e as impressoras com 9% (Wanders, 2011). Todavia, nos grandes centros económicos, como é o caso dos EUA, Japão e Europa, esta percentagem aproxima-se dos 5-6%, com tendência para aumentar. Estima-se que a pegada de carbono possa vir a triplicar no período entre 2002 e 2020 (Hodges & White, 2008).

2.3.1 Motivações para o surgimento do *green IT*

Historicamente, as tecnologias de informação sempre operaram numa perspetiva de desenvolvimento e implementação de equipamentos que cumprissem as necessidades expressas dos clientes e que satisfizessem a procura do mercado. A preocupação com o consumo de energia e a apropriada estrutura das instalações não era alvo de grande atenção por parte das empresas, que apenas desejavam que a empresa funcionasse dentro do que era necessário. No entanto, atualmente, as questões relacionadas com o consumo de energia e as preocupações

ambientais tornaram-se fatores limitantes no que diz respeito à implementação de sistemas de TI (Harmon et al., 2010).

Uma estratégia verde para uma organização, seja ela privada ou pública, governamental ou comercial, é aquela que complementa o negócio, as operações e as estratégias já presentes na empresa. As estratégias verdes ajudam as empresas a tomar decisões que minimizam os impactos negativos no meio ambiente (Olson, 2008).

As questões que a CGI Group Inc. (2010) acredita estarem a incentivar o movimento de *green IT* são as seguintes:

- Aumento da procura de energia que vê a possibilidade de oferta cada vez mais reduzida, bem como os custos crescentes dos serviços.
- Dificuldade na gestão de resíduos perigosos resultantes dos equipamentos eletrónicos.
- Constante aumento do preço dos combustíveis, que dificulta a deslocação em viagens de membros das organizações.
- Aumento dos custos imobiliários.
- Crescente preocupação com o meio ambiente, levando à criação de diversas regulamentações que devem ser cumpridas.

A necessidade de tomar medidas para resolver os problemas inerentes à crescente criação de negócios e dos inevitáveis impactos associados, tem originado novas iniciativas nos diversos segmentos da indústria. Também a regulamentação criada pela União Europeia como resposta aos efeitos negativos das tecnologias de informação verificados, impulsiona as empresas a nível global (CGI Group Inc., 2010).

De acordo com Harmon et al. (2010), existem sete fatores fundamentais que justificam a crescente adoção do *green IT* e que resumem todas as questões que ditam a necessidade de medidas de sustentabilidade. A explicação de cada um deles está representada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Fatores que justificam a adoção do *green IT* (adaptado de (Harmon et al., 2010))

Rápido crescimento da internet	<ul style="list-style-type: none"> • Forte crescimento da utilização da internet que provoca um crescimento dos <i>data centers</i>. • Massificação das comunicações através da internet, serviços financeiros, entretenimento. • Informatização dos negócios.
Aumento da energia consumida pelos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Mais servidores instalados, com processadores mais sofisticados e mais memória. • Componentes instalados são cada vez mais pequenos.
Requisitos de arrefecimento cada vez maiores	<ul style="list-style-type: none"> • O aumento da energia consumida pelos servidores conduz ao aumento da temperatura num <i>data center</i>. • Os servidores necessitam de cerca de 1 a 1,5 watts de arrefecimento por cada watt de energia utilizada. • A proporção entre a energia necessária para o arrefecimento e a energia utilizada para o efetivo funcionamento do <i>data center</i> tende a aumentar com o crescimento das instalações.
Aumento do custo da energia	<ul style="list-style-type: none"> • Os custos com a energia podem exceder as despesas com equipamentos durante o ciclo de vida de um servidor. Esta proporção era de 0,1 para 1 em 2000 e em 2007 passou a ser de 1 para 1. • O surgimento de regras que impõem limites para as emissões de carbono irá contribuir para que os custos com a energia de um <i>data center</i> aumentem.
Restrições no acesso à energia	<ul style="list-style-type: none"> • Em alguns locais, a existência de infraestruturas elétricas antigas conduz à impossibilidade de construir mais <i>data centers</i>. De igual modo, em grandes centros urbanos, onde o consumo de energia está no seu máximo, torna-se inviável a construção de mais <i>data centers</i>.
Baixas taxas de utilização dos servidores	<ul style="list-style-type: none"> • A eficiência de um <i>data center</i> é o maior problema em termos de consumo de energia. • A baixa utilização dos servidores significa que as empresas estão a pagar energia e manutenção de algo que não está a ser totalmente aproveitado.
Crescente conscientização para os impactes ambientais causados pelas TI	<ul style="list-style-type: none"> • As emissões de carbono são proporcionais ao consumo de energia. • Em 2007 os quase 44 milhões de servidores no mundo consumiram 0,5% de toda a eletricidade disponível. • Espera-se que as emissões de carbono resultantes da utilização de TI cresçam mais de 11% por ano até 2020.

Melhores práticas do *green IT*

As melhores práticas de *green IT* estão associadas a três objetivos fundamentais (Figura 2.7).

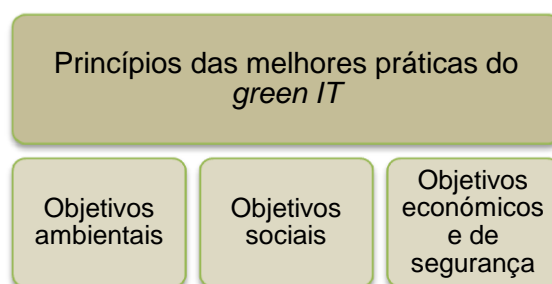


Figura 2.7 – Principais objetivos associados à implementação do *green IT* (Daoud, 2008)

Objetivos ambientais

Em termos gerais, o objetivo fundamental para a adoção de iniciativas do *green IT* é a eliminação dos fatores que contribuem para os problemas ambientais, ao mesmo tempo que se reduzem os resíduos produzidos. Daoud (2008) refere como principais características a ter em conta para garantir a sustentabilidade das TI os seguintes aspetos:

- Consumo de energia – aquando da escolha de um sistema, há que considerar mais do que as simples características do equipamento, como por exemplo, a certificação através da regulamentação específica para TI.
- *Design* para o ambiente – a seleção de produtos deve ter em consideração a não utilização de elementos tóxicos.
- *Design* para reciclagem – os produtos devem ter um *design* que facilite o provável desmantelamento, reutilização ou reciclagem.
- Opção da utilização de equipamentos usados – pode acontecer que o aproveitamento de equipamentos que já tenham sido utilizados anteriormente ofereça mais benefícios pelo facto de não ser necessário incorrer em todos os procedimentos de aquisição de novos equipamentos.
- Gestão do fim de vida dos equipamentos – o objetivo de qualquer organização deveria ser a anulação de qualquer impacte ambiental aquando da eliminação dos equipamentos. Mas de uma perspetiva realista, tal é impossível, restando às organizações minimizar o seu impacte com a eliminação dos produtos. Para tal existem opções: reciclagem, redistribuição, doação, revenda.

Objetivos sociais

A opção de doar para caridade os equipamentos que já não são necessários nas empresas tem vindo a diminuir com o aumento da preocupação com a proteção dos dados. No entanto, o facto de estes equipamentos serem doados a comunidades com necessidades a nível de tecnologias, ajuda a diminuir o fosso digital que se observa no mundo, permitindo o adiamento da eliminação dos resíduos eletrónicos (Daoud, 2008).

Objetivos económicos

A par da manutenção da sustentabilidade das tecnologias de informação, a garantia do equilíbrio entre custo e eficiência, ao mesmo tempo que se colabora com a vantagem competitiva e a reputação perante a sociedade, é um objetivo associado à economia de uma organização (Guimarães & Paiva, 2011). Uma política sustentável conduz a benefícios económicos e a uma substancial redução nos custos de operação (Daoud, 2008).

2.3.2 Incentivos e regulamentação ambiental

Um dos maiores desafios que as organizações enfrentam é o facto de ser penosa a medição dos consumos energéticos e das suas respetivas emissões. Esta falha é particularmente problemática para a regulamentação e, enquanto não for criado um sistema de gestão para o desenvolvimento e implementação das melhores práticas, o *green IT* permanecerá mais como um exercício voluntário nas empresas (Cisco Systems Inc., 2007).

O Protocolo de Quioto representou o início das convenções por parte da comunidade internacional no que diz respeito à redução das causas do aquecimento global. Foi assinado em 1997 e pretendeu reconhecer que as emissões provocadas pelo Homem são a principal justificação para o aquecimento global. Para além disso, definiu para o ano de 2012 a meta da redução das emissões de gases de efeito de estufa comparativamente a 1990 (APDC, 2008).

É evidente para W. R. Scott apud Butler (2009) que a regulamentação criada pelos governos é, muitas vezes, aplicada nas empresas através de mecanismos de coerção e ameaça de sanções, garantindo assim comportamentos ambientalmente responsáveis por parte das organizações. Mas existem também reguladores que instituem leis e regras que os responsáveis das organizações irão aplicar quase livremente, através de procedimentos internos.

Na União Europeia, ao contrário do que acontece com a maioria dos utilizadores finais de TI, os produtores são confrontados com inúmeras regulamentações e regras para a conceção, produção e desempenho dos equipamentos. Estas regulamentações incluem a diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), a restrição RoHS (*Restriction of Hazardous Substances Directive*), a regulação REACh (*Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*) e a diretiva EuP (*Eco-Design for Energy Using Products*) (Butler, 2009).

No caso dos Estados Unidos, a EPA (*Environmental Protection Agency*), tem inúmeras regulamentações que referem as questões ambientais e os problemas com a eliminação de substâncias perigosas, que acompanham diversos segmentos de produção (Butler, 2009).

Em 1992 a EPA instituiu o programa *Energy Star*, que se foca na energia utilizada pelos equipamentos. Hoje em dia, a maioria dos grandes produtores de TI criam produtos em conformidade com a *Energy Star*. O sucesso da *Energy Star* reflete-se no facto de, em 2007, os equipamentos com as especificações do programa terem permitido a poupança de 40 milhões de toneladas de emissões de gases de efeito de estufa. Este valor é o equivalente a retirar 27 milhões de veículos das estradas, anualmente (Butler, 2009).

A EPEAT (*Electronic Product Environmental Assessment Tool*) é financiada pela EPA e é uma organização sem fins lucrativos e conseguiu estabelecer-se como uma força importante no tópico do *green IT* (CGI Group Inc., 2010). Trata-se de uma ferramenta que compara os diferentes atributos em termos ambientais de diversas marcas e modelos de computadores. Para tal, a EPEAT convoca produtores, representantes ambientais e outros intervenientes para revelar a que critérios consideram que o produto deve obedecer. Os grandes compradores insti-

tucionais só adquirem equipamento que obtiver uma alta classificação da EPEAT (Thomas et al., 2009).

Com este programa, os fabricantes de produtos eletrônicos podem fazer o registo dos seus equipamentos, elegendo de entre 23 categorias obrigatórias e 28 opcionais, aquelas que melhor caracterizam o produto. O cumprimento da combinação de certas categorias permite hierarquizar o produto dentro de três níveis: bronze, prata ou ouro. Para os consumidores, esta orientação permite conhecer a relação entre preço e performance de um determinado equipamento (CGI Group Inc., 2010).

A diretiva EuP requer que os produtores de TI façam declarações voluntárias da energia utilizada no *design*, embalagem, entrega e reciclagem de produtos ao longo da cadeia de distribuição, para além de informação relativa à energia que o equipamento irá consumir durante a utilização (Butler, 2009).

Segundo Thomas et al. (2009), foi a partir de 2000, com a convenção da *National Electronics Stewardship Initiative*, que os produtores de produtos eletrônicos tiveram noção do problema que este tipo de resíduo representa.

No que concerne à correta gestão dos resíduos eletrônicos, a União Europeia encontra-se um passo à frente dos Estados Unidos, dado que em 2000 aplicou a diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*). Esta diretiva proíbe que os resíduos eletrônicos sejam eliminados em aterros sanitários e define que os produtores deverão ser responsáveis pela recolha dos produtos em fim de vida. A implementação desta norma varia de país para país (Thomas et al., 2009)

A diretiva RoHS entrou a vigor em 2006 e restringe o uso de seis materiais nocivos aquando da produção de produtos eletrônicos: chumbo, mercúrio, cádmio, crómio hexavalente, polibromobifenilo e éter de difenilo polibromado. Estas imposições permitem a redução da toxicidade dos equipamentos eletrônicos (Walsh, 2007).

O *Green Grid* foi fundado em 2007 por algumas empresas de tecnologia e destina-se a oferecer soluções de eficiência energética para *data centers* e organizações onde predominem equipamentos informáticos. Desde a sua fundação, este consórcio aumentou o número de membros, incluindo atualmente utilizadores finais e organizações governamentais, todos focados nas melhorias dos *data centers* (Hooper, 2008).

2.3.3 Estratégias de otimização energética

O debate em torno do *green IT* tem o seu foco na redução da energia consumida pelos sistemas presentes nos *data centers*. No entanto, as organizações começam a compreender que a redução da energia consumida durante a utilização das tecnologias de informação é apenas uma parte de um problema muito mais abrangente. Na verdade, desde a produção até à elimi-

nação, passando pela distribuição das tecnologias, existe um consumo elevado de energia que contribui para o aumento da pegada de carbono e que não pode ser descurado (Daoud, 2008).

De acordo com Jenkin et al. (2010), existem cinco forças que influenciam as estratégias de sustentabilidade ambiental: organizacionais, de mercado, socioculturais, ecológicas e tecnológicas. Estas forças vão influenciar quatro tipos de estratégias para a otimização energética e que revelam o tipo de empresa em termos ambientais (Jenkin et al., 2010):

- Tipo 0: a organização transmite uma imagem de preocupação ambiental, anunciando publicamente políticas ambientais, apesar de estas não serem implementadas.
- Tipo 1: existe preocupação em fazer uso dos recursos naturais de forma eficiente, a fim de reduzir os impactes ambientais. São implementados mecanismos para recolha e devido tratamento dos resíduos elétricos e eletrónicos, para a sua minimização ou simplesmente formas de aperfeiçoar os recursos.
- Tipo 2: para além das estratégias do tipo 1, acrescenta-se a preocupação com todo o ciclo de vida das tecnologias, desde a escolha da matéria-prima até à eliminação no fim da vida do produto.
- Tipo 3: é o tipo de estratégia mais abrangente. Toda a atividade empresarial é repensada para que a ponderação ambiental esteja presente em cada ação.

As organizações começam a otimizar as estratégias para a redução da pegada de carbono e para aumentar as suas responsabilidades sociais, sem incorrer necessariamente num aumento de custos. Muitas vezes apenas é necessário rever a forma como os sistemas são produzidos e transportados, bem como analisar o tipo de utilização e eliminação (Daoud, 2008).

A produção sustentável de TI passa pela redução da quantidade de substâncias nocivas e pela embalagem dos equipamentos em materiais reciclados. Já a utilização verde das tecnologias refere-se à aquisição, por parte do consumidor, de equipamentos energeticamente eficientes, bem como a gestão do consumo desse mesmo equipamento. Refere-se, ainda, ao dever do utilizador de eliminar os equipamentos de forma responsável, reciclando ou doando. A eliminação sustentável garante que o equipamento em fim de vida não termina em lixeiras e que os componentes perigosos que o constituem não são libertados para o meio ambiente (Walsh, 2007).

Estratégias na produção

A indústria das tecnologias de informação é composta por métodos complexos de produção, incluindo diversos tipos de materiais e produtos tóxicos. A produção também envolve consumos elevados de água e energia. Esta fração do ciclo de vida dos equipamentos é regida por diversos sistemas de gestão ambiental (TCO Development, 2009).

Para a produção sustentável de equipamentos eletrônicos, os fabricantes concebem as tecnologias a partir de materiais menos poluentes e funcionalidades orientadas para a poupança energética (Ferreira, 2009).

Estratégias na cadeia de distribuição

A percepção da necessidade de sustentabilidade na cadeia de abastecimento existe desde a década de 1970. Para uma empresa adotar estratégias de sustentabilidade ao nível da cadeia de distribuição, deve seguir três estratégias básicas: consolidação dos espaços de circulação, consolidação dos armazéns e equipamentos e consolidação dos fornecedores. O papel que as TI desempenham nestas estratégias especificamente, prende-se essencialmente com a facilidade com que a consolidação de infraestruturas e equipamentos é levada a cabo com a utilização de tecnologias. Para além disso, a sincronização entre todas as etapas da cadeia de distribuição fica facilitada, criando maior eficiência, desde a logística até à economia de combustível (Cognizant, 2011).

Estratégias na utilização

Na utilização das tecnologias de informação, existem diversas atitudes que podem ser tomadas com o comum objetivo da otimização energética e da redução da emissão de poluentes atmosféricos. Algumas estratégias possuem uma implementação quase imediata, enquanto outras são demoradas, não podendo ser consideradas em contextos de empresas sem a capacidade para tais investimentos. Na Figura 2.8 pretende-se representar algumas das iniciativas de utilização sustentável das TI, bem como o tempo para a sua implementação e os custos associados.

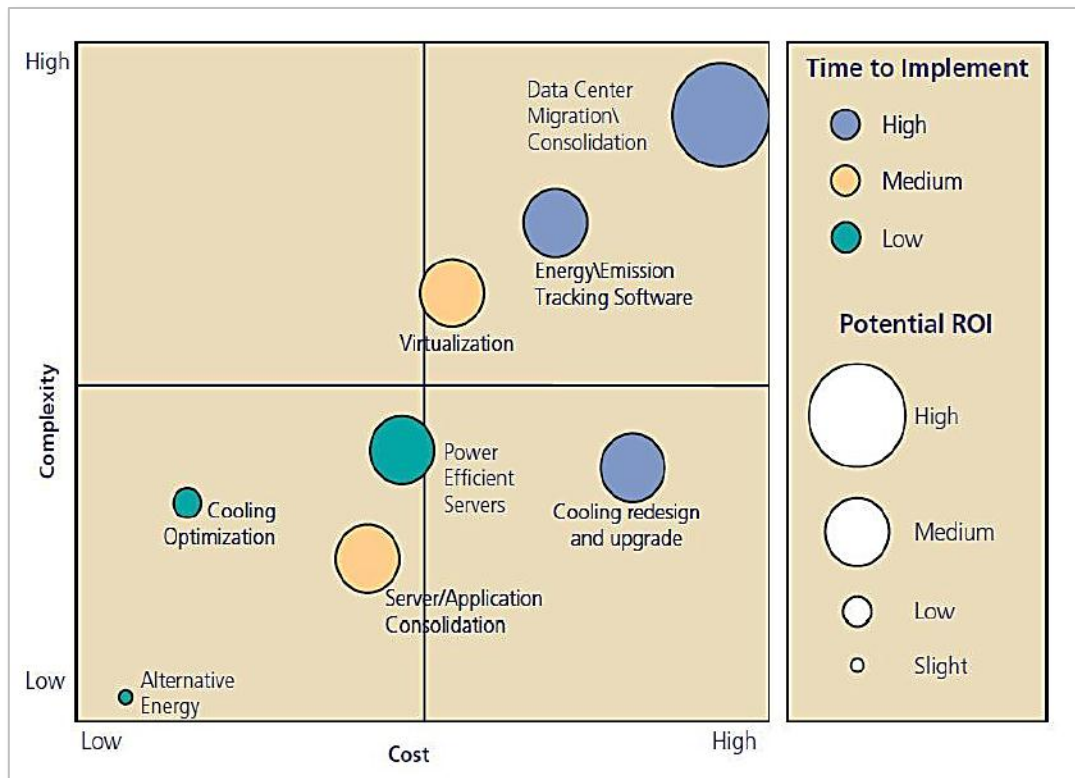


Figura 2.8 – Algumas estratégias de utilização sustentável das TI (Chatterton, 2011)

As principais estratégias encontradas na literatura serão descritas de seguida.

Desligar equipamento que não está a ser utilizado

Reduzir a energia consumida pelos computadores e monitores é simples e nem sempre implica novos investimentos. Na verdade, a energia consumida por estes equipamentos pode ser reduzida para metade, bastando para isso que exista a preocupação de desligar os equipamentos durante a noite ou durante períodos de inatividade (CNS, s.d.; Vereecken et al., 2010).

Adquirir equipamento acreditado

A utilização de equipamento acreditado pela *Energy Star* permite uma redução no consumo de energia e na emissão de gases de efeito de estufa. De acordo com Sinha (2011), foi possível atingir uma poupança de 14 milhões de dólares em 2006 devido à aplicação da norma. A utilização de lâmpadas qualificadas pela *Energy Star* permitiu uma redução nos custos de 75%.

A preocupação com a aquisição de equipamento acreditado é crescente, como pode ser observado na Figura 2.9. Espera-se que esta tendência se mantenha nos próximos anos (López-Vallejo, Cuesta, & Sopeña, 2008).

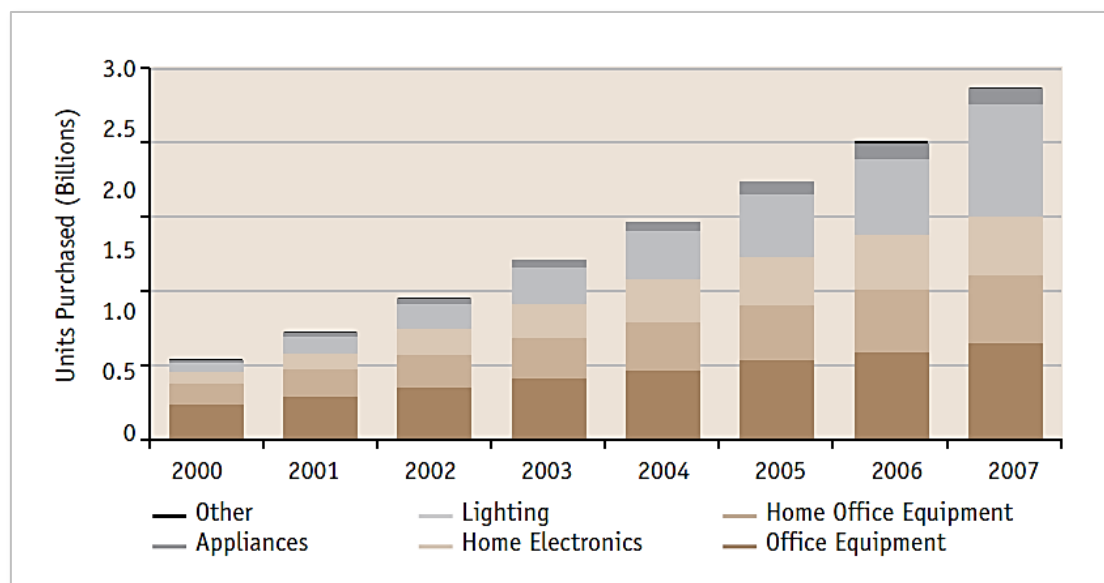


Figura 2.9 – Evolução do número de equipamentos acreditados vendidos (López-Vallejo et al., 2008)

Evitar a impressão desnecessária de documentos

Embora exista uma infinidade de *softwares* que permitem a visualização digital de documentos, a impressão em papel continua a crescer gradualmente, apesar do custo e impacte ambiental que uma página impressa representa. Algumas soluções que podem ser apresentadas para reduzir a quantidade de papel impresso passam pelo envio de *e-mails*, intranet e extranet (Wanders, 2011).

Também a preferência pela utilização do correio eletrônico em substituição do *fax* contribui para poupar papel e energia (National Computer Institute, 2011).

Preocupação com a reciclagem

A reciclagem de papel e tinteiros é uma iniciativa sustentável e que tem vindo a ganhar adeptos no meio empresarial (Green IT, s.d.).

Preferência por videoconferência e telepresença

O aumento do preço das viagens e o tempo perdido em deslocações obrigou as organizações a pensar em alternativas. O teletrabalho e a telepresença são dois exemplos dessas alternativas (CGI Group Inc., 2010).

Os avanços na tecnologia permitiram o recente aparecimento da videoconferência com telepresença, onde se utilizam grandes monitores com vídeo de alta definição, com imagens em tamanho real, dando uma ideia realista de uma reunião entre organizações (CGI Group Inc., 2010).

As vantagens da utilização destas tecnologias prendem-se com o aumento da satisfação dos trabalhadores, que não precisam de efetuar deslocações frequentes, redução das emissões de gases de efeito de estufa relacionadas com as deslocações, aumento da margem de lucros resultante da não necessidade de espaço extra nos escritórios, com conseqüente diminuição no consumo de eletricidade e energia (Hooper, 2008).

A telepresença permite aumentar a produtividade, a flexibilidade e a uniformidade do local de trabalho de uma forma mais sustentável, permitindo uma interação quase realista (T-Systems, 2009).

Apostar nas fontes de energia alternativas

As energias renováveis são geradas por processos naturais e são repostas pela natureza de forma natural. Nos seus vários aproveitamentos, este tipo de energia deriva diretamente do sol, do vento ou do calor gerado naturalmente no interior da terra (Nokia Siemens Networks, 2008; Sinha, 2011).

Virtualização

A virtualização supõe que as diversas aplicações de uma organização sejam agrupadas em menos servidores (Harmon et al., 2010). É o processo que permite que vários sistemas físicos virtuais sejam combinados no mesmo servidor ou computador.

A virtualização de servidores e dispositivos de armazenamento permite que as cargas de processamento e utilização individual sejam aperfeiçoadas. E com o aumento da eficiência operacional, também a eficiência energética pode ser melhorada (IBM Corporation, 2008).

As vantagens associadas à virtualização são as seguintes (Wanders, 2011):

- Redução do espaço ocupado e do número de dispositivos necessários.
- Diminuição da energia necessária para executar os servidores devido à redução do número de máquinas. Conseqüentemente, reduz-se a emissão de gases de efeito de estufa.
- Abatimento nos custos operacionais, devido ao uso mais eficiente do espaço ocupado pelos servidores.
- Redução do tempo necessário para manutenção.

Utilização de *softwares* de gestão de energia

A ACPI (*Advanced Configuration and Power Interface*) é uma norma aberta para a indústria que permite que um sistema operativo controle os consumos de energia do equipamento associado. Isto permite que o sistema desligue automaticamente monitores e discos rígidos após períodos de inatividade (Hooper, 2008).

Substituir monitores CRT e LCD por LED

Hooper (2008) refere que os monitores CRT (*Cathode Ray Tube*) devem ser substituídos de imediato por monitores LCD (*Liquid Crystal Display*), sendo que o preferível são os monitores LED (*Light-Emitting Diode*) (Nóbrega, 2011). Em López-Vallejo et al. (2008) é feita a justificação da utilização de monitores LCD e a não utilização de monitores CRT. Um excerto da tabela realizada pelos autores acima referidos está representado na Figura 2.10.

Descripción	Consumo (W)		
	Activo	Bajo consumo	Off
CRT	85	5	0,5
CRT 17"	80	0-15	0
CRT 15"-21"	76	7	1
LCD 15"-18"	30	2	2
LCD	15	1,5	0,5
LCD 17"	35	0-15	0

Figura 2.10 – Excerto da tabela de López-Vallejo et al. (2008), representando os consumos de monitores CRT e LCD dependendo do tamanho

O maior desenvolvimento verificado no que diz respeito a monitores para computador surgiu com a utilização de díodos LED. A principal vantagem resulta do facto de os monitores LED não necessitarem de luz de fundo, conduzindo a um gasto inferior de energia quando comparados com os monitores LCD. Adicionalmente estes ecrãs são mais finos, tornando-os mais leves e ideais para computadores portáteis, têm melhores cores e brilho. No entanto, o tempo de vida dos monitores LED é inferior ao dos monitores LCD (López-Vallejo et al., 2008).

Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar

Para uma economia de energia, os sistemas atuais possuem métodos para controlar e gerir a energia que é consumida, de acordo com a tarefa que está a ser realizada. Isso é possível graças a tecnologias específicas que controlam os picos de utilização, assegurando uma economia considerável quando a carga do processador não é intensa (López-Vallejo et al., 2008).

Alguns programas permitem que o utilizador defina a potência de trabalho dos equipamentos, o que permite redução de calor emitido e a eletricidade consumida. Existem alguns computadores que têm a capacidade de definir automaticamente a voltagem a utilizar, dependendo da utilização atual do sistema (Hooper, 2008).

Consolidação

Um dos métodos para redução da emissão de poluentes é a consolidação, onde diversas aplicações ou serviços são colocados no mesmo recurso tecnológico, permitindo uma maior organização. A consolidação permite uma maior eficiência energética uma vez que possibilita que

as infraestruturas sejam utilizadas no seu máximo rendimento possível, reduzindo o espaço utilizado pelas mesmas (Prasad, 2010).

A consolidação diz respeito à extinção de máquinas num *data center* através da redistribuição das aplicações da organização num número mais reduzido de equipamentos. É uma medida praticamente imediata e com poucos custos envolvidos uma vez que, à semelhança do que acontece na virtualização, é reduzido o número de equipamentos sem ser necessário reduzir a capacidade do *data center* (Garbin & Chang, 2009).

Reduzir o número de componentes instalados

Esta iniciativa refere-se à redução do número de programas e equipamentos que são instalados num computador. Quanto maior for o número de programas instalados, maior será a necessidade de velocidade do processador para compensar a energia requerida (Vereecken et al., 2010).

Substituir computadores de secretária por portáteis

De acordo com APDC (2008), é atingida uma maior eficiência energética através da substituição de computadores de secretária por portáteis.

Computadores *thin-client*

Um computador *thin-client* é utilizado sobretudo em tarefas de virtualização, onde os computadores normais são substituídos por equipamentos que utilizam menos recursos. Com estes computadores, o utilizador tem acesso às informações da organização ao fazer uma espécie de registo que lhe dará acesso ao servidor principal. O custo desta tecnologia tem vindo a equiparar-se com os computadores convencionais, embora os *thin-client* tenham um tempo de vida mais elevado, pois não necessitam de processar ou armazenar dados (Garbin & Chang, 2009).

Como pode ser verificado na Figura 2.11, as emissões de CO₂ associadas aos *thin-client* são muito inferiores às emissões provocadas pelos computadores de secretária. Os custos associados aos *thin-client* também são visivelmente mais reduzidos (T-Systems, 2009).

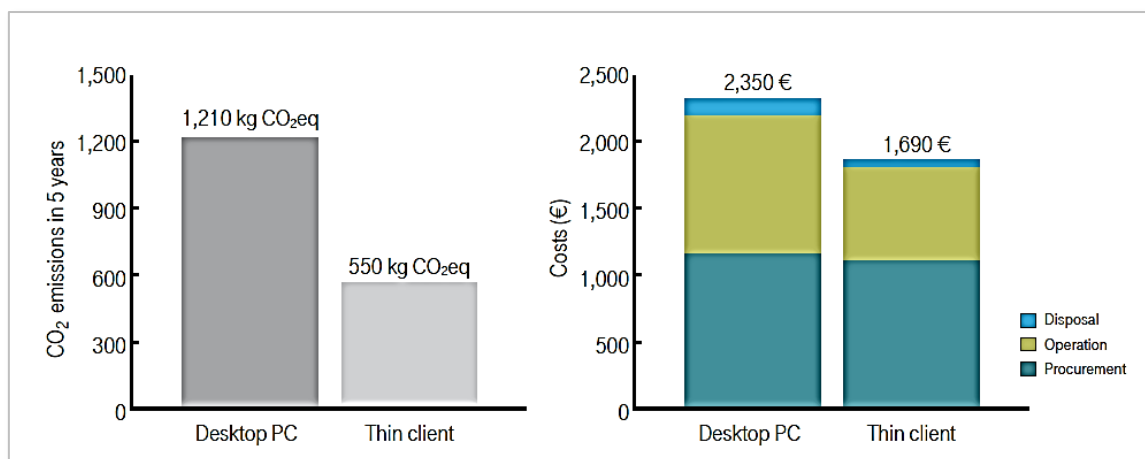


Figura 2.11 – Comparação de consumos e emissões para os computadores de secretária e os *thin-client* (T-Systems, 2009)

Cloud computing

O *cloud computing* tem vindo a alterar o modo como os recursos de tecnologias de informação são utilizados e consumidos. O setor público e os governos pretendem ter acesso às infraestruturas onde e quando quiserem (Bakshi, 2009).

A definição de Bakshi (2009) diz que *cloud computing* “são os recursos e serviços de TI abstraídos da infraestrutura original, mas que podem ser oferecidos imediatamente” quando requisitados, remotamente. Com o *cloud computing* é possível disponibilizar mecanismos e estruturas a um grande número de pessoas, através da internet (Harmon et al., 2010).

Apesar de os benefícios ambientais não serem alcançados diretamente pelo *cloud computing*, as suas vantagens surgem da redução do número de servidores necessários para realizar o mesmo trabalho.

Alguns benefícios alcançados através da utilização do *cloud computing* são (Bakshi, 2009):

- Redução de custos
- Flexibilidade – deriva da facilidade com que a infraestrutura pode ser movimentada.
- Melhoria da automatização de fornecimento dos serviços
- Foco nas competências fundamentais de cada organização.
- Sustentabilidade – o *cloud computing* consome menos recursos do que um *data center* “tradicional”.

De acordo com Bakshi (2009), existem quatro modelos de infraestrutura existentes ou a existir num futuro próximo associados ao *cloud computing*: *clouds* públicas, *clouds* privadas, *clouds* privadas virtuais e *inter-clouds*. O esquema relacionado com esta infraestrutura está representado na Figura 2.12.

- *Clouds* públicas – são, normalmente, geridas por empresas de terceiros, como por exemplo Google, Amazon, Microsoft e outros. Estão hospedadas fora das instalações dos clientes e utilizam diversas aplicações de diversos clientes na mesma plataforma.
- *Clouds* privadas – esta tecnologia é, geralmente, desenvolvida pelo departamento de TI de uma organização, com o propósito de prover serviços específicos internamente.
- *Clouds* privadas virtuais – permitem que as empresas contratem serviços para a sua infraestrutura privada que serão fornecidos por terceiros.
- *Inter-clouds* – prevê-se que no longo prazo, esta tecnologia possa surgir. Esta será uma espécie de extensão da internet, onde se pretende que as empresas consumidoras de recursos estejam virtualmente separadas das empresas fornecedoras desses recursos, permitindo que as empresas encontrem mais facilmente o que necessitam.

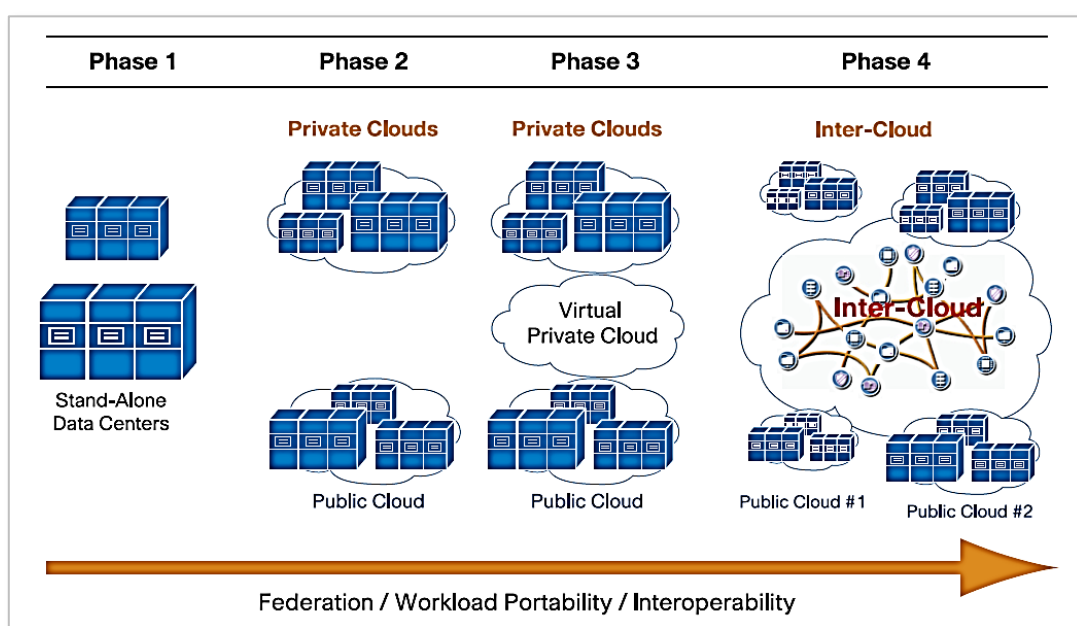


Figura 2.12 – Representação das infraestruturas de *cloud computing* (Bakshi, 2009)

Um estudo realizado pela Pike Research, referido em Nóbrega (2011), mostra que o *cloud computing* é, efetivamente, uma abordagem mais verde para os *data centers*, representando uma economia prevista de cerca de 38% no consumo de energia até 2020.

Melhoramento da refrigeração

Os processadores e outros equipamentos tecnológicos geram uma enorme quantidade de calor, o que conduz à necessidade de energia adicional para este processo. A maioria dos servidores necessita de 1 watt de energia para o arrefecimento por cada *watt* de energia utilizada no próprio servidor. No caso de servidores mais densos, a necessidade de arrefecimento sobe para 2 watt para cada *watt* do servidor. Justifica-se, portanto, a necessidade de reduzir a quantidade de energia utilizada apenas pelo arrefecimento (Lawton, 2007).

As diversas empresas de tecnologias têm vindo a desenvolver novas formas de arrefecimento. O sistema *Dynamic Smart Cooling*, desenvolvido pela Hewlett-Packard, utiliza sensores com localizador de temperatura para ajustar a distribuição das ventoinhas de acordo com os componentes que provocam mais aquecimento. Este sistema pode poupar até 40% de custos de energia. Um outro sistema, desenvolvido pela Emerson Network Power, permite que um líquido de arrefecimento percorra canais previamente construídos junto dos servidores. O sistema possui um sensor que permite saber quais são as áreas mais quentes, dirigindo nessa direção o líquido de arrefecimento (Lawton, 2007).

Existem outros sistemas inovadores de refrigeração ainda em fase de estudo. É o caso do sistema que supõe uma espécie de pano de velcro que é colada ao servidor, permitindo que o calor se dissipe (Lawton, 2007).

Atualizar periodicamente as tecnologias

Tendo em conta a evolução constante das tecnologias, não é possível manter equipamentos sem proceder à sua atualização. Esta atitude não implica qualquer alteração radical, permitindo poupanças consideráveis (López-Vallejo et al., 2008). A atualização permite reduzir gastos e emissões de carbono, uma vez que não é necessário adquirir novos equipamentos, no curto prazo (National Computer Institute, 2011).

Data centers

Os *data centers* são infraestruturas onde se concentram os equipamentos eletrónicos necessários ao processamento, armazenamento de dados e comunicações de redes, e que se tornaram essenciais para o funcionamento das organizações, centros académicos e sistemas de governos (Wanders, 2011).

A existência de uma relação custo-benefício eficiente num *data center* pode ajudar na manutenção de um negócio. Em média, os custos de um *data center* representam 5% do orçamento de TI. Este valor inclui os edifícios, suporte e gestão de instalações, energia e refrigeração e eletricidade. Não inclui gastos com servidores, redes e armazenamentos de dados. A definição de estratégias para minimização de custos pode aumentar significativamente os lucros: terceirização de instalações e pessoal, virtualização, automatização de operações dentro do *data center*, modernização e utilização eficaz de toda a infraestruturas. A aplicação destas transformações pode levar a economias de até 35%, aumentando a capacidade de processamento e armazenamento (Hewlett-Packard Development Company, 2007).

Os *data centers* localizados nas grandes cidades consomem uma enorme quantidade da energia total da cidade. Na verdade, estima-se que a energia consumida pelos servidores seja de aproximadamente 1,2% de toda a energia consumida no mundo (Hewlett-Packard Development Company, 2007). Os *data centers* representam uma oportunidade de aplicação de boas práticas porque cada infraestruturas consome entre 10 a 100 vezes mais energia comparativamente com um edifício dito comum, dependendo do tipo de arrefecimento que é prati-

cado. Um nível de consumo tão elevado, associado ao constante crescimento deste tipo de edifícios, incita a sustentabilidade dos *data centers* (Garbin & Chang, 2009).

Para iniciar medidas de sustentabilidade nos *data centers*, é necessário que, em primeiro lugar, exista uma definição dos atuais consumos energéticos das infraestruturas. Esta medição, conhecida por PUE (do inglês *Power Use Effectiveness*), considera a proporcionalidade entre o consumo total do *data center* e a energia consumida apenas pelas tecnologias de informação. Tipicamente, um *data center* tem um PUE de aproximadamente 2, o que significa que para arrefecer o edifício e equipamentos, o *data center* consome a mesma quantidade de energia que é necessária para colocar em funcionamento os equipamentos de tecnologias de informação (Garbin & Chang, 2009).

Muitos *data centers*, construídos entre 10 e 15 anos atrás, deixaram de ser eficientes energeticamente e manifestam falhas na capacidade de arrefecimento, devido às altas performances que são exigidas pelos servidores atuais. No entanto, apesar destes problemas, os *data centers* continuam utilizáveis, representando um investimento significativo (Rad et al., 2008).

Os *data centers*, como edifícios que são, podem sempre beneficiar, antes de qualquer outra medida, de uma construção pensada para a sustentabilidade. A LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é uma norma que certifica os edifícios ambientalmente sustentáveis, dentro dos quais se inserem os *data centers* (Garbin & Chang, 2009).

A eficiência energética associada às tecnologias de informação é um dos mais importantes componentes da certificação LEED. Em geral, os edifícios LEED têm custos de operação menores, são mais saudáveis para os utilizadores, conservam água e energia e aumentam o valor patrimonial do edifício (CNS, s.d.).

Dados retirados de T-Systems (2009) revelam que dentro de um *data center*, após a aplicação de iniciativas de *green IT*, a poupança de energia pode ser resumida em:

- Melhoria no fornecimento de energia: 25%
- Processadores com sistema de poupança de energia: 5-10%
- Sistemas de refrigeração mais eficientes: 5-10%
- Ventiladores mais eficientes: 10-15%

Estratégias na eliminação

Sem regulamentação apropriada para guiar as empresas na eliminação dos equipamentos em fim de vida, existe um enorme risco de estas provocarem consequências adversas para o ambiente. As políticas demasiado vagas que têm sido aplicadas resultaram em alguns desastres ambientais como o caso de monitores encontrados em rios e computadores abandonados em lixeiras, onde os materiais tóxicos se envolvem no ambiente (Daoud, 2008).

Existem diversas opções para as organizações eliminarem os equipamentos em fim de vida, podendo prolongar-se o seu ciclo através da redistribuição, doação ou revenda, ou simplesmente impedir que se reutilizem os equipamentos, reciclando-os (Daoud, 2008).

Com o prolongamento do ciclo de vida dos equipamentos é possível diminuir a quantidade de resíduos que são depositados em lixeiras, bem como reduzir a quantidade de matéria-prima e carbono necessários para produzir e distribuir novos equipamentos. Em termos económicos também existem vantagens visíveis: é minorado o custo de posse dos equipamentos e é melhorado o retorno de ativos sobre o equipamento (Daoud, 2008).

A redistribuição refere-se à utilização dos equipamentos que já não são úteis num determinado setor da organização, por um outro setor que não necessite de equipamento tão sofisticado ou atualizado. No entanto, é importante que ao equipamento a ser transferido de setor seja dada uma imagem de “novo equipamento”. No que diz respeito à doação, as empresas optam por esta prática para evitar abandonar equipamentos, garantindo que o *hardware* continua a ser utilizado (Daoud, 2008).

O tipo de *design* dos equipamentos também contribui para uma maior eficiência no momento da sua eliminação. Na verdade, existem produtos cuja desmontagem para posterior eliminação é bastante onerosa, sendo que os componentes perigosos constituintes nem sempre são fáceis de encontrar. Se aquando do *design* existir a preocupação de pensar como será a gestão de final de ciclo dos equipamentos, a reciclagem poderá ser um problema menor. Também a utilização de componentes reciclados a partir de equipamentos velhos, torna a reciclagem mais rentável (Thomas et al., 2009).

Algumas das substâncias utilizadas nos equipamentos eletrónicos levaram a União Europeia a adotar medidas que proíbem a sua utilização devido à perigosidade que estas representam para o ambiente e para a saúde. Os produtores têm vindo a obedecer às leis impostas, mas ainda existem muitas substâncias nocivas a ser banidas dos equipamentos (Thomas et al., 2009).

O termo resíduo eletrónico é usado para descrever computadores, televisões, telemóveis, monitores, etc. em fim de vida e é um problema global em crescimento. Desde que os governos e grupos ambientais demonstraram maior preocupação e envolvimento nas práticas ambientalmente sustentáveis, um número crescente destes produtos tem sido reciclado. No entanto, permanecem por resolver muitos obstáculos à reciclagem (Thomas et al., 2009).

Existem duas atitudes essenciais para reduzir os resíduos eletrónicos, de acordo com Thomas et al. (2009). Em primeiro lugar, refere-se a importância de os equipamentos em fim de vida serem encaminhados para empresas de reciclagem responsáveis. Para além disso, é necessário encorajar a reutilização dos equipamentos eletrónicos, visto que uma estimativa dos mesmos autores indica que 80% de toda a energia consumida ao longo do ciclo de vida de um computador é para a sua produção e apenas 20% da energia é consumida aquando da sua utilização. Assim, prolongando o tempo de vida dos componentes, é possível reduzir os resíduos produzidos mas também o impacte causado pela produção dos mesmos.

2.4 *Green IT* no contexto empresarial

A preocupação com a degradação ambiental e a criação de práticas ambientalmente sustentáveis tem verificado um aumento gradual nos últimos anos. No entanto, muitas organizações consideram que os problemas ambientais estão fora dos seus limites de ação, apesar da crescente utilização de tecnologias e sistemas de informação e do conseqüente aumento dos problemas de sustentabilidade ambiental que advêm desta utilização (Jenkin et al., 2010).

Com o aumento da utilização das TI, as empresas consomem gradualmente mais energia, sendo esta muitas vezes gasta por tecnologias ineficientes ou obsoletas, sistemas mal desenvolvidos ou comportamentos irresponsáveis (Jenkin et al., 2010). O intenso debate sobre as alterações climáticas, leva muitas organizações a prometer a redução das suas emissões de carbono. Estas promessas são o resultado das crescentes pressões de clientes e do próprio governo, com a criação de regulamentação própria para os produtores e consumidores finais repensarem as suas práticas (Daoud, 2008).

Se o principal objetivo de uma empresa é o aumento dos lucros, então será lógico supor que uma organização irá tomar medidas que reduzam os custos, aumentando os benefícios. Daí, uma investigação levada a cabo por Forrester apud Butler (2009), indica que 55% dos executivos de TI inquiridos considera que a redução de custos é a principal causa para a instituição do *green IT* numa empresa e não as preocupações de eficiência ou de sustentabilidade ambiental. Apesar de a redução de custos ser a determinação fundamental de uma organização, existem sempre implicações ambientais presentes. A procura da redução de custos através da diminuição no consumo de energia em diversas iniciativas tem conduzido a uma sustentabilidade ambiental assente no *green IT* e nos seus benefícios (Daoud, 2008).

No entanto, as alterações climáticas e as preocupações ambientais conduzem o foco de investidores e gestores para as questões verdes. Onde muitos investidores olhavam apenas para as taxas de retorno como o principal critério para investimento, atualmente observa-se uma crescente preocupação social e ambiental. Kahlenborn apud Butler (2009) defende a existência de duas interpretações relacionadas com o investimento verde: na primeira, considera-se que o investidor tem em consideração tanto a questão ambiental como os tradicionais objetivos de um investimento; por outro lado, o investimento pode considerar apenas as questões ambientais, considerando-se a produção de bens ou serviços que não tenham impactes negativos sobre o ambiente.

Segundo Brassor & Vandeputte (2009), um estudo recente indica que cerca de 84% dos profissionais de TI consideram o *green IT* importante ou muito importante para a sua organização. Mas ações concretas em busca de benefícios são escassas. Um bom ponto de partida para que se dê início à aplicação do *green IT* é desfazer ideias erradas sobre este tópico, que afetam o processo da tomada de decisão.

Muitas vezes, o *green IT* é encarado como uma extravagância, algo que deve ser reservado apenas para os tempos prósperos. Com a recessão económica atual, muitos defendem que as organizações devem focar-se em gerir custos e não distrair-se com iniciativas cujos benefícios não são, à partida, quantificáveis. No entanto, os defensores desta ideia esquecem que a aplicação de iniciativas de *green IT* tem um impacto significativo na redução de custos e no seu controlo, sobretudo através da redução do consumo de energia e da otimização das capacidades das tecnologias existentes (Brassor & Vandeputte, 2009).

Na Figura 2.13 está representado um resumo das razões que levam uma empresa a adotar iniciativas de *green IT*.



Figura 2.13 – Razões que levam uma empresa a adotar iniciativas sustentáveis (adaptado de (Nokia Siemens Networks, 2008)

O aumento da necessidade de tecnologias de informação mais aptas a suportar o rápido desenvolvimento dos negócios e o incremento do uso de energia nos *data centers*, levando a um aumento dos custos com a energia e preocupações ambientais, tem vindo a definir um novo campo competitivo entre as organizações (IBM Corporation, 2008).

Com o rápido crescimento das TI, as empresas procuram consolidar os *data centers* a fim de economizar espaço e recolher outros benefícios, como a flexibilidade. Construir ou melhorar um *data center* oferece a oportunidade perfeita para rever estratégias económicas, incluindo eficiência energética (IBM Corporation, 2008).

Em Portugal, a adoção de estratégias verdes para as tecnologias de informação não apresenta uma tendência constante, mas quando uma organização opta pela sua implementação, é sobretudo com o objetivo de reduzir custos (Nóbrega, 2011).

Nóbrega (2011) apresenta as perspetivas de alguns representantes de empresas nacionais no que respeita ao *green IT*: de acordo com António Miguel Ferreira, da Claranet, o *green IT* não é apenas uma moda, mas sim algo que desperta a consciência de clientes e fornecedores; José Calado, da Unisys, considera que em Portugal as empresas já demonstram alguma maturidade no que diz respeito ao *green IT*, apesar de atualmente ainda não serem comuns práticas de gestão do ciclo de vida dos equipamentos, o teletrabalho ou mesmo a utilização de energias alternativas; e na opinião de Susana Saraiva, da Novabase, não existe nenhum setor que despreze a realidade de sustentabilidade das TI.

No entanto, existem opiniões opostas e mais pessimistas, apresentadas em Nóbrega (2011): Daniel Cruz, da NetApp, considera que as empresas portuguesas estão neste momento a dar os primeiros passos para a consciencialização ambiental; e para Nuno Matias, da Amen, os maiores centros de dados ainda não cumprem os padrões ecológicos ideais.

Cláudia Roberto da PT Prime, citada em Nóbrega (2011), diz que em Portugal a temática do *green IT* não se tem manifestado em larga escala. Na verdade, apesar de não se considerar que a sustentabilidade das TI seja uma iniciativa estratégica, está sempre presente como justificação para inovações tecnológicas que irão apresentar as organizações mais atualizadas e eficientes. Ainda de acordo com a mesma profissional, o *green IT* em Portugal não tem sido utilizado como estratégia empresarial. Contudo, com a crescente preocupação ambiental e com a importância atribuída às tecnologias de informação, o *green IT* começa a assumir um papel preponderante nas estratégias das empresas nacionais.

2.4.1 Implementação do *green IT*

Para que as TI tragam vantagem a uma organização, é necessário que os responsáveis abordem a questão do *green IT* com seriedade e de forma criativa e sistemática. Os custos com a energia poderão ser controlados e a organização terá a sua imagem perante a sociedade favorecida. Deverá ser elaborada uma estratégia de *green IT* que defina o âmbito de aplicação, as medidas a adotar e os objetivos a atingir (Charlton, Underwood, Bray, & Booty, 2011). Uma empresa é socialmente sustentável quando responde satisfatoriamente aos interesses das partes envolvidas, desde os trabalhadores aos clientes (T-Systems, 2009).

Segundo a consultora Forrester apud T-Systems (2009), o número de empresas que manifestam preocupações com as iniciativas sustentáveis tem vindo a aumentar. O mesmo estudo mostra que apenas 15% das empresas inquiridas implementou estratégias de *green IT* e 25% está a estudar essa possibilidade. Os números deste estudo estão representados na Figura 2.14, onde foi considerada uma amostra de 130 empresas.

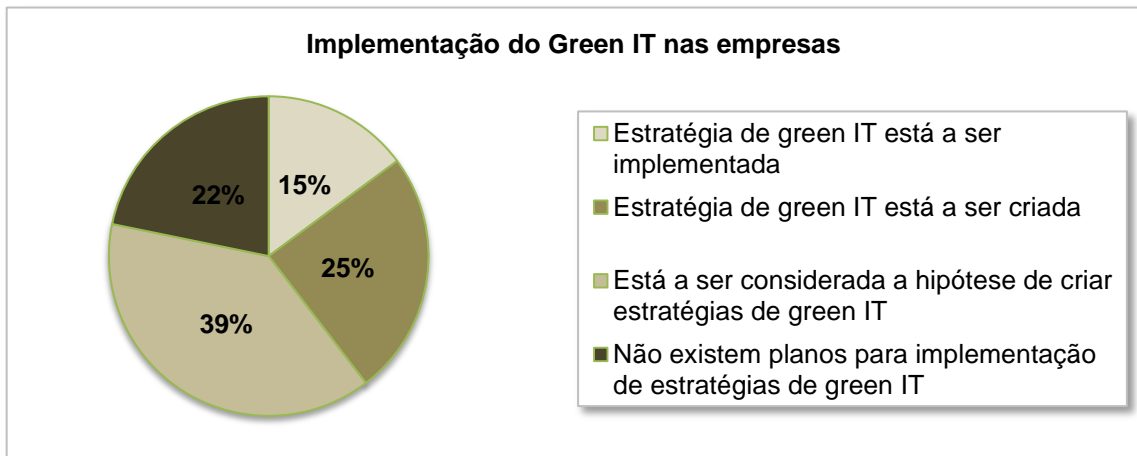


Figura 2.14 – Implementação de estratégias de *green IT* nas empresas (T-Systems, 2009)

Para a aplicação do conceito *green* numa empresa, existem três abordagens que podem ser seguidas: táticas, estratégicas ou radicais. Nas abordagens táticas são estudadas políticas para a redução do consumo de energia sem alterar a infraestrutura de TI; a abordagem estratégica envolve modificações no modo de produção com vista à redução do impacto no meio ambiente; com a abordagem radical existe o projeto e implementação de novos parques tecnológicos, sendo maximizado o desempenho e minimizado o consumo de energia. As medidas associadas à abordagem radical implicam maiores gastos (Wanders, 2011).

De acordo com Verdiem (2009), existem três passos fundamentais a adotar para a implementação do *green IT* e que podem ser subdivididos (Chatterton, 2011). São eles a determinação da pegada de carbono atual da empresa, definição dos objetivos de sustentabilidade e implementação das melhores iniciativas. Na Figura 2.15 estão representadas estas fases, adicionadas das subfases que devem ser seguidas na implementação de práticas de *green IT*. Na figura estão incluídas práticas de verificação da atual implementação, a fim de verificar a necessidade de alguma medida de melhoria ou alteração na estratégia.

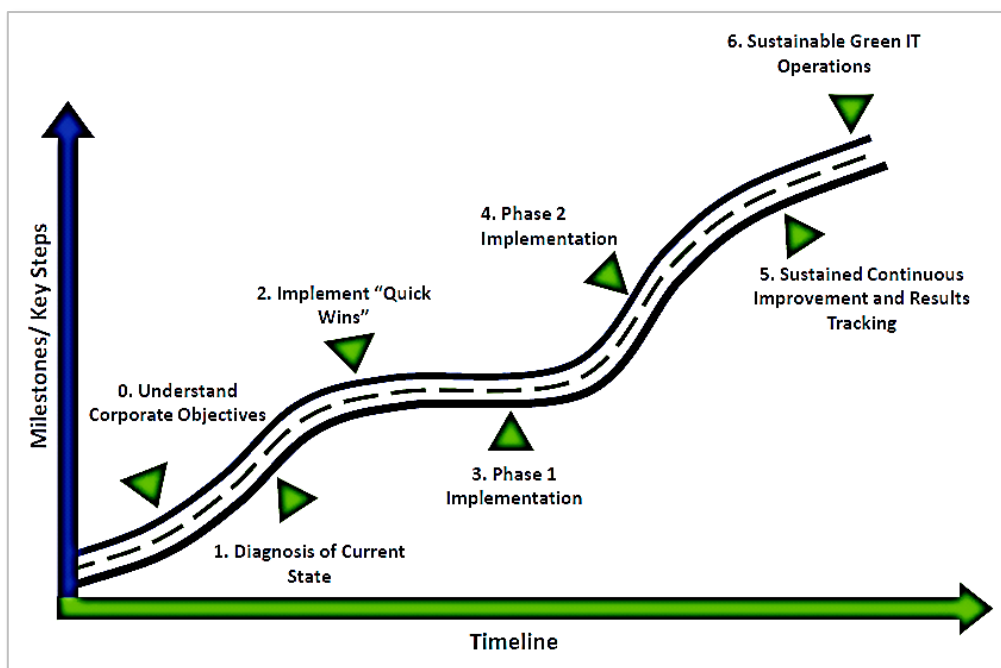


Figura 2.15 – Fases fundamentais para a implementação do *green IT* numa empresa (Chatterton, 2011)

2.5 Benefícios e implicações do *green IT*

Existem diversos mitos relacionados com o *green IT* que dificultam a sua aplicação. Entre eles, é comum acreditar que o *green IT* acarreta consigo custos adicionais, sem benefícios aparentes. Mas a abordagem que deve ser feita neste caso é que as iniciativas de aplicação do *green IT* devem ser tratadas como investimentos e, como sucede com qualquer negócio, apenas aqueles com potencial devem ser considerados. Com a gestão adequada, os benefícios que resultam do seu emprego têm, normalmente, efeitos imediatos (Brassor & Vandeputte, 2009).

Outro mito é aquele que diz que o *green IT* é apenas tarefa dos responsáveis de TI. Na verdade, o sucesso da implementação de iniciativas *green* só é alcançado se toda a organização se voltar para a sustentabilidade (Brassor & Vandeputte, 2009).

Em termos gerais, Hodges & White (2008) referem que o *green IT* representa uma mais-valia em qualquer estratégia empresarial porque:

- reduz a pegada de carbono,
- reduz os custos com arrefecimento de equipamentos,
- a empresa cumpre as regulamentações impostas,
- em termos de *marketing*, a empresa é favorecida com a adoção de iniciativas verdes.

Uma atividade ecológica consciente e a gestão sustentável das TIC correspondem a um comportamento cada vez mais importante no contexto atual e contribuem para uma melhoria da imagem da empresa. O *green IT* oferece vantagens que podem ser divididas de acordo com os

envolvidos na organização. A Figura 2.16 pretende demonstrar o valor acrescentado pelo *green IT*.

Vantagens do <i>Green IT</i>	Meio ambiente/sociedade	Minimização das emissões de CO ₂ Redução da utilização de recursos naturais Criação de regulamentação
	Empresa	Redução dos custos com a energia Redução dos custos de operação Diminuição da quantidade de equipamento necessário
	Trabalhadores	Aumento da satisfação Pode aumentar a facilidade de recrutamento Aumento da lealdade do trabalhador
	Mercado	Melhoria da posição entre as empresas Influência positiva na bolsa de valores Aumento do valor da empresa
	Clientes	Fidelização de clientes Novos clientes serão atraídos Aumento da satisfação
	Publicidade	Melhoria da imagem da empresa Cumprimento da estratégia de CSR Enaltecimento do valor da marca

Figura 2.16 – Vantagens da utilização do *green IT*
(adaptado de (T-Systems, 2009))

Modelos para tomada de decisão

A tomada de decisão faz parte do quotidiano, quer nas esferas pessoais, quer nos negócios, e o momento em que a decisão é tomada é tão importante como a própria decisão. Deliberar demasiado depressa pode ser tão nefasto como retardar uma decisão (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007).

Existem duas abordagens principais no que diz respeito aos problemas de tomada de decisão com múltiplos critérios (MCDM do inglês *multi-criteria decision making*): tomada de decisão com múltiplos atributos (MADM) e tomada de decisão com múltiplos objetivos (MODM). Os problemas com múltiplos atributos referem-se à escolha da melhor alternativa considerando um conjunto de variáveis. Nos problemas com múltiplos objetivos, o número de alternativas é, normalmente, infinito e as variáveis para tomada de decisão são representadas por funções contínuas (Kahraman C. , 2008).

O MADM é a subdivisão mais utilizada dentro das teorias de decisão e no âmbito deste trabalho também será o método utilizado. Este método permite uma abordagem geral aos problemas de decisão com um número considerável de critérios, permitindo a escolha da melhor alternativa, necessitando da perspetiva do decisor para completar a informação do problema.

Na maioria dos problemas da vida real, é difícil conhecer as alternativas associadas a uma determinada decisão, devido à sua complexidade. Para lidar com tal dificuldade, em 1965 Zadeh sugeriu a aplicação dos conjuntos da teoria *fuzzy* como uma ferramenta de apoio ao controlo (Kahraman C. , 2008).

Para a estruturação de um problema de decisão há que definir primeiramente o problema, esclarecer sobre o seu objetivo. Depois definem-se alternativas, onde o decisor passa a ter ao seu dispor as opções que apoiarão a tomada de decisão. Para cada alternativa, existem diversos critérios que se referem às características mais relevantes consideradas pelos decisores.

A segunda fase, que consiste na análise do problema de decisão, é a altura em que a decisão é, efetivamente, tomada. O decisor avalia as alternativas presentes e, recorrendo aos mais diversos métodos, opta pela opção mais favorável para o objetivo em questão.

As fases subsequentes referem-se à execução da alternativa elegida e à avaliação dos resultados da sua implementação (Cascales, 2009). Esta explicação está resumida na Figura 3.1.

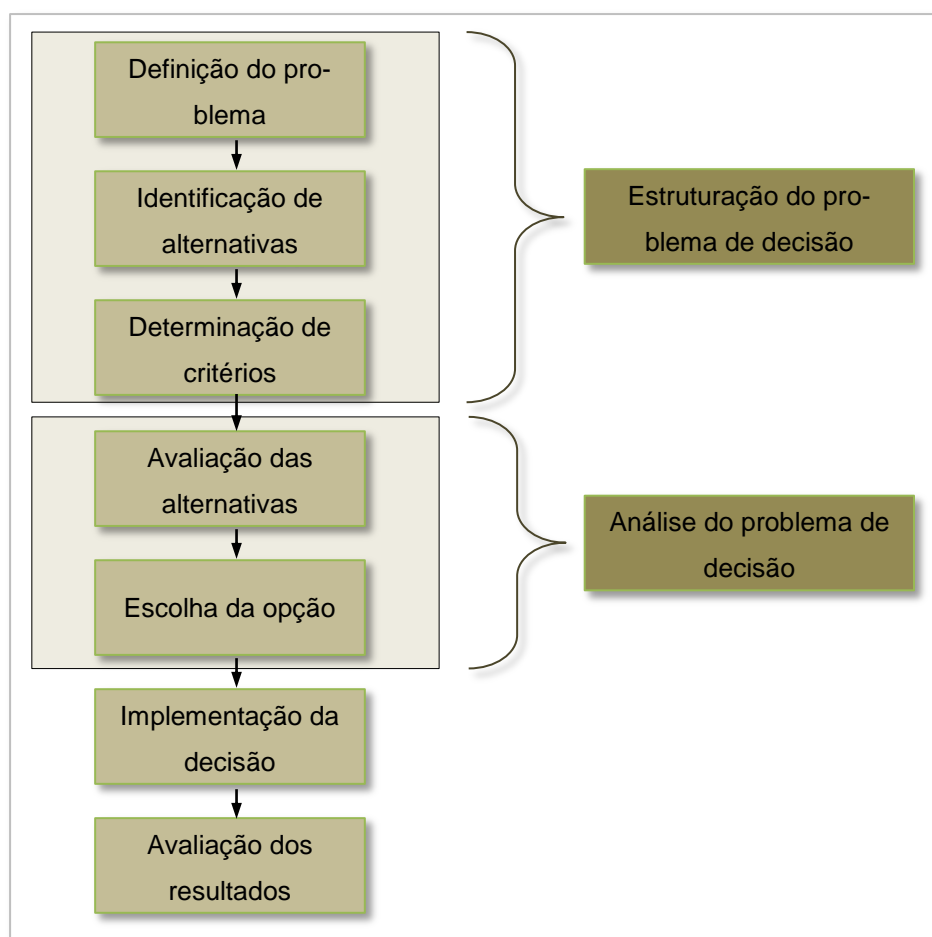


Figura 3.1 – Representação das fases de um processo de decisão multicritério (adaptado de (Cascales, 2009))

3.1 Avaliação de alternativas

Os métodos para tomada de decisão mais clássicos são ineficientes quando os problemas são mais complexos, especialmente quando os dados disponíveis possuem apenas informação qualitativa. Assim, é mais vantajoso utilizar métodos onde se possam combinar os aspetos positivos para alcançar a melhor decisão possível. Assim, como se observa na Figura 3.2, o esquema que se espera avaliar com este trabalho envolve o método AHP (do inglês *Analytical Hierarchy Process*) para a obtenção do peso dos critérios e o método TOPSIS (do inglês *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) para a avaliação das alternativas.

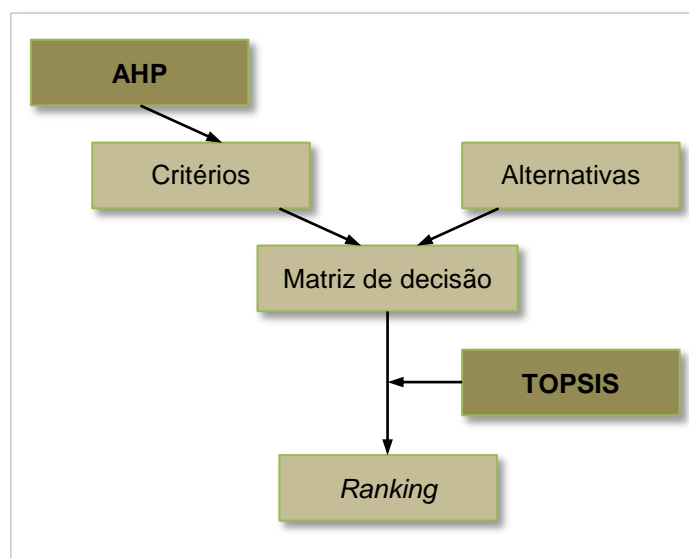


Figura 3.2 – Esquema para avaliação de alternativas (adaptado de (Cascales, 2009))

3.2 Fuzzy sets

A subjetividade inerente ao pensamento humano deve ser sempre considerada quando existe uma tomada de decisão, ao invés de apenas serem consideradas medidas probabilísticas objetivas. Foi devido a esta subjetividade que se tornou indispensável o estudo de novas metodologias de tomada de decisão, levando ao aparecimento do conceito *fuzzy*. Os sistemas *fuzzy* estão associados ao raciocínio incerto e aproximado, permitindo que a tomada de decisões possa ser feita na presença de modelos difíceis de definir (Kahraman, Gülbay, & Kabak, 2006).

A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi desenvolvida por Zadeh na década de 1960 e logo se apresentou como uma ferramenta decisiva para a manipulação de dados imprecisos na tomada de decisão (Kahraman et al., 2006).

A definição apresentada por Zadeh em 1965, começa por considerar X como um conjunto de objetos, onde um elemento genérico de X é representado por x . Então $X = \{x\}$, sendo este um conjunto clássico de objetos. Um conjunto *fuzzy* \mathcal{A} em X é caracterizado por uma função $\mu_{\mathcal{A}}(x)$, que associa a cada ponto de X um número real do intervalo $[0,1]$ (Zadeh, 1965). O conjunto *fuzzy* \mathcal{A} é definido por Dubois & Prade (1980) da seguinte forma:

$$\mathcal{A} = \{(x, \mu_{\mathcal{A}}(x)), x \in X\} \quad (3.1)$$

A função $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ especifica o grau com que cada elemento x em X pertence ao conjunto *fuzzy* \mathcal{A} (Bojadziev & Bojadziev, 1997).

Números fuzzy

Os números *fuzzy* são a representação de conjuntos *fuzzy* com algumas alterações que permitem uma maior facilidade de cálculo.

Números fuzzy triangulares

Os números *fuzzy* triangulares (Figura 3.3), ou simplesmente números triangulares (Bojadziev & Bojadziev, 1997), são uma das classes dos números *fuzzy* onde os seus membros são definidos por três números reais expressos como (l, m, u) . Estes números podem ser representados como:

$$\mu_{\mathcal{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & l < x < m, \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, & m \leq x \leq u, \\ 0, & \text{outros casos} \end{cases} \quad (3.2)$$

onde m é o valor mais provável de um número *fuzzy* \mathcal{A} , e l e u são o limite superior e inferior, respetivamente, fora dos quais o elemento não está contido no conjunto (Prakash, 2003).

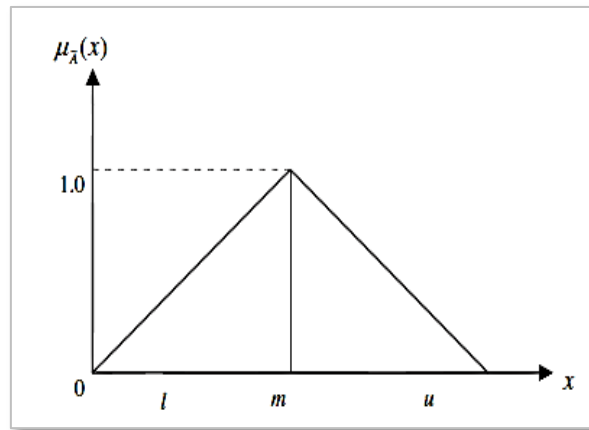


Figura 3.3 – Representação dos números *fuzzy* triangulares (Sun, 2010)

Os números triangulares são normalmente utilizados em diversas aplicações (controladores *fuzzy*, tomada de decisão, economia e finanças, ciências sociais, etc.). A sua representação e cálculo associado são bastante simples, tornando fácil a sua construção mesmo com pouca informação disponível (Bojadziev & Bojadziev, 1997).

Operações com números fuzzy triangulares

São apresentadas de seguida as principais operações com números triangulares (Prakash, 2003).

Sejam $\mathcal{A} = (l_a, m_a, u_a)$ e $\mathcal{B} = (l_b, m_b, u_b)$ dois números *fuzzy* triangulares. Então,

1. Adição $\mathcal{A} + \mathcal{B} = (l_a + l_b, m_a + m_b, u_a + u_b)$ (3.3)

2. Subtração $\mathcal{A} - \mathcal{B} = (l_a - l_b, m_a - m_b, u_a - u_b)$ (3.4)

$$3. \text{ Multiplicação} \quad \mathcal{AB} = (l_a l_b, m_a m_b, u_a u_b), \quad (3.5)$$

$$l_a, l_b > 0; m_a, m_b > 0; u_a, u_b > 0$$

$$4. \text{ Divisão} \quad \frac{\mathcal{A}}{\mathcal{B}} = \left(\frac{l_a}{u_b}, \frac{m_a}{m_b}, \frac{u_a}{l_b} \right) \quad (3.6)$$

$$l_a, l_b > 0; m_a, m_b > 0; u_a, u_b > 0$$

$$5. \text{ Recíproco} \quad \mathcal{A}^{-1} = \left(\frac{1}{u_a}, \frac{1}{m_a}, \frac{1}{l_a} \right) \quad (3.7)$$

$$l_a > 0; m_a > 0; u_a > 0$$

$$6. \text{ Distância entre 2} \\ \text{números triangu-} \\ \text{lares} \quad d(m, n) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_a - l_b)^2 + (m_a - m_b)^2 + (u_a - u_b)^2]} \quad (3.8)$$

3.3 AHP e Fuzzy AHP

Para a avaliação de n alternativas A_1, \dots, A_n , de acordo com um determinado critério, é comum utilizar “comparações par a par” (do inglês *pairwise comparisons*), representadas sob a forma de uma matriz quadrada $n \times n$ onde são colocados os valores que indicam a preferência das alternativas. Para a avaliação dos parâmetros, podem ser utilizados diversos métodos, cuja eficácia é analisada e comparada entre eles. Mas a maioria dos métodos propostos estão ligados ao paradigma do *Analytical Hierarchy Process* (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007).

O AHP (*Analytical Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Saaty (1980) e é um método assente na ponderação de alternativas (Kahraman C. , 2008). Este método permite a conversão dos pesos atribuídos em dados mais simples de tratar através das comparações entre pares de valores, onde o decisor especifica quanto um atributo é mais importante que outro. Os dados são resumidos em matrizes (Kahraman C. , 2008).

O AHP é um dos melhores métodos para a tomada de decisão em situações de complexidade dos critérios considerados. O *Fuzzy AHP* é uma extensão do AHP tradicional quando se observa imprecisão dos dados avaliados (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007).

3.3.1 AHP clássico

O AHP é um método para avaliar a importância de alternativas de decisão, classificando e selecionando a melhor, na presença de múltiplos critérios. O decisor opta pela alternativa que melhor se adequa aos critérios de decisão estabelecidos, através da classificação de cada opção (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007).

De acordo com Özdağoğlu & Özdağoğlu (2007), a partir de 1977 Saaty propôs o AHP como um método de apoio à decisão, para resolver problemas relacionados com economia, sociedade e ciências de gestão. Desde então, o AHP tem sido utilizado numa infinidade de contextos, permitindo a estruturação de um problema complexo sob a forma de uma hierarquia, avaliando um grande número de fatores quantitativos e qualitativos de forma sistemática.

A aplicação do AHP a problemas complexos envolve, geralmente, quatro etapas fundamentais (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007):

1. Fragmentar o problema complexo inicial em elementos constituintes, distribuindo-os hierarquicamente.
2. Efetuar comparações par a par consecutivas entre os elementos, seguindo uma escala de classificação previamente definida.
3. Utilizar um *eigenvalue*² para estimar os pesos relativos das alternativas.
4. Agregar os pesos relativos e sintetizá-los para avaliar as alternativas de decisão.

Uma explicação mais aprofundada dos passos a seguir para a utilização do AHP será dada de seguida.

Passo 1: Estruturar o problema como uma hierarquia

A hierarquia terá o aspeto do esquema que se segue.

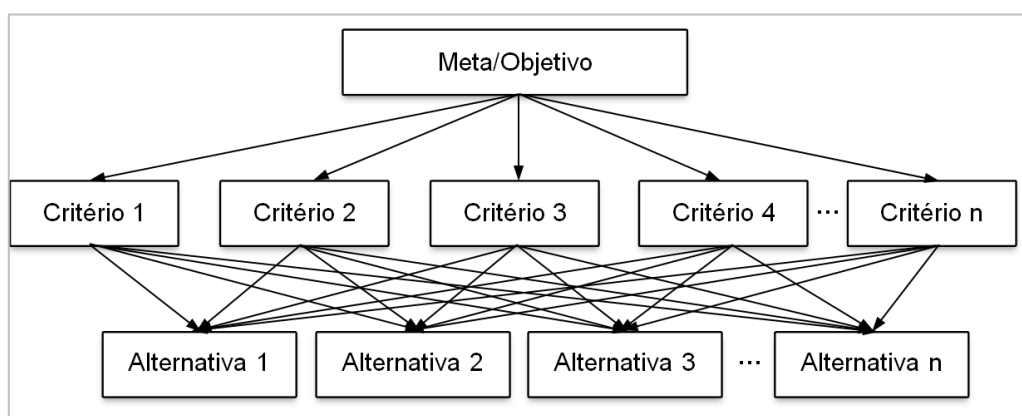


Figura 3.4 – Estrutura hierárquica do método AHP (Cascales, 2009)

- No topo da hierarquia encontra-se o objetivo a atingir. O problema de decisão visa eleger a melhor alternativa para cumprir o objetivo definido.
- No segundo nível situam-se os critérios, os quais permitem ao decisor justificar as suas preferências. Estes critérios podem ser atributos, objetivos ou parâmetros, relacionados com o objetivo principal.
- As alternativas são o conjunto de opções sobre a qual o decisor realiza a decisão.

² Um *eigenvalue* corresponde a um conjunto de números escalares associado a um sistema de equações lineares, sendo por vezes conhecidos como raízes características ou valores característicos, valores próprios ou raízes latentes (Vieira, 2006).

Passo 2: Definição das prioridades entre os critérios

Neste passo é construído um vetor de prioridades onde é avaliada a importância relativa de cada critério. O problema principal associado a este passo reside na dificuldade de designar um valor numérico a uma preferência, algo que é completamente subjetivo. Para ultrapassar este problema, existem duas técnicas distintas: alocação direta e alocação indireta. Na primeira, o decisor avalia a importância de um critério em termos qualitativos, sendo que cada critério está diretamente relacionado com um valor numérico de uma escala previamente estabelecida. O outro método de alocação, a alocação indireta, pressupõe a comparação entre os critérios e implica uma análise mais exaustiva (Cascales, 2009).

Supondo a comparação dos critérios C_j ($j = 1, 2, \dots, n$) para estabelecer as prioridades w_j (pesos associados aos critérios). A comparação é expressa pela matriz W e é pretendido encontrar o vetor de prioridades $\vec{w} = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ do qual se calcula o *eigenvalue*. Surge então a seguinte equação generalizada:

$$\begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \mu \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

onde w_1 é o que se mede, ou seja, o peso dos critérios, e os elementos da matriz $W = (w_{ij})$ (com $w_{ij} = w_i/w_j$ para $i, j = 1, 2, \dots, n$) são números positivos (Cascales, 2009; Saaty, 1990).

Ao normalizar a soma das colunas, é possível obter o vetor \vec{w} . Para tal, são descritos os passos a seguir para determinar a prioridade relativa de cada alternativa em função de cada critério.

A construção da matriz recíproca R , que representa as prioridades relativamente a cada alternativa, de acordo com cada critério individualmente, é o primeiro passo para ser possível calcular a melhor alternativa. Para tal, é utilizada a escala de comparação par a par, representada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Escala para comparação par a par (Saaty, 1990)

Intensidade de importância	Definição	Explicação (comparação dos critérios da esquerda (E) e direita (D))
1	Igualmente importante	Critérios E e D são igualmente importantes
3	Importância moderada	Critério E é ligeiramente mais importante que critério D
5	Mais importante	Critério E é mais importante que critério D
7	Muito mais importante	Critério E é muito mais importante que critério D
9	Importância extrema	Critério E é extremamente mais importante que critério D
2, 4, 6, 8	Valores intermédios	
Recíprocos		Critério E é menos importante que critério D

A matriz recíproca R vai ser do tipo:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

onde r_{ij} representa a prioridade relativa entre o critério C_i e o critério C_j , relativamente ao objetivo do problema.

Os cálculos que serão descritos de seguida, retirados de Vieira (2006), são aplicados a cada uma das matrizes recíprocas, de acordo com o número de critérios que está a ser avaliado.

1. Somar cada coluna da matriz recíproca.
2. Dividir cada valor da matriz recíproca pelo total de cada coluna obtido, obtendo-se a matriz recíproca normalizada.
3. Calcular a média para cada linha da matriz. A matriz coluna que se obtém é o vetor prioridade. Cada linha do vetor prioridade corresponde às prioridades relativas segundo cada critério. A matriz de prioridades obtém-se da junção de cada vetor prioridade.
4. Utilizar a matriz de prioridades para determinar a prioridade global das alternativas. Para tal, a partir da matriz global do objetivo, repetem-se os passos 1,2 e 3, obtendo-se o vetor critério.
5. Multiplicar a matriz de prioridades pelo vetor critério, obtendo-se finalmente a melhor alternativa.

Passo 3: Determinação da consistência dos resultados

Durante o processo de preenchimento das matrizes recíprocas, existe a possibilidade de os julgamentos que são efetuados conduzirem a dados inconsistentes, devido ao facto de as comparações nem sempre serem feitas de forma cautelosa. E o risco de inconsistência aumenta com o aumento do número de critérios que é avaliado.

A obtenção da consistência dos resultados, apesar de desejável, nem sempre é conseguida, sendo aceitável uma pequena margem de falha. Esta inconsistência significa redução da precisão dos resultados obtidos mas existem meios para medir o grau de inconsistência presente. Se o grau de consistência for inaceitável, o decisor terá de rever os julgamentos aplicados (Vieira, 2006).

De acordo com Cascales (2009), existem diversas formas de determinar a inconsistência das matrizes e medir a consistência dos julgamentos. Uma dessas formas é resolver, após a construção da matriz R , a equação (3.11).

$$R \cdot \vec{w} = \lambda_{max} \cdot \vec{w} \quad (3.11)$$

onde λ_{max} é o *eigenvalue* principal máximo da matriz de comparação. Quanto mais próximo este valor estiver de n , sendo n a dimensão da matriz, maior é a consistência dos valores (Cascales, 2009; Saaty, 1990; Vieira, 2006).

No entanto, nem sempre é possível obter uma coerência total dos juízos, em que $\lambda_{max} = n$ (Cascales, 2009). Quando tal acontece, é necessário construir uma função que meça a consistência dos julgamentos, sendo possível medi-la através do índice de consistência (CI). A expressão para este cálculo está representada na equação (3.12).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.12)$$

A determinação do nível de consistência é feita através do cálculo do rácio de consistência. De acordo com Saaty (1990), se o rácio de consistência for inferior a 10%, então as comparações são aceitáveis. Este valor calcula-se através de:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.13)$$

onde CI é o índice de consistência e RI é o índice de consistência aleatório e que surge da comparação de matrizes de dimensão n geradas aleatoriamente (ver Tabela 3.2) (Cascales, 2009; Saaty, 1990; Vieira, 2006).

Tabela 3.2 – Índice de consistência aleatório (Saaty, 2004)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random Index	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Passo 4: Estabelecimento das prioridades entre os subcritérios

A metodologia apresentada no passo anterior não pressupõe a existência de subcritérios no problema. Assim, no caso de existirem subcritérios, é necessário calcular os pesos dos mesmos antes de prosseguir para as análises conclusivas. O procedimento é o mesmo que foi descrito anteriormente para os critérios principais.

3.3.2 Fuzzy AHP

O método clássico do AHP pode tornar-se problemático na medida em que a opinião do decisor na comparação de alternativas é expressa por um número exato, o que não representa a complexidade do pensamento humano. Para além disso, a escala de julgamentos pode não ser a mais adequada para lidar com a incerteza da comparação par a par (Ertuğrul & Karakaşoğlu, 2007).

Foi com vista a superar estas problemáticas que surgiu o *fuzzy* AHP. De acordo com Ertuğrul & Karakaşoğlu (2007), os primeiros estudos relativos a este método foram propostos por Van Laarhoven e Pedrycz em 1983, ao compararem quocientes entre números *fuzzy* com números *fuzzy* triangulares. Ainda de acordo com os mesmo autores, em 1996 Chang introduziu uma nova abordagem ao *fuzzy* AHP, utilizando os números triangulares para as comparações par a par (Ertuğrul & Karakaşoğlu, 2007). É o método originalmente desenvolvido por Chang que será descrito no contexto deste trabalho.

Özdağoğlu & Özdağoğlu (2007) referem que muitos autores consideram que a comparação simples de classificações atribuídas a elementos pode conduzir a julgamentos imprecisos. Esta imprecisão leva a incertezas aquando do *ranking* das alternativas e dificulta a determinação da consistência das preferências.

Para a resolução de um problema de tomada de decisão utilizando o *fuzzy* AHP, é necessário que os valores utilizados estejam representados numa escala *fuzzy*. Assim, Sun (2010) e Tesfamariam & Sadiq (2006) propõem a seguinte escala comparativa entre os termos linguísticos (utilizados no AHP) e os números *fuzzy* triangulares. De notar que, tal como na definição linguística adotada para o AHP, os valores 2,4,6 e 8 representam definições intermédias.

Tabela 3.3 – Números *fuzzy* utilizados para comparação par a par (Sun, 2010; Tesfamariam & Sadiq, 2006)

Número <i>fuzzy</i>	Definição linguística	Escala <i>fuzzy</i> triangular	Escala <i>fuzzy</i> triangular recíproca
1	Igualmente importante	(1,1,1)	(1,1,1)
2		(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
3	Importância moderada	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
4		(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
5	Mais importante	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
6		(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
7	Muito mais importante	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
8		(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)
9	Importância extrema	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)

A bibliografia explicativa do *fuzzy* AHP de acordo com o método desenvolvido por Chang é alargada. Ates, Cevik, Kahraman, Gülbay, & Erdogan, 2006; Balli & Korukoğlu, 2009; Chan, Kumar, Tiwari, Lau, & Choy, 2008; Ertuğrul & Karakaşoğlu, 2007; Jiang, Feng, & Shi, 2009; Kahraman C., 2004; Karimi, Mehrdadi, Hashemian, Nabi-Bidhendi, & Tavakkoli-Moghaddam, 2011; Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007; Perçin, 2008 descreveram os passos baseados na metodologia de Chang.

Seja $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ um conjunto de objetos e $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$ um conjunto de objetivos. Os valores m para a análise da amplitude de cada objeto são obtidos através da representação que se segue.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

onde $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) são números *fuzzy* triangulares de acordo com os parâmetros (l, m, u) .

Passo 1

O valor *fuzzy* sintético para a amplitude (S_i), relativamente a cada objeto, é dado pela equação (3.14).

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (3.14)$$

onde, para obter $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$, é utilizada a operação de adição de números *fuzzy*

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=i}^m l_j, \sum_{j=i}^m m_j, \sum_{j=i}^m u_j \right), \quad i = 1, \dots, n \quad (3.15)$$

e para obter $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$, é feita a adição dos valores de $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (3.16)$$

e de seguida é invertido o vetor que se alcança no cálculo anterior, sendo possível obter a equação (3.17).

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (3.17)$$

Passo 2

Sendo $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ e $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ dois números *fuzzy* triangulares, o grau de possibilidade de $M_2 \geq M_1$ é definido por

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min \left(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y) \right) \right] \quad (3.18)$$

que também pode ser definido como

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & \text{se } m_2 \geq m_1, \\ 0 & \text{se } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{outros casos} \end{cases} \quad (3.19)$$

A intersecção entre M_1 e M_2 permite calcular a ordenada d , que representa o melhor ponto de intersecção entre μ_{M_1} e μ_{M_2} (Figura 3.5).

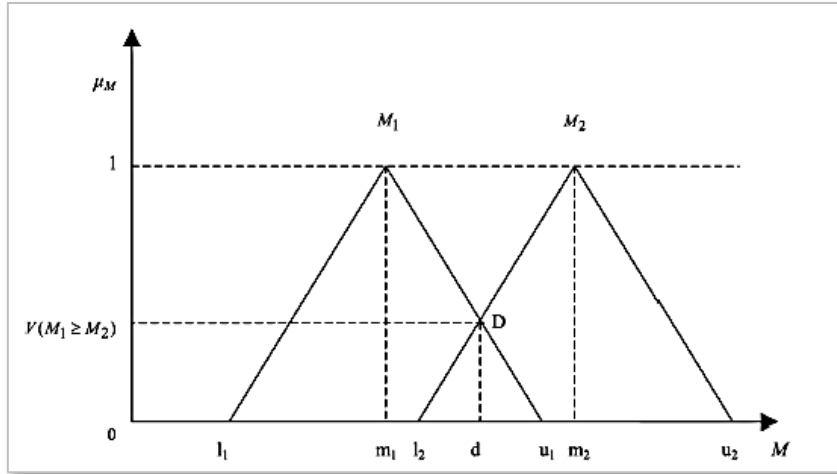


Figura 3.5 – Intersecção entre M_1 e M_2 (Perçin, 2008)

Passo 3

O grau de possibilidade para que um número *fuzzy* convexo seja maior do que k números *fuzzy* convexos $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ é definido por

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \wedge (M \geq M_2) \wedge \dots \wedge (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3.20)$$

Assumindo que

$$D'(S_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (3.21)$$

para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$, então o vetor de pesos dos critérios é dado por

$$W' = (D'(S_1), D'(S_2), \dots, D'(S_n))^T \quad (3.22)$$

onde $S_i (i = 1, 2, \dots, n)$ é composto por n elementos.

Passo 4

Através de normalização (descrita oportunamente na secção sobre AHP), os vetores normalizados são definidos como

$$W = (D(S_1), D(S_2), \dots, D(S_n))^T \quad (3.23)$$

onde W não é composto por números *fuzzy*.

3.4 TOPSIS

O conceito TOPSIS (do inglês *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi introduzido por Hwang e Yoon em 1981. O princípio inerente a este método baseia-se na ideia de que a alternativa escolhida para um determinado problema de decisão deve situar-se tão próxima da solução ideal e tão distante da solução menos ideal quanto possível. A solução

ideal é composta pelos melhores valores da matriz decisão, relativamente a qualquer alternativa de qualquer atributo (Kahraman C. , 2008).

Para a identificação das soluções mais próximas da solução ideal, são utilizadas medidas de proximidade. Essa medida corresponde à distância que separa uma dada solução da solução ideal. A Figura 3.6 pretende ilustrar o conceito de ideal e anti-ideal relativamente a um conjunto de soluções propostas (Cascales, 2009; Menezes, 2006).

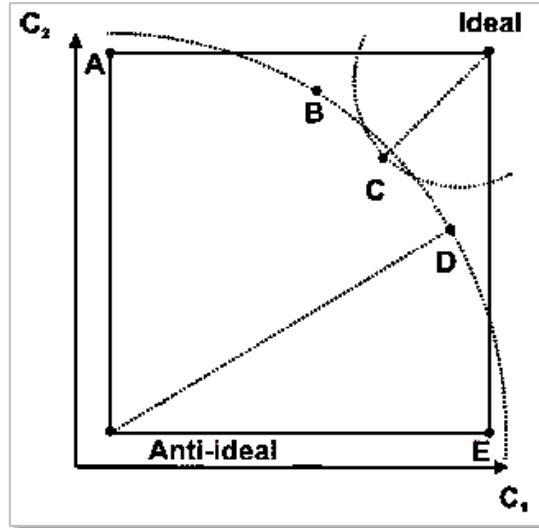


Figura 3.6 – Representação da distância ao ideal e ao anti-ideal (Cascales, 2009)

Para resolver um problema de decisão com o apoio do método TOPSIS, é utilizada uma ideia aplicada inicialmente por Dasarathy em 1976 num contexto de análise de dados multivariados. Para cada alternativa $A_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$, calculam-se as distâncias ponderadas à solução ideal positiva e à solução ideal negativa, $d_p^M(A_i)$ e $d_p^m(A_i)$, respetivamente³:

$$d_p^M(A_i) = \left[\sum_j w_j^p |A_j^M - x_{ij}|^p \right]^{1/p} \quad (3.24)$$

$$d_p^m(A_i) = \left[\sum_j w_j^p |A_j^m - x_{ij}|^p \right]^{1/p} \quad (3.25)$$

A partir das duas equações anteriores, é possível obter o rácio de similaridade, representado na equação (3.26):

³ Explicação dos parâmetros das expressões:

j : critério analisado;

w_j : peso do critério j ;

A_j^M : ponto de ideal para o critério j ;

A_j^m : ponto de anti-ideal para o critério j ;

x_{ij} : ponto de coordenada da alternativa considerada para o critério j ;

p : valor que define o tipo de distância.

$$D_p(A_i) = \frac{d_p^m(A_i)}{d_p^M(A_i) + d_p^m(A_i)} \quad (3.26)$$

O valor de D_p varia desde 0, para a solução menos ideal, até 1, para a melhor solução.

Na Figura 3.7 estão representados os passos para o método TOPSIS, que serão descritos de seguida.

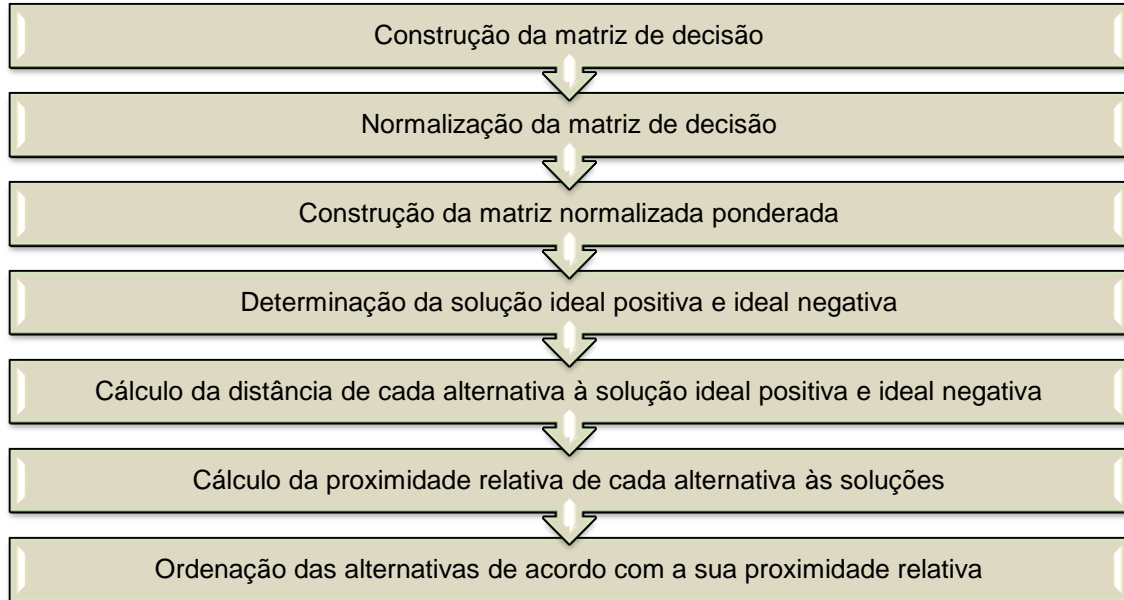


Figura 3.7 – Passos para aplicação do método TOPSIS (adaptado de (Cascales, 2009))

Passo 1: Estabelecimento da matriz de decisão

A matriz base que será alvo de análise através do método TOPSIS está representada de seguida, onde existem m alternativas $A_i, i = 1, \dots, m$, as quais são avaliadas de acordo com n critérios $C_j, j = 1, \dots, n$.

Tabela 3.4 – Matriz de decisão

	C_1	C_2	...	C_j	...	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}
W	w_1	w_2	...	w_j	...	w_n

Na matriz, x_{ij} representa a avaliação das alternativas para cada critério e $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ é o vetor de pesos associado a C_j . Os pesos dos critérios podem ser calculados com recurso ao método AHP (Lotfi, Fallahnejad, & Navidi, 2011).

Passo 2: Normalização da matriz de decisão

Todos os valores da matriz de decisão são convertidos para uma escala comparável. Os elementos da matriz de decisão normalizada $N = [\bar{n}_{ij}]_{m \times n}$ são calculados da seguinte forma:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij})^2}}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (3.27)$$

Passo 3: Construção da matriz de decisão normalizada ponderada

O valor normalizado ponderado v_{ij} da matriz de decisão normalizada ponderada $V = [v_{ij}]_{m \times n}$ é calculado como se indica:

$$v_{ij} = w_j \otimes n_{ij}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (3.28)$$

Passo 4: Determinação da solução ideal positiva e ideal negativa

O conjunto de valores ideais positivos, A^+ , e o conjunto de valores ideais negativos, A^- , são determinados com as seguintes expressões:

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_i v_{ij}, j \in I \right) \left(\min_i v_{ij}, j \in J \right) \right\} i = 1, 2, \dots, m \quad (3.29)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_i v_{ij}, j \in I \right) \left(\max_i v_{ij}, j \in J \right) \right\} i = 1, 2, \dots, m \quad (3.30)$$

onde I está associado aos critérios positivos e J está associado aos critérios negativos.

Passo 5: Cálculo da distância de cada alternativa às soluções

A distância de cada alternativa à solução ideal positiva é dada por:

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (3.31)$$

A distância de cada alternativa à solução ideal negativa é dada por:

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (3.32)$$

Passo 6: Cálculo da proximidade relativa às soluções

O coeficiente de proximidade representa a distância de cada alternativa à solução ideal positiva e à solução ideal negativa em simultâneo.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (3.33)$$

Quanto mais próximo o valor do coeficiente de proximidade estiver de 1, maior é a prioridade da alternativa.

Passo 7: Ordenação das alternativas

Tendo por base o coeficiente de proximidade, as alternativas são ordenadas por ordem decrescente, sendo que a melhor será aquela mais próxima do valor 1.

Modelo para avaliação da utilização sustentável das TIC

Os problemas de tomada de decisão em contextos reais podem representar incerteza e indecisão por um número variado de razões. As incertezas têm vindo a ser tratadas com recurso a teorias de probabilidades e estatística. No entanto, em diversas áreas do dia-a-dia, como medicina, engenharia ou produção, a avaliação humana e os seus julgamentos acarretam percepções subjetivas e que implicam entendimentos vagos da realidade. Para além disso, as tomadas de decisão dependem sempre da percepção individual ou da personalidade específica do decisor.

Este capítulo está dividido em dois subcapítulos principais. No primeiro é feita a descrição do modelo de decisão, tendo em conta a escolha dos critérios e subcritérios e a sua representação hierárquica. O segundo subcapítulo pretende explicar a metodologia utilizada, fazendo uma exposição do tipo de questionário aplicado, das comparações feitas entre os critérios e a justificação da utilização do *fuzzy* AHP e do TOPSIS.

4.1 Descrição do modelo

No contexto organizacional, o *green IT* pode ser entendido como uma ferramenta capaz de melhorar a utilização dos equipamentos informáticos, tendo em vista a redução do consumo de energia e da emissão de gases de efeito de estufa. No entanto, o interesse demonstrado até hoje para uma implementação e controlo efetivo da utilização das tecnologias de informação não corresponde ao que seria necessário para a diminuição dos impactes no ambiente.

Com esta dissertação pretende-se criar um modelo de decisão que possa apoiar as empresas a conhecer o que pode ser feito para uma utilização sustentável das tecnologias de informação. Da bibliografia analisada, verificou-se a existência de diversos parâmetros relacionados com o *green IT*. Contudo, devido à abrangência que este tema suporta, este trabalho está direcionado apenas para a vertente da utilização das TI, deixando para trabalhos futuros uma análise mais exaustiva da produção, cadeia de abastecimento e eliminação das tecnologias.

O objetivo principal deste trabalho é a criação de um modelo de decisão para avaliar a utilização de iniciativas de *green IT* por parte das empresas, sendo posteriormente aplicado nos três casos de estudo do Capítulo 5 para testar a sua veracidade. Este modelo compreende uma avaliação par a par de critérios e subcritérios relacionados com a utilização de *green IT* nas empresas. Esta comparação é alvo de uma análise com o método *fuzzy AHP*, que irá permitir conhecer o peso que cada critério e subcritério têm para uma utilização sustentável das tecnologias de informação. Conhecidos os pesos dos parâmetros, é aplicado o método TOPSIS às respostas dadas pelas empresas relativamente à aplicação das iniciativas verdes. Assim, é possível conhecer a performance que cada empresa alcança no que diz respeito à utilização do *green IT*.

4.1.1 Definição dos critérios e subcritérios

Uma leitura da literatura existente, de entre artigos, *white papers* e revistas da especialidade, permitiu selecionar as principais ações que conduzem a uma utilização sustentável das tecnologias de informação. Por uma questão de organização, optou-se por dividir esses parâmetros encontrados em dois critérios principais: os que dizem respeito ao comportamento humano e os que são referentes à redução direta da energia consumida pelas infraestruturas, sejam elas equipamentos eletrónicos ou o próprio *data center*. Dentro do critério de comportamento humano, consideraram-se os subcritérios que dependem da ação de cada utilizador. Os subcritérios relacionados com a infraestrutura incluem parâmetros que supõem uma intervenção mais especializada. Cada um destes subcritérios foi convenientemente exposto no Capítulo 2.

4.1.2 Representação hierárquica do problema

Com a representação hierárquica do problema em análise, é possível ter uma visão geral e organizada do que se pretende estudar. Neste modelo de decisão existem três níveis de decisão: o objetivo principal, que é a utilização sustentável das tecnologias de informação; no segundo nível encontram-se os critérios principais, de acordo com os quais se definem os subcritérios, presentes no terceiro nível. Numa estrutura normal hierárquica para aplicação do AHP, estaria ainda presente um quarto nível para as alternativas, que neste caso seriam as empresas onde foram feitos os questionários. No entanto, como se optou por avaliar a utilização de *green IT* nas empresas através da utilização do método TOPSIS, este quarto nível não fará sentido para este contexto.

Na Figura 4.1 está representada a hierarquia que reproduz o modelo de decisão que se pretende analisar.

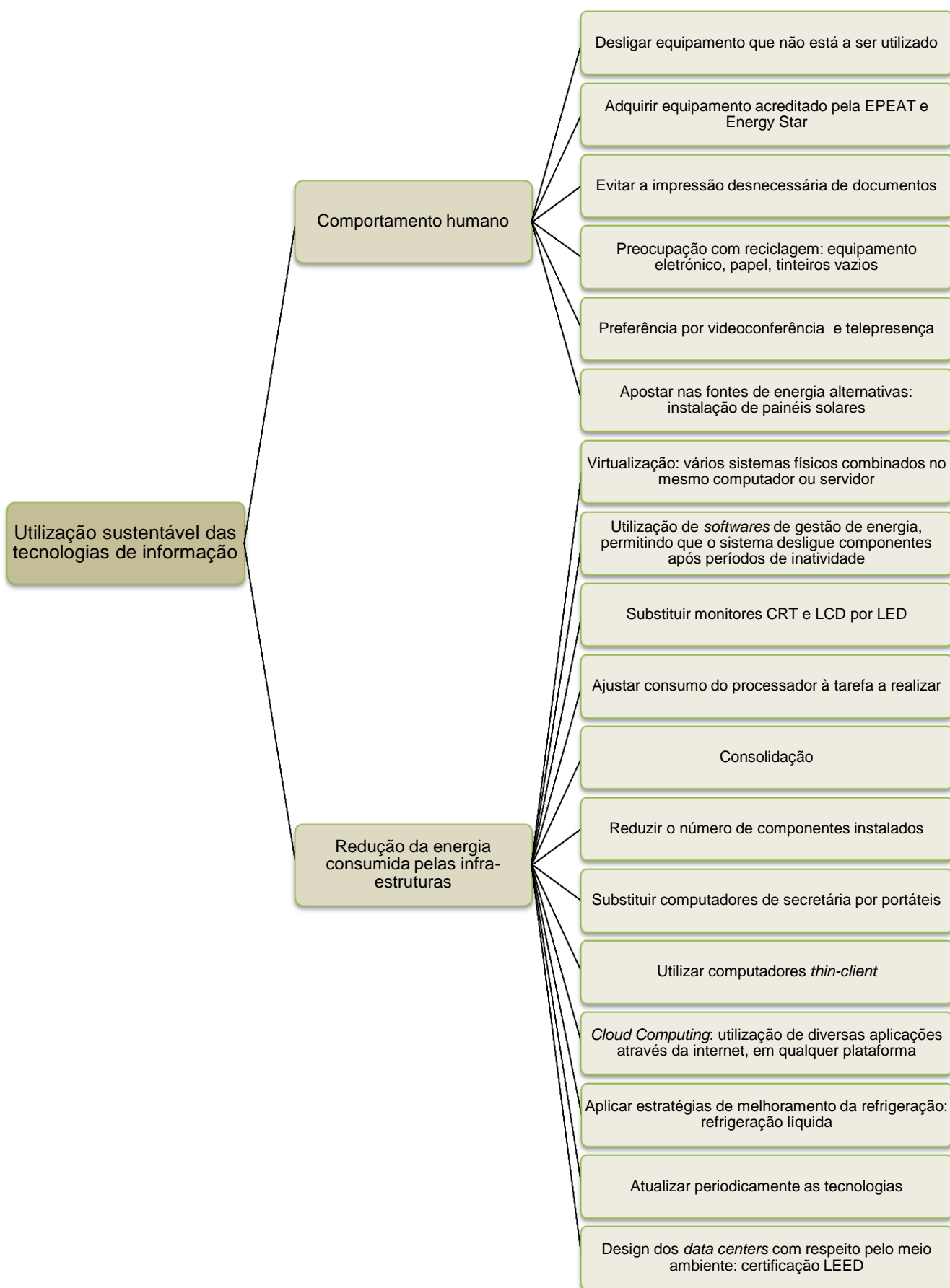


Figura 4.1 – Representação hierárquica dos critérios e subcritérios relativamente ao objetivo principal de utilização sustentável das tecnologias de informação

4.2 Metodologia de aplicação do modelo

Este estudo foi realizado em três fases fundamentais e distintas. Na primeira fase foi feito um estudo extensivo sobre o *green IT*, sendo possível encontrar os principais critérios que apoiam uma empresa na sustentabilidade. Estes critérios foram organizados de acordo com um modelo de decisão multicritério que permitisse encontrar qual o peso que cada parâmetro representa numa organização. Na segunda fase foram aplicados questionários com vista a conhecer as percepções das empresas no que diz respeito aos parâmetros anteriormente definidos. Foi ainda requisitado que as empresas indicassem qual o grau de implementação de cada um destes critérios, sendo possível conhecer melhor qual a relevância que as iniciativas de *green IT* têm nas organizações atuais. Finalmente, a terceira fase incluiu a aplicação de métodos de decisão multicritério que permitiram o cálculo e o entendimento do objetivo do trabalho.

4.2.1 Tipo de questionário aplicado

Para a recolha de dados foram aplicados questionários em empresas, cujas respostas foram dadas pelos responsáveis pela área informática de cada uma. Numa primeira fase do questionário era pretendido conhecer as percepções de cada entrevistado, de acordo com o que ele considera serem as iniciativas que mais contribuem para o *green IT*. Na segunda fase, pediu-se a cada responsável que avaliasse o grau de implementação na empresa dos critérios que previamente tinha comparado.

A recolha de dados através dos questionários pode trazer algumas inconsistências ao trabalho uma vez que as respostas dadas relativamente às percepções dos entrevistados podem não ser as que mais se adequam ao seu real pensamento. O facto de o questionário ser bastante extenso e com comparações muito similares, pode conduzir a indecisões na altura de optar por um critério em detrimento do outro.

Os questionários foram realizados presencialmente, a fim de esclarecer qualquer dúvida que pudesse existir. Inicialmente era pretendido que mais empresas tivessem sido questionadas. Mas tal não foi possível, uma vez que as empresas consultadas alegavam a complexidade e morosidade dos questionários. Como tal, o estudo do modelo foi feito com o número de empresas que foi possível questionar, embora seja óbvio que o número de respostas obtidas não seja significativo para uma validação realista do modelo. Os questionários aplicados encontram-se no Apêndice A.

4.2.2 Estabelecimento das prioridades entre critérios

Como descrito anteriormente, o modelo está dividido em dois critérios principais, dentro dos quais foram estabelecidos subcritérios. Os critérios principais foram comparados entre si para o objetivo principal. Seguidamente, os seis subcritérios referentes ao critério *comportamento*

humano foram comparados entre si, bem como os doze subcritérios do critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*.

A fim de tornar mais fácil a distinção entre os parâmetros, definiu-se a nomenclatura relativa a cada um deles (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Definição da nomenclatura correspondente a cada critério e subcritério

Cr1	Comportamento humano
Cr2	Redução da energia consumida pelas infraestruturas
C1	Desligar equipamento que não está a ser utilizado
C2	Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e <i>Energy Star</i>
C3	Evitar impressão desnecessária de documentos
C4	Preocupação com reciclagem
C5	Videoconferência e telepresença
C6	Fontes de energia alternativas
C7	Virtualização
C8	<i>Softwares</i> de gestão de energia
C9	Substituir monitores CRT e LCD por LED
C10	Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar
C11	Consolidação
C12	Reduzir o número de componentes instalados
C13	Substituir computadores de secretária por portáteis
C14	Utilizar computadores <i>thin-client</i>
C15	<i>Cloud-computing</i>
C16	Estratégias de melhoramento da refrigeração
C17	Atualizar periodicamente as tecnologias
C18	<i>Design</i> dos <i>data centers</i> com respeito pelo ambiente

Para a avaliação dos critérios, foi usada a escala de 1-9 proposta por Saaty e que está representada na Tabela 3.1. Na comparação, se o entrevistado considerasse que os dois parâmetros tinham igual importância, atribuía o valor 1; se o critério do lado esquerdo fosse extremamente mais importante que o critério do lado direito, atribuía o valor 9 mais próximo do lado esquerdo da tabela; por outro lado, se o critério do lado direito fosse extremamente mais importante do que o critério do lado esquerdo, atribuía o valor 9 do lado direito da tabela. Tal como representado na Tabela 3.1, os valores entre 1 e 9 representam as importâncias que é possível atribuir a um critério relativamente ao outro.

Para clarificar esta explicação, pode considerar-se como exemplo a questão:

Q: Quão importante é *evitar a impressão desnecessária de documentos* quando comparado com a *preferência pela videoconferência e telepresença*?

Para este exemplo, se o entrevistado considera que evitar a impressão desnecessária de documentos tem uma importância moderada quando comparado com a preferência pela videoconferência e telepresença, vai colocar o valor 3 do lado correspondente à impressão de documentos (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Exemplo de preenchimento da primeira parte do questionário

Critério	Importância de um critério relativamente ao outro																Critério	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		9
Evitar impressão desnecessária							X											Videokonferência e telepresença

A segunda parte do questionário pretendia conhecer as práticas da empresa entrevistada, com o objetivo de posteriormente calcular, com base nos pesos dos critérios encontrados, o grau de utilização sustentável praticado na empresa.

Esta segunda parte apresenta uma escala a seguir, também ela de 1 a 9, onde 1 significa que o critério em análise não está implementado na empresa e 9 significa uma total implementação do critério. Foi escolhida esta escala para permitir ao responsável questionado uma seleção mais ampla, facilitando ainda os cálculos devido às semelhanças com a escala previamente utilizada no *fuzzy AHP*. A descrição de cada valor da escala está representada na Tabela A.4.

Após a recolha destes dados, foi feita a comparação par a par a fim de ser possível calcular os pesos dos critérios e posteriormente calculada a implementação de cada um destes critérios.

O estabelecimento de prioridades supõe uma comparação de todos os critérios e subcritérios entre si. As matrizes de comparação par a par são construídas tendo em consideração as respostas dadas pelos representantes das empresas quando lhes foi pedido que indicassem a sua perceção no que diz respeito ao *green IT*. No Capítulo 5 serão apresentadas as matrizes obtidas a partir das comparações das empresas.

4.2.3 A utilização do *fuzzy AHP* e do TOPSIS

O desafio da sustentabilidade através do *green IT* é complexo devido aos inúmeros aspetos que podem ser considerados durante a sua implementação. A análise multicritério pode ajudar na definição da importância destes parâmetros, sendo possível minimizar os efeitos da subjetividade e imprecisão dos critérios do *green IT*.

A opção pelo *fuzzy AHP* e o TOPSIS para a realização deste trabalho pode ser justificada pela redução da complexidade do problema com o AHP e a possibilidade de ordenar as empresas com o TOPSIS, de acordo com a utilização dos critérios de *green IT*. Adicionalmente, os números *fuzzy* contribuem para a redução da subjetividade do pensamento humano.

No âmbito deste trabalho, a utilização do *fuzzy* AHP permitirá conhecer os pesos dos critérios estudados e o TOPSIS servirá para ordenar as empresas de acordo com o grau de implementação dos critérios de *green IT* avaliados. O modo de aplicação de ambos os métodos foi explicado oportunamente no Capítulo 3 e a verificação da sua aplicabilidade no contexto real está demonstrada no Capítulo 5.

A preferência pela utilização de números *fuzzy* para o método AHP prende-se com a natural subjetividade do pensamento humano. Tendo em conta que as perceções para a importância comparativa dos parâmetros de *green IT* foram obtidas de pessoas diferentes, a utilização do *fuzzy* permite retirar às respostas adquiridas o grau de incerteza associado. No entanto, para o método TOPSIS não se revelou necessária a utilização de números *fuzzy*, uma vez que as respostas obtidas correspondem à realidade da empresa, não tendo associado qualquer erro derivado da subjetividade do pensamento.

Estudos de caso

Neste capítulo é feita uma descrição das empresas que se dispuseram a apoiar a recolha de dados para a criação deste modelo. Posteriormente, são apresentados os cálculos que permitiram a obtenção dos pesos dos critérios. O modelo é testado com a utilização do método TOPSIS e os resultados obtidos são alvo de discussão.

5.1 Recolha de dados para o estudo do modelo

Com o objetivo de calcular os pesos dos critérios do modelo, foram aplicados questionários a empresas previamente contactadas. Era pedido que os responsáveis da área de TI avaliassem critérios previamente estabelecidos, considerando a sua perceção sobre cada um deles. Estes responsáveis funcionaram como decisores para o problema em questão, para ser possível a aplicação do método *fuzzy AHP*. Adicionalmente, os responsáveis teriam ainda de preencher uma segunda parte do questionário onde revelavam o grau de implementação de cada critério dentro da organização.

5.1.1 Âmbito e tipo de empresa

No contexto deste trabalho, o pretendido era o contacto de empresas dos mais variados setores, para provar as diferenças que podem existir, tanto nas perceções de *green IT* como na preocupação com a implementação de iniciativas sustentáveis.

O *green IT* é desejável em qualquer tipo de empresa, desde a indústria, aos escritórios exclusivamente de serviços. Como tal, não era justificável analisar apenas empresas que fazem das tecnologias de informação as suas ferramentas diárias, bem como não faria sentido a escolha de empresas dos mais diversos setores de produção e que apenas utilizam os equipamentos tecnológicos como apoio à produção. Assim, este estudo torna-se mais abrangente e aplicável em qualquer segmento.

Das três empresas contactadas, duas fazem parte do setor de produção e a outra dos serviços. A descrição de cada uma delas é apresentada de seguida.

5.1.2 Caso de estudo 1: Envall e Cia. Ltda.

A metalúrgica Envall e Cia. Ltda., fundada em julho de 1993, está localizada na cidade de Santa Rosa, Rio Grande do Sul, Brasil. É uma empresa de pequeno a médio porte especializada na produção de tubos hidráulicos e mecânicos para os setores agrícola, rodoviário, pavimentação e transporte. Possui uma área construída de 6.500 m² e uma equipa de cerca de 130 colaboradores.

A empresa surgiu a partir da proposta de terceirização do segmento de colheitadeiras da Iochpe Maxion, que proporcionou aos seus funcionários a oportunidade de criar empresas que fornecessem tubulação hidráulica e chicotes elétricos para colheitadeiras. A partir de 1996 a empresa passou a produzir apenas a tubulação hidráulica. Em 1999 foi implementado o Sistema da Qualidade, de acordo com a norma NBR ISO 9002/94. No segundo semestre de 2000 a empresa decidiu investir em máquinas com tecnologia de ponta, garantindo uma melhoria na produtividade e na logística, diferenciando-se perante os clientes. Em 2005, com vista a complementar a sua linha de produtos, a empresa investiu em processos de solda e pintura, produzindo conjuntos mecânicos como corrimões e escadas. Atualmente está em fase de construção um novo segmento de expansão, virado para a zincagem dos tubos hidráulicos e a criação de uma estação para tratamento de efluentes.

5.1.3 Caso de estudo 2: Olitrem S.A.

A Olitrem, Indústria de Refrigeração, SA, está vocacionada para o projeto, produção, assistência e comercialização de equipamento de refrigeração e hotelaria em geral.

As origens da empresa remontam ao ano de 1964, com o nome de Marecos Lda., sendo que a empresa original fabricava e desenvolvia equipamento de frio, tendo atingido grande dimensão e prestígio desta forma. Por razões sociopolíticas, a empresa vê-se obrigada a alterar o seu nome para Olitrem - Sociedade de Destilação de Óleos e Indústria de Refrigeração, S.A., tendo como principal objetivo a extração de óleos vegetais para perfumaria. Em 1993 alarga o seu foco para a representação, construção e reparação de equipamento de frio, passando a ser, gradualmente, esta a sua principal atividade. Foi em 1999 que a empresa passou a dedicar-se totalmente à indústria de refrigeração, atualizando o seu nome e pacto social para Olitrem, Indústria de Refrigeração, SA.

Nos últimos anos, a Olitrem tem cimentado o seu lugar na sua área de atuação, aumentando consideravelmente a sua quota de exportação, bem como o estabelecimento de contactos de fornecimento. O seu campo de atividade é, essencialmente, o frio industrial e comercial, para a indústria hoteleira e de restauração. No ano de 2000, a empresa obteve a certificação pela norma NP EN ISO 9002, sendo que em 2003 obteve a transição do seu sistema de gestão da qualidade pela norma NP EN ISO 9001.

5.1.4 Caso de estudo 3: Vortal

A Vortal é uma empresa portuguesa que, com recurso às tecnologias de informação, disponibiliza soluções de plataformas eletrónicas de contratação, permitindo que compradores e fornecedores possam adquirir e vender bens e serviços. Através das suas plataformas, é possível realizar todo o tipo de processos entre empresas sem necessidade de recorrer à utilização de papel. A Vortal é um dos maiores fornecedores de *eSourcing* e *eCommerce* na Europa.

Fundada em 2000, a Vortal disponibiliza soluções de plataforma eletrónica que facilitam a realização de processos de contratação pública e privada, por via eletrónica. Está presente em Portugal, Espanha, Reino Unido e República Checa, contando com um vasto número de empresas registadas, nos mais diversos setores de atividade.

Os mercados abrangidos pela plataforma da Vortal estão segmentados por setor de atividade, sendo que existem mais de 25.000 entidades ligadas em rede. Assim, os mercados estão divididos em contratação pública, construção, saúde, *energy & utilities*, indústria e economato.

A Vortal possui uma plataforma colaborativa de alto desempenho em *cloud computing*, tendo a missão de ajudar os clientes na compra e venda, com o melhor desempenho. As plataformas baseiam-se no princípio da desmaterialização de processos, reduzindo custos contratuais para as empresas.

A empresa tem ao seu dispor cerca de 100 funcionários nos escritórios de Lisboa, Porto, Madrid, Inglaterra e República Checa, tendo atingido uma receita de aproximadamente 10 milhões de euros no ano de 2011. É certificada pelo BSI (*British Standards Institute*) na norma ISO 27001, referente à segurança da informação. Os controlos de segurança da informação são auditados por uma equipa da Vortal e pelo BSI.

Matrizes de comparação par a par

A aplicação do processo *fuzzy* AHP, tal como do AHP, tem início com a criação de uma matriz $n \times n$, onde n é o número de parâmetros considerados para um dado problema. Para o objeto em questão, foram criadas três matrizes quadradas, considerando a avaliação relativa ao objetivo principal na primeira e as comparações dos critérios nas outras duas. Assim, para o preenchimento destas matrizes, é identificada a intersecção entre os dois parâmetros que estão a ser comparados (intersecção de linha e coluna) e nesse ponto é colocado o valor da perceção atribuído. O valor recíproco desta avaliação é colocado no ponto simétrico relativo à diagonal principal.

Para uma matriz de ordem n , o número de comparações pode ser calculado de acordo com a fórmula

$$\frac{n(n-1)}{2} \quad (5.1)$$

Com as respostas dadas à questão da percepção das empresas relativamente ao *green IT*, foram construídas as matrizes de comparação par a par para os critérios principais e para os subcritérios. De notar que para a empresa Vortal foram aplicados dois questionários, a dois responsáveis distintos, o que confere mais uma fonte de análise para os critérios. Estes estão representados como Vortal (1) e Vortal (2). No Apêndice C.1 encontram-se as tabelas correspondentes às comparações par a par obtidas de cada empresa.

5.2 Pesos dos critérios do modelo: método *fuzzy* AHP

A aplicação do método *fuzzy* AHP envolve, em primeiro lugar, a transformação dos valores atribuídos pelas empresas, aquando da avaliação comparativa, em valores *fuzzy* triangulares. Para tal, é utilizada a correspondência descrita na Tabela 3.3. As tabelas que se obtêm após esta transformação estão apresentadas no Apêndice C.2.

5.2.1 Análise comparativa das empresas

O estudo do modelo de decisão compreende que as percepções de cada empresa sejam tomadas em consideração conjuntamente, permitindo que os pesos dos critérios do *green IT* sejam o mais realistas possível. A comparação entre as percepções dadas por cada empresa é conseguida através da agregação das percepções de cada representante das organizações contactadas. Para tal, é feita uma média geométrica entre os valores obtidos das comparações par a par, após a transformação em números *fuzzy* triangulares.

O motivo para a utilização da média geométrica e não da média aritmética é porque, com esta última, a simetria da matriz de comparação não é respeitada (Enea & Piazza, 2004). Assim, a aplicação da média geométrica supõe que:

$$a_{ij} = \left(\prod_{k=1}^n e_{ijk} \right)^{1/n} \quad (5.2)$$

e

$$a_{ji} = \left(\prod_{k=1}^n \frac{1}{e_{ijk}} \right)^{1/n} \quad (5.3)$$

respeitando a simetria $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

Da aplicação da média geométrica às matrizes de comparação de cada empresa, obtém-se uma nova matriz para cada critério, representadas nas três tabelas que se seguem.

Tabela 5.1 – Agregação dos valores das matrizes de comparação par a par de cada empresa para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	(1,1,1)	(1,94;2,34;2,77)	(0,56;0,67;0,80)	(1,46;1,75;2,11)	(0,84;0,95;1,06)	(3,13;3,64;4,12)	(0,95;1,06;1,19)	(1,55;1,97;2,41)	(0,82;1,19;1,57)	(2,55;3,13;3,66)	(1,63;2,09;2,59)	(1,86;2,51;3,08)
C8	(0,36;0,43;0,51)	(1,1,1)	(0,97;1,24;1,61)	(1,50;1,78;2,14)	(1,28;1,52;1,78)	(1,54;1,78;2,06)	(0,75;0,90;1,07)	(0,53;0,58;0,65)	(0,84;1,04;1,30)	(2,21;2,78;3,41)	(1,00;1,35;1,97)	(1,78;2,06;2,30)
C9	(1,24;1,50;1,78)	(0,62;0,81;1,03)	(1,1,1)	(1,78;2,21;2,69)	(1,28;1,81;2,28)	(0,87;1,11;1,41)	(0,33;0,34;0,37)	(0,27;0,32;0,41)	(0,37;0,47;0,61)	(0,96;1,32;1,93)	(0,30;0,37;0,49)	(0,84;1,19;1,57)
C10	(0,47;0,57;0,69)	(0,47;0,56;0,67)	(0,37;0,45;0,56)	(1,1,1)	(1,32;1,86;2,51)	(0,49;0,59;0,71)	(0,29;0,41;0,59)	(0,71;0,76;0,84)	(1,07;1,46;2,00)	(1,68;2,34;2,91)	(0,45;0,54;0,64)	(0,72;1,03;1,52)
C11	(0,95;1,06;1,19)	(0,56;0,66;0,78)	(0,44;0,55;0,78)	(0,40;0,54;0,76)	(1,1,1)	(0,40;0,54;0,76)	(0,29;0,33;0,42)	(0,29;0,35;0,47)	(0,19;0,24;0,32)	(0,43;0,47;0,54)	(0,35;0,38;0,41)	(0,19;0,24;0,32)
C12	(0,24;0,27;0,32)	(0,49;0,56;0,65)	(0,71;0,90;1,16)	(1,41;1,70;2,06)	(1,32;1,86;2,51)	(1,1,1)	(0,27;0,33;0,41)	(0,39;0,49;0,68)	(0,42;0,52;0,66)	(1,26;1,48;1,72)	(1,07;1,50;2,06)	(1,00;1,32;1,68)
C13	(0,84;0,95;1,06)	(0,93;1,11;1,33)	(2,63;2,82;2,91)	(1,68;2,45;3,41)	(2,38;3,00;3,46)	(2,45;3,03;3,66)	(1,1,1)	(0,71;0,90;1,26)	(0,56;0,73;1,07)	(0,90;1,16;1,46)	(0,97;1,03;1,11)	(0,73;0,84;1,00)
C14	(0,42;0,51;0,65)	(1,55;1,73;1,88)	(2,45;3,15;3,72)	(1,19;1,32;1,41)	(2,14;2,83;3,41)	(1,48;2,06;2,59)	(0,80;1,11;1,41)	(1,1,1)	(0,75;1,07;1,51)	(0,84;1,00;1,22)	(0,85;1,03;1,32)	(2,38;3,00;3,46)
C15	(0,64;0,84;1,22)	(0,77;0,96;1,19)	(1,64;2,14;2,70)	(0,50;0,69;0,93)	(3,13;4,16;5,18)	(1,51;1,93;2,38)	(0,93;1,36;1,78)	(0,66;0,93;1,34)	(1,1,1)	(1,57;2,11;2,78)	(0,79;0,96;1,16)	(1,19;1,57;2,11)
C16	(0,27;0,32;0,39)	(0,29;0,36;0,45)	(0,52;0,76;1,05)	(0,34;0,43;0,59)	(1,86;2,11;2,34)	(0,58;0,68;0,80)	(0,69;0,86;1,11)	(0,82;1,00;1,19)	(0,36;0,47;0,64)	(1,1,1)	(0,38;0,49;0,59)	(0,88;1,19;1,50)
C17	(0,39;0,48;0,61)	(0,51;0,74;1,00)	(2,06;2,74;3,31)	(1,57;1,85;2,21)	(2,45;2,65;2,83)	(0,49;0,67;0,93)	(0,90;0,97;1,03)	(0,76;0,97;1,17)	(0,86;1,05;1,27)	(1,68;2,05;2,63)	(1,1,1)	(1,50;1,57;1,63)
C18	(0,32;0,40;0,54)	(0,43;0,49;0,56)	(0,64;0,84;1,19)	(0,66;0,97;1,39)	(3,08;4,12;5,14)	(0,59;0,76;1,00)	(1,00;1,19;1,37)	(0,29;0,33;0,42)	(0,47;0,64;0,84)	(0,67;0,84;1,14)	(0,52;0,72;0,93)	(1,1,1)

Tabela 5.2 – Agregação dos valores das matrizes de comparação par a par de cada empresa para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	(1,1,1)	(2,06;2,61;3,31)
Cr2	(0,30;0,38;0,49)	(1,1,1)

Tabela 5.3 – Agregação dos valores das matrizes de comparação par a par de cada empresa para o critério *comportamento humano*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	(1,1,1)	(2,59;3,13;3,64)	(0,17;0,21;0,28)	(0,13;0,15;0,18)	(0,20;0,21;0,24)	(0,76;0,92;1,11)
C2	(0,27;0,32;0,39)	(1,1,1)	(0,14;0,16;0,20)	(0,17;0,20;0,25)	(0,34;0,35;0,38)	(1,22;1,41;1,61)
C3	(3,60;4,68;5,73)	(5,09;6,24;7,14)	(1,1,1)	(0,93;1,07;1,26)	(0,80;0,97;1,22)	(1,41;1,78;2,15)
C4	(5,57;6,59;7,42)	(4,00;5,10;6,00)	(0,80;0,93;1,07)	(1,1,1)	(2,14;2,70;3,41)	(1,68;2,07;2,47)
C5	(4,23;4,70;4,88)	(2,63;2,82;2,91)	(0,82;1,03;1,24)	(0,29;0,37;0,47)	(1,1,1)	(0,70;0,88;1,09)
C6	(0,90;1,09;1,32)	(0,62;0,71;0,82)	(0,46;0,56;0,71)	(0,40;0,48;0,60)	(0,92;1,14;1,43)	(1,1,1)

Com a agregação das percepções das empresas realizada, pode aplicar-se o *fuzzy* AHP. Os passos para essa aplicação foram descritos no Capítulo 3. Para o problema em estudo, são expostos no Apêndice D os cálculos intermédios para obtenção dos pesos dos critérios.

Vetores normalizados dos pesos dos critérios

$$W_{green\ IT} = (1,00; 0,00)^T$$

$$W_{Cr1} = (0,00; 0,00; 0,42; 0,55; 0,03; 0,00)^T$$

$$W_{Cr2} = (0,17; 0,10; 0,05; 0,04; 0,00; 0,05; 0,14; 0,15; 0,14; 0,00; 0,11; 0,05)^T$$

Os valores obtidos representam os pesos de cada subcritério relativamente aos critérios principais. Na Tabela 5.4, está atribuído a cada critério o peso obtido, facilitando a visualização dos resultados.

Tabela 5.4 – Representação dos pesos dos critérios associados a cada subcritério

		Pesos dos critérios
Cr1	Comportamento humano	1,00
Cr2	Redução da energia consumida pelas infraestruturas	0,00
C1	Desligar equipamento que não está a ser utilizado	0,00
C2	Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e Energy Star	0,00
C3	Evitar impressão desnecessária de documentos	0,42
C4	Preocupação com reciclagem	0,55
C5	Videoconferência e telepresença	0,03
C6	Fontes de energia alternativas	0,00
C7	Virtualização	0,18
C8	<i>Softwares</i> de gestão de energia	0,11
C9	Substituir monitores CRT e LCD por LED	0,05
C10	Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar	0,04
C11	Consolidação	0,00
C12	Reduzir o número de componentes instalados	0,05
C13	Substituir computadores de secretária por portáteis	0,14
C14	Utilizar computadores <i>thin-client</i>	0,15
C15	<i>Cloud-computing</i>	0,14
C16	Estratégias de melhoramento da refrigeração	0,00
C17	Atualizar periodicamente as tecnologias	0,11
C18	<i>Design</i> dos <i>data centers</i> com respeito pelo ambiente	0,05

5.3 Teste de aplicabilidade do modelo: método TOPSIS

Como foi referido anteriormente, com o método TOPSIS pretende-se conhecer a intensidade de utilização das iniciativas *green* nas empresas. Com a utilização dos pesos dos critérios obtidos com o *fuzzy* AHP e com as respostas dadas pelas empresas para a questão do grau de implementação de cada critério, é possível testar a aplicabilidade do modelo e avaliar cada empresa de acordo com o seu *green IT*.

Grau de implementação de cada critério

Como foi referido no capítulo anterior, cada empresa respondeu a um questionário relativo ao grau de implementação de cada critério de *green IT* na sua empresa. As respostas obtidas para cada uma delas estão representadas no Apêndice B.

Conhecidos os pesos de cada subcritério, calcula-se o grau de implementação do *green IT* nas empresas. Para tal, são seguidos os passos descritos anteriormente no Capítulo 3. À seme-

lhança do *fuzzy* AHP, também os cálculos intermédios para o TOPSIS estão representados em apêndice (Apêndice E).

A partir das respostas dadas pelas empresas foi possível construir a Tabela 5.5 que pretende mostrar os níveis de implementação de cada critério e os respetivos pesos. Como na empresa Vortal foram feitos dois questionários, para esta fase de avaliação da implementação das iniciativas verdes foi feita a média geométrica entre os valores que cada um dos entrevistados concedeu a cada critério. Não faria qualquer sentido utilizar os valores dos dois questionários separadamente.

Tabela 5.5 – Matriz de decisão para os critérios e subcritérios selecionados e respetivos pesos

	Envall	Olitrem	Vortal	W
Cr1	4	6	6	1
Cr2	6	7	7	0
C1	4	3	6	0
C2	5	3	3	0
C3	3	2	7	0,42051
C4	7	8	8	0,55049
C5	8	2	7	0,02900
C6	1	7	1	0
C7	4	9	7	0,17627
C8	3	1	6	0,10610
C9	9	1	6	0,05034
C10	2	3	4	0,03679
C11	3	3	5	0
C12	5	5	5	0,05135
C13	3	2	6	0,13802
C14	1	1	4	0,14694
C15	3	1	8	0,13790
C16	2	1	3	0
C17	8	6	7	0,10704
C18	4	5	3	0,04926

Ordenação das alternativas

A ordenação das alternativas, de acordo com o grau de implementação de iniciativas de *green IT*, é feita por ordem descendente, onde o maior valor corresponde à empresa com maior implementação e o menor valor corresponde à empresa com menor implementação. O valor máximo possível de obter é 1.

Tabela 5.6 – Alternativas ordenadas por ordem descendente de implementação de iniciativas de *green IT*

Vortal	0,920
Olitrem	0,409
Envall	0,195

5.4 Discussão de resultados

A obtenção dos pesos dos critérios através do método *fuzzy* AHP permitiu a sua utilização para avaliar o grau de implementação do *green IT* nas empresas. Verifica-se que, para alguns parâmetros, o peso encontrado tem o valor 0. O número reduzido de questionários aplicados pode justificar o facto de alguns critérios terem uma importância nula quando comparados com outros. Certamente que se tivesse sido possível obter mais perceções de empresas, poderia assumir-se a validação do modelo.

Para o objetivo principal, as perceções das empresas indicam que o critério mais importante é o comportamento humano, ou seja, todas as atitudes que dependem do interesse de cada pessoa em ser ambientalmente sustentável.

Relativamente aos subcritérios do *comportamento humano*, é possível apurar que *evitar a impressão desnecessária de documentos* e *a preocupação com a reciclagem* obtêm os valores mais elevados nas perceções das empresas. No que toca aos *subcritérios da redução da energia consumida pelas infraestruturas*, é a *virtualização* que obtém um maior rácio da comparação com os restantes subcritérios. No entanto, os subcritérios *substituir computadores de secretária por portáteis*, *utilizar computadores thin-client* e *cloud computing*, obtêm valores relativamente elevados para as perceções das empresas.

No que diz respeito ao grau de implementação do *green IT* nas empresas, verifica-se que a empresa com uma implementação mais efetiva, tendo em conta os pesos dos critérios previamente definidos, é a Vortal, seguida da Olitrem e por fim, da Envall.

5.5 Vantagens e limitações do *fuzzy* AHP e do TOPSIS

A utilização do *fuzzy* AHP revelou-se de grande importância no cálculo dos pesos dos critérios do modelo de decisão. A possibilidade de realizar comparações par a par torna o processo decisivo facilitado, para além de ser possível obter as perceções de diferentes decisores. O AHP supõe a junção de julgamentos qualitativos e quantitativos e o facto de ser possível a atribuição de valores que correspondem a variáveis linguísticas, torna a decisão menos complicada. A vantagem da utilização de números *fuzzy* está relacionada com a possibilidade de eliminar ambiguidades relacionadas com o pensamento humano.

Uma das desvantagens da utilização do *fuzzy* AHP prende-se com a morosidade das comparações par a par que pode conduzir a erros de julgamento, bem como a quantidade de comparações que tem de ser feita para a posterior aplicação dos cálculos do *fuzzy* AHP. Com o aumento do número de critérios, aumenta também a dificuldade para as comparações, bem como o risco de inconsistência. No entanto, os cálculos associados a este método são bastante intuitivos, não havendo fórmulas demasiado complexas ao longo da sua aplicação. Esta vantagem também pode ser citada para o método TOPSIS.

Como já foi referido anteriormente, o facto de se obterem pesos para os critérios iguais a zero torna-se um problema. Isto implica que esse critério não vai ser considerado para a avaliação final, embora o senso comum indique que qualquer um dos critérios deveria ter um peso associado.

O método TOPSIS foi utilizado para conhecer o grau de implementação dos critérios no contexto empresarial. A escolha deste método prendeu-se com a facilidade que ele oferece para a atribuição de escalas, neste caso de implementação de parâmetros, sendo uma atividade bastante intuitiva. Uma desvantagem a apontar refere-se à necessidade da existência prévia de pesos para os critérios. No contexto deste trabalho esse facto não se tornou um problema, uma vez que o objetivo desejado era, efetivamente, aplicar os pesos obtidos no método anterior às respostas dadas pelas empresas, alterando, em parte, as aplicações clássicas destes métodos.

A incerteza associada ao TOPSIS também pode ser apontada como uma desvantagem. No entanto, como foi considerado que as respostas dadas pelas empresas para a questão da aplicabilidade de critérios de *green IT* seriam a representação da realidade, a dubiedade do pensamento humano não foi colocada em causa para esta situação.

Conclusões e sugestões de trabalho futuro

As iniciativas ligadas à sustentabilidade são, no contexto global atual, imprescindíveis. O *green IT* representa, nesta perspectiva, a estratégia ideal para a redução das emissões de gases poluentes e do consumo excessivo de energia por parte das tecnologias de informação. As organizações começam a demonstrar uma maior sensibilidade no que diz respeito à sustentabilidade, estando, em termos gerais, aptas a implementar iniciativas que supõem uma utilização consciente das tecnologias de informação.

A criação e validação de um modelo de decisão capaz de apoiar as empresas a avaliar o seu comportamento sustentável no que diz respeito às TI, é uma tarefa que se reveste de grande importância, quer pelas vantagens que tais iniciativas oferecem às organizações, quer pelos benefícios que o *green IT* consegue causar no ambiente.

Da análise da bibliografia foi possível verificar a existência de diversas práticas ambientalmente sustentáveis. No entanto, ainda existe alguma resistência à sua aplicação, sendo que muitas empresas revelam não ter qualquer preocupação com a utilização sustentável das tecnologias, implementando certas iniciativas apenas pela sua obrigatoriedade perante a lei. Apesar da vasta bibliografia que pode ser encontrada para a temática do *green IT*, não existe ainda um número significativo de estudos realizados sobre este assunto. A bibliografia analisada está mais focada na teoria explicativa de cada conceito de *green IT* e das suas aplicações em contexto real, do que em fornecer soluções específicas às organizações. Para além disso, muita da bibliografia pertence a empresas específicas de tecnologias de informação, sendo que a documentação conseguida perde-se um pouco em publicidade a determinados equipamentos oferecidos pelas marcas.

É neste contexto que cresce a importância deste trabalho, onde foi criado um modelo possível de ser aplicado em circunstâncias reais, atribuindo pesos a parâmetros que tinham sido apenas explicados teoricamente. Apesar de o número de empresas contactadas para responder ao questionário não ser significativo para considerar que o modelo é aplicável a termo imediato, a sua validação pode ser possível.

No que respeita ao modelo para tomada de decisão, os critérios escolhidos representam as melhores iniciativas para utilização do *green IT* nas empresas. Foram assim selecionados dezoito parâmetros, posteriormente divididos em critérios associados ao comportamento humano

e à redução da energia consumida pelas infraestruturas. Os parâmetros foram apresentados a três empresas de setores diferentes de atividade, sendo posteriormente analisados os resultados obtidos. O facto de a amostra ser muito reduzida, conduziu a algumas inconsistências na altura de obter os pesos dos critérios. Na verdade, os critérios que conquistaram um peso nulo, não sendo posteriormente considerados na análise de implementação dos parâmetros nas empresas, indicam irrelevância dos critérios. Mas como é óbvio, todos os parâmetros têm associado um peso, mais ou menos significativo, que não pôde ser provado neste estudo. Todavia, se o número de empresas inquiridas tivesse sido superior, os valores obtidos para os pesos dos critérios representariam com mais veracidade o que efetivamente deve ser feito para uma atitude sustentável na utilização de tecnologias de informação.

Com os pesos dos critérios obtidos foi possível avaliar cada empresa, ficando provado que o modelo pode ser utilizado. A empresa de serviços (Vortal) conseguiu obter o maior valor no que diz respeito à aplicação de iniciativas verdes, comparativamente com as empresas de produção de bens (Envall e Olitrem). Este resultado seria de esperar pelo senso comum e ficou provado pelo modelo. Visto tratar-se de uma empresa que lida sobretudo com computadores e outros equipamentos tecnológicos, a tendência para desenvolver preocupações ambientais será superior quando comparada com uma empresa onde existe uma quantidade de máquinas diversificada e onde o objetivo fundamental continua a ser a produção dos bens requisitados pelo cliente, deixando para segundo plano as preocupações ambientais relacionadas com os escritórios.

No que respeita aos desenvolvimentos futuros para este trabalho, há que referir em primeiro lugar a escassez de dados para a validação do modelo. Como tal, sugere-se que sejam aplicados os questionários a um maior número de empresas, obtendo valores para os pesos dos critérios o mais realistas possível.

Este trabalho teve como objetivo a validação de um modelo associado à utilização das tecnologias de informação dentro das organizações. Em trabalhos futuros podia ser aplicado um questionário semelhante ao que foi desenvolvido para esta dissertação, mas tendo por base a produção, cadeia de abastecimento e eliminação das tecnologias. Adicionalmente, talvez fosse interessante desenvolver um estudo aplicado a outro tipo de tecnologias, como máquinas industriais ou outros equipamentos fora do âmbito das tecnologias de informação presentes numa empresa.

Referências Bibliográficas

- APDC. (2008). *SMART Portugal 2020: A redução de emissões e o aumento da eficiência energética através das TIC*.
- Ates, N., Cevik, S., Kahraman, C., Gülbay, M., & Erdogan, S. (2006). Multi attribute performance evaluation using a hierarchical fuzzy TOPSIS method. In *Fuzzy Applications in Industrial Engineering* (pp. 537-572). Springer Berlin / Heidelberg.
- Bakshi, K. (2009). *Cisco cloud computing - data center strategy, architecture and solutions*.
Obtido em março de 2012, de
http://www.cisco.com/web/strategy/docs/gov/CiscoCloudComputing_WP.pdf
- Balli, S., & Korukoğlu, S. (2009). Operating system selection using fuzzy AHP and TOPSIS methods. *Mathematical and Computational Applications*, 14(2), 119-130.
- Berkhout, F., & Hertin, J. (2004). De-materialising and re-materialising: digital technologies and the environment. *Futures*, 36(8), 903-920.
- Bojadziev, G., & Bojadziev, M. (1997). *Fuzzy Logic for Business, Finance and Management*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. .
- Brassor, D., & Vandeputte, R. (2009). *Beyond the green IT hype*. Obtido em março de 2012, de
http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Canada/Local%20Assets/Documents/Consulting/CA_consultingBeyond_the_Green_IT_hype_FINAL_Aug09.pdf
- Butler, T. (2009). Environmental responsibility and green IT: An institutional perspective. *17th European Conference on Information Systems*, (pp. 1-13). Verona, Italy.
- Cameron, K. (2009). Green introspection. *IEEE Computer Society*, 101-103.
- Cascales, M. d. (2009). *Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing"*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Castro, D. (2009). Learning from the Korean Green IT strategy. *Washington, DC: Information Technology and Innovation Foundation*, 1-4.
- CGI Group Inc. (2010). *Emerging trends in Green IT*. Obtido em março de 2012, de
http://www.cgi.com/files/pdf/cgi_whpr_84_emerging_trends_green_it_e.pdf
- Chan, F. T., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C., & Choy, K. L. (2008). Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. *International Journal of Production Research*, 46(14), 3825-3857.
- Charlton, J., Underwood, S., Bray, P., & Booty, F. (2011). Don't miss a trick. *EcoReport*.

- Chatterton, G. (2011). Auditing Green IT and IT Sustainability.
- Cisco Systems Inc. (2007). *Cisco energy efficient data center solutions and best practices*.
Obtido em março de 2012, de
http://www.cisco.com/en/US/solutions/ns708/networking_solutions_products_genericcontent0900aecd806fd32e.pdf
- CNS. (s.d.). Green ICT: a guide to reduce energy usage and your carbon footprint. ([White Paper]).
- Cognizant. (2011). Green IT: making the business case. 1-13.
- Dao, V., Langella, I., & Carbo, J. (2011). From green to sustainability: Information Technology and an integrated sustainability framework. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(1), 63-79.
- Daoud, D. (2008). Beyond power: IT's roadmap to sustainable computing. *Redemtech* ([White Paper]).
- Differences between IS, CS, and IT*. (s.d.). Obtido de
http://www.fairmontstate.edu/files/u205/files/IS_CS_IT.pdf
- Dubois, D., & Prade, H. (1980). *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. Academic Press.
- Enea, M., & Piazza, T. (2004). Project Selection by Constrained Fuzzy AHP. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 3(1), 39-62.
- Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2007). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8), 783-795.
- Ferreira, C. (6 a 12 de março de 2009). Green IT: poupar com consciência ambiental. *Semana Informática*. Obtido em fevereiro de 2012, de
<http://www.semanainformatica.xl.pt/918/est/100.shtml>
- Garbin, D., & Chang, E. W. (Maio de 2009). Green Data Center Management. *Sigma: The Green Federal Enterprise*, pp. 26-31.
- Green IT. (s.d.). 28, 1097-1111.
- Guimarães, R., & Paiva, A. (Edits.). (2011). Guia para o gestor de TI sustentável. *Itautec 2011*.
- Harmon, R., Demirkan, H., Auseklis, N., & Reinoso, M. (2010). From Green Computing to Sustainable IT: Developing a Sustainable Service Orientation. *Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 1-10.
- Hendry, J. R., & Vesilind, P. A. (2005). Ethical motivations for green business and engineering. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 7(4), 252-258.

- Hewlett-Packard Development Company. (2007). *Data center transformation*. Obtido em março de 2012, de <http://www.techrepublic.com/whitepapers/data-center-transformation-hps-proven-data-center-transformation-approach-can-help-you-reduce-costs-manage-risks-and-accelerate-business-growth/351773/post>
- Hodges, R., & White, W. (2008). Go green in ict. *Green Tech News*.
- Hooper, A. (2008). Green computing. *Communications of the ACM*, 51(10), 1-13.
- IBM Corporation. (2008). *Creating a green data centre to help reduce energy costs and gain a competitive advantage*.
- Jenkin, T., Webster, J., & McShane, L. (2010). An agenda for 'Green' information technology and systems research. *Information and Organization*, 21(1), 17-40.
- Jiang, Z., Feng, X., & Shi, J. (2009). An Extended Fuzzy AHP Based Partner Selection and Evaluation for Aeronautical Subcontract Production. *2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, 367-372.
- Kahraman, C. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International Journal of Production Economics*, 87(2), 171-184.
- Kahraman, C. (2008). Multi-criteria decision making methods and fuzzy sets. In *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments*. Springer US.
- Kahraman, C., Gülbay, M., & Kabak, Ö. (2006). Applications of fuzzy sets in industrial engineering: a topical classification. In *Fuzzy Applications in Industrial Engineering* (pp. 1–55). Springer Berlin / Heidelberg.
- Karimi, A., Mehrdadi, N., Hashemian, S., Nabi-Bidhendi, G., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). Using of the Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP methods for wastewater treatment process selection. *International Journal of Academic Research*, 3(1), 737-745.
- Lawton, G. (2007). Powering Down the Computing Infrastructure . *Technology News* .
- López-Vallejo, M., Cuesta, E. H., & Sopena, J. G. (2008). Green IT: tecnologías para la eficiencia energética en los sistemas TI. *Colección de Informes de Vigilancia Tecnológica madri+d*.
- Lotfi, F., Fallahnejad, R., & Navidi, N. (2011). Ranking Efficient Units in DEA by Using TOPSIS Method. *Applied Mathematical Sciences*, 5(17), 805-815.
- Menezes, C. T. (2006). *Método para priorização de ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG.
- Munn, A., Morse, E., & Ihn, J. (s.d.). E-waste crisis. *Computer Industry Impacts on the Environment and Society*. University of Michigan. Obtido em março de 2012, de <http://sitemaker.umich.edu/section002group3/e-waste>

- National Computer Institute. (2011). Primer on Green ICT. *National Computer Institute (NCI) - Commission on Information and Communications Technology (CICT)*.
- Nóbrega , J. P. (Ed.). (Julho de 2011). Green Computing. *Computerworld*.
- Nokia Siemens Networks. (2008). Building an environmentally sustainable business presents many strategic opportunities for telecom operators. *Nokia Siemens Networks - Good green business sense*([White Paper]), 1-12.
- Olson, E. G. (2008). Creating an enterprise-level “green” strategy. *Journal of Business Strategy*, 29(2), 22-30.
- Özdağoğlu, A., & Özdağoğlu, G. (2007). Comparison of AHP and Fuzzy AHP for the multi-criteria decision making processes with linguistic evaluations. 65-85.
- Perçin, S. (2008). Use of fuzzy AHP for evaluating the benefits of information-sharing decisions in a supply chain. *Journal of Enterprise Information Management*, 21(3), 263-284.
- Prakash, T. (2003). *Land suitability analysis for agricultural crops: a fuzzy multicriteria decision making approach*. Enschede, The Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Prasad, A. (2010). Back to Green. *Journal of Green Engineering*, 89-110.
- Rad, P., Thoene, M., & Webb, T. (2008). Best practices for increasing data center energy efficiency. *Dell Power Solutions*, 1-5.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T. L. (2004). Decision Making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1-35.
- Sinha, M. (2011). Green information technology: a strategy to become socially responsible software organization. *International Journal of Enterprise Computing and Business Systems*, 1(2).
- Sun, C.-C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7745-7754.
- TCO Development. (2009). Green IT – towards a reduced carbon footprint and sustainable development. *Technology for you and the planet*.
- Tesfamariam, S., & Sadiq, R. (2006). Risk-based environmental decision-making using fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(1), 35-50.
- Thomas, V., Anastas, P., Bond, P., Omelchuck, J., & Cade, W. (2009). Electronic Waste: Investing in Research and Innovation to Reuse, Reduce and Recycle. *Committee on Science and Technology U.S. House of Representatives*, (pp. 1-7).

- T-Systems. (2009). Green ICT. El camino hacia el negocio verde. ([White Paper]), 1-26.
- T-Systems. (2009). Green ICT. The greening of business. ([White Paper]), 1-26.
- Verdiem. (2009). 3 Building Blocks to a Green IT Strategy. 1-4.
- Vereecken, W., Heddeghem, W. V., Colle, D., Pickavet, M., & Demeester, P. (2010). Overall ICT Footprint and Green Communication Technologies. *Proceedings of the 4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2010)*.
- Vieira, F. (2006). Um modelo multicritério para gerir conflitos na composição de aspectos. *Unpublished M. Sc. thesis, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal*.
- Walsh, K. (29 de outubro de 2007). *Environmentally sustainable IT definition and solutions*.
Obtido em fevereiro de 2012, de
http://www.cio.com/article/149651/Environmentally_Sustainable_IT_Definition_and_Solutions
- Wanders, M. (2011). Data center verde: como reduzir o impacto ambiental. *Cadernos de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas*, 13(13), 25-36.
- Watson, R. (Ed.). (2008). Green IS: Building sustainable business practices. *Information Systems - A global text*, 1-15.
- Webb, M. (2008). Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. *The Climate Group London*.
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). A definition of 'Carbon Footprint'. *ISA Research Report*.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets*. *Information and control*, 8, 338-353.

Apêndices

Apêndice A Questionários aplicados

Apêndice A.1 Questionários de comparação par a par

Para esta **primeira fase** do questionário, são colocadas questões que visam a comparação entre os diversos critérios que devem ser considerados para uma utilização "green" das TIC. Deverá ser assinalada a opção que caracteriza a percepção do entrevistado, sendo que, ao assinalar um valor do lado direito da opção "Iguamente Importante", significa que o critério do lado direito da preferência "Iguamente Importante" é mais importante que o critério situado do lado esquerdo. Do mesmo modo, ao assinalar uma opção do lado esquerdo da opção "Iguamente Importante", significa que o critério situado do lado esquerdo desta opção é mais importante que o critério situado do lado direito.

De acordo com a sua percepção, qual é a importância relativa no que diz respeito ao objetivo "**Green IT na utilização**"?

Tabela A.1– Avaliação da importância de cada critério relativamente ao objetivo "Green IT na utilização"

Critério	Importância de um critério relativamente ao outro																	Critério
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Comportamento humano																		Redução da energia consumida

De acordo com a sua percepção, qual é a importância relativa no que diz respeito ao critério "**Comportamento humano**", para cada um dos subcritérios especificados?

Tabela A.2 – Avaliação da importância de cada subcritério relativamente ao critério "Comportamento humano"

Questão	Subcritério	Importância de um subcritério relativamente ao outro																	Subcritério
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Q1	Desligar equipamento																		Equipamento acreditado
Q2	Desligar equipamento																		Evitar impressão desnecessária
Q3	Desligar equipamento																		Reciclagem
Q4	Desligar equipamento																		Videoconferência e telepresença
Q5	Desligar equipamento																		Energias alternativas
Q6	Equipamento acreditado																		Evitar impressão desnecessária
Q7	Equipamento acreditado																		Reciclagem

Q8	Equipamento acreditado																		Videoconferência e telepresença
Q9	Equipamento acreditado																		Energias alternativas
Q10	Evitar impressão desnecessária																		Reciclagem
Q11	Evitar impressão desnecessária																		Videoconferência e telepresença
Q12	Evitar impressão desnecessária																		Energias alternativas
Q13	Reciclagem																		Videoconferência e telepresença
Q14	Reciclagem																		Energias alternativas
Q15	Videoconferência e telepresença																		Energias alternativas

De acordo com a sua percepção, qual é a importância relativa no que diz respeito ao critério "Redução da energia consumida pelas infra-estruturas", para cada um dos subcritérios especificados?

Tabela A.3 – Avaliação da importância de cada subcritério relativamente ao critério "Redução da energia consumida pelas infraestruturas"

Questão	Subcritério	Importância de um subcritério relativamente ao outro																	Subcritério
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Q1	Virtualização																		Softwares de gestão de energia
Q2	Virtualização																		Monitores LED
Q3	Virtualização																		Ajuste do consumo do processador

Q4	Virtualização																	Consolidação
Q5	Virtualização																	Redução de comp. ^{tes} instalados
Q6	Virtualização																	Computadores portáteis
Q7	Virtualização																	Computadores <i>thin-client</i>
Q8	Virtualização																	<i>Cloud computing</i>
Q9	Virtualização																	Melhoramento de refrigeração
Q10	Virtualização																	Atualização das tecnologias
Q11	Virtualização																	Centros de dados certificados
Q12	<i>Softwares de gestão de energia</i>																	Monitores LED
Q13	<i>Softwares de gestão de energia</i>																	Ajuste do consumo do processador
Q14	<i>Softwares de gestão de energia</i>																	Consolidação
Q15	<i>Softwares de gestão de energia</i>																	Redução de comp. ^{tes} instalados
Q16	<i>Softwares de gestão de energia</i>																	Computadores portáteis

Q17	Softwares de gestão de energia																	Computadores <i>thin-client</i>
Q18	Softwares de gestão de energia																	Cloud computing
Q19	Softwares de gestão de energia																	Melhoramento de refrigeração
Q20	Softwares de gestão de energia																	Atualização das tecnologias
Q21	Softwares de gestão de energia																	Centros de dados certificados
Q22	Monitores LED																	Ajuste do consumo do processador
Q23	Monitores LED																	Consolidação
Q24	Monitores LED																	Redução de comp. ^{tes} instalados
Q25	Monitores LED																	Computadores portáteis
Q26	Monitores LED																	Computadores <i>thin-client</i>
Q27	Monitores LED																	Cloud computing
Q28	Monitores LED																	Melhoramento de refrigeração
Q29	Monitores LED																	Atualização das tecnologias

Q30	Monitores LED																	Centros de dados certificados
Q31	Ajuste do consumo do processador																	Consolidação
Q32	Ajuste do consumo do processador																	Redução de comp. ^{tes} instalados
Q33	Ajuste do consumo do processador																	Computadores portáteis
Q34	Ajuste do consumo do processador																	Computadores <i>thin-client</i>
Q35	Ajuste do consumo do processador																	<i>Cloud computing</i>
Q36	Ajuste do consumo do processador																	Melhoramento de refrigeração
Q37	Ajuste do consumo do processador																	Atualização das tecnologias
Q38	Ajuste do consumo do processador																	Centros de dados certificados
Q39	Consolidação																	Redução de comp. ^{tes} instalados
Q40	Consolidação																	Computadores portáteis
Q41	Consolidação																	Computadores <i>thin-client</i>

Q42	Consolidação																	<i>Cloud computing</i>
Q43	Consolidação																	Melhoramento de refrigeração
Q44	Consolidação																	Atualização das tecnologias
Q45	Consolidação																	Centros de dados certificados
Q46	Redução de comp. ^{tes} instalados																	Computadores portáteis
Q47	Redução de comp. ^{tes} instalados																	Computadores <i>thin-client</i>
Q48	Redução de comp. ^{tes} instalados																	<i>Cloud computing</i>
Q49	Redução de comp. ^{tes} instalados																	Melhoramento de refrigeração
Q50	Redução de comp. ^{tes} instalados																	Atualização das tecnologias
Q51	Redução de comp. ^{tes} instalados																	Centros de dados certificados
Q52	Computadores portáteis																	Computadores <i>thin-client</i>
Q53	Computadores portáteis																	<i>Cloud computing</i>
Q54	Computadores portáteis																	Melhoramento de refrigeração

Q55	Computadores portáteis																	Atualização das tecnologias
Q56	Computadores portáteis																	Centros de dados certificados
Q57	Computadores <i>thin-client</i>																	<i>Cloud computing</i>
Q58	Computadores <i>thin-client</i>																	Melhoramento de refrigeração
Q59	Computadores <i>thin-client</i>																	Atualização das tecnologias
Q60	Computadores <i>thin-client</i>																	Centros de dados certificados
Q61	<i>Cloud computing</i>																	Melhoramento de refrigeração
Q62	<i>Cloud computing</i>																	Atualização das tecnologias
Q63	<i>Cloud computing</i>																	Centros de dados certificados
Q64	Melhoramento de refrigeração																	Atualização das tecnologias
Q65	Melhoramento de refrigeração																	Centros de dados certificados
Q66	Atualização das tecnologias																	Centros de dados certificados

Apêndice A.2 Questionários de definição do grau de implementação dos critérios

Na **segunda fase** do questionário, pretende-se que o entrevistado revele a intensidade com que cada um dos critérios e subcritérios estão implementados na empresa em questão. Isto permitirá estudar a performance efetiva que cada empresa alcança no que respeita a uma utilização ambientalmente racional das TIC. Para tal, deve ser selecionado o valor que corresponde à real aplicação das medidas definidas como necessárias para uma organização ser "green", de acordo com o definido na tabela que se segue.

Tabela A.4 – Definição linguística para a classificação dos critérios

Grau de implementação	Definição
1	Implementação ou utilização inexistente/muito reduzida
3	Implementação ou utilização reduzida
5	Implementação ou utilização razoável
7	Bastante implementado ou utilizado
9	Totalmente implementado ou utilizado
2, 4, 6, 8	Valores intermédios

Tabela A.5 – Avaliação da implementação de cada critério na empresa em estudo

Critérios e subcritérios	Grau de implementação ou utilização								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Comportamento humano									
Redução da energia consumida pelas infraestruturas									
Desligar equipamento que não está a ser utilizado									
Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e <i>Energy Star</i>									
Evitar a impressão desnecessária de documentos									
Preocupação com reciclagem: equipamento eletrónico, papel, tinteiros vazios									
Preferência por videoconferência e telepresença									
Apostar nas fontes de energia alternativas: instalação de painéis solares									
Virtualização: vários sistemas físicos combinados no mesmo computador ou servidor									
Utilização de <i>softwares</i> de gestão de energia, permitindo que o sistema desligue componentes após períodos de inatividade									
Substituir monitores CRT e LCD por LED									

Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar									
Consolidação									
Reduzir o número de componentes instalados									
Substituir computadores de secretária por portáteis									
Utilizar computadores <i>thin-client</i>									
<i>Cloud Computing</i> : utilização de diversas aplicações através da internet, em qualquer plataforma									
Aplicar estratégias de melhoramento da refrigeração: refrigeração líquida									
Atualizar periodicamente as tecnologias									
<i>Design</i> dos <i>data centers</i> com respeito pelo meio ambiente: certificação LEED									

Apêndice A.3 Explicação dos parâmetros do modelo presentes no questionário

Explicação dos parâmetros do modelo:

- **Comportamento humano:**

- Desligar equipamento que não está a ser utilizado: talvez seja a forma mais direta de economizar energia. Sempre que impressoras, computadores ou outros equipamentos não estejam a ser utilizados, devem ser desligados.
- Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e Energy Star: com a *Energy Star*, existe a possibilidade de reconhecer e regular a eficiência energética de monitores, equipamentos de controlo de arrefecimento, entre outras tecnologias. A EPEAT (*electronic products environmental assessment tool*) é um sistema que garante que os produtos cumprem critérios que os tornam ambientalmente sustentáveis.
- Evitar a impressão desnecessária de documentos
- Preocupação com reciclagem (equipamento eletrónico, papel, tinteiros vazios): a reciclagem é uma das formas mais simples para garantir a eficiência energética e reduzir os resíduos produzidos. Impede a libertação de materiais tóxicos para o meio ambiente, bem como a acumulação de componentes em fim de vida em lixeiras e afins.
- Preferência por videoconferência e telepresença: ambas as medidas permitem a realização de reuniões, nas quais os participantes estão em locais físicos distintos. Esta atitude traz bastantes vantagens: aumento da satisfação dos trabalhadores, redução das emissões de gases relacionadas com as viagens que seriam necessárias sem a videoconferência, entre muitas outras.
- Apostar nas fontes de energia alternativas (instalação de painéis solares): encontrar alternativas à produção de energia com base no carbono, ajuda a diminuir a libertação de gases de estufa para a atmosfera.

- **Redução da energia consumida pelas infra-estruturas:**

- Virtualização: é o processo que permite a combinação de vários sistemas físicos virtuais no mesmo servidor ou computador. A virtualização permite que os centros de dados sejam mais organizados e consumam menos eletricidade.
- Utilização de softwares de gestão de energia, permitindo que o sistema desligue componentes após períodos de inatividade: possibilita a redução da energia consumida, para além de poder aumentar o ciclo de vida dos equipamentos.
- Substituir monitores CRT e LCD por LED: Todos os monitores CRT (*cathode-ray-tube*) devem ser substituídos por monitores LCD (*liquid-crystal-display*). No entanto,

para uma redução ainda mais significativa no consumo, deve optar-se sempre por monitores LED (*light-emitting diodes*).

- Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar: apenas para tarefas com grande exigência de energia, esta é fornecida, sendo que o processador é mantido num estado de menor consumo quando a tarefa a realizar carece de menos energia.
- Consolidação: extinção de máquinas num *data center* através da redistribuição das aplicações da organização num número mais reduzido de equipamentos.
- Reduzir número de componentes instalados: nem todos os componentes de *hardware* precisam de estar ligados simultaneamente ao sistema ou servidor principal. Esta atitude pode levar a uma redução da energia consumida. Do mesmo modo, componentes que já não sejam utilizados, devem ser desligados e encaminhados para a forma correta de eliminação.
- Substituir computadores de secretária por portáteis: por norma, os computadores portáteis são mais eficientes energeticamente e estão munidos de recursos que ajudam na poupança de energia.
- Utilizar computadores *thin-client*: estes computadores limitam-se a fazer a ligação ao servidor principal sem necessidade de processar ou armazenar dados. Podem considerar-se como simples intermediários que fazem a ligação entre o utilizador e o servidor.
- Cloud Computing: através do acesso a diversas aplicações a partir de qualquer localização, esta tecnologia permite reduzir o número de *softwares* instalados num servidor, uma vez que estes estarão disponíveis através da internet.
- Aplicar estratégias de melhoramento da refrigeração (refrigeração líquida): com o aumento gradual das dimensões de um centro de dados e o seu conseqüente aquecimento devido ao grande número de componentes instalados, é indispensável que se consiga um sistema de refrigeração que seja capaz de dar resposta a este aumento. Assim, ao longo do tempo, têm sido desenvolvidas novas técnicas de arrefecimento, entre as quais a refrigeração líquida, que é centenas de vezes mais eficiente que a refrigeração através do ar.
- Atualizar periodicamente as tecnologias: tecnologias obsoletas consomem mais energia por não estarem de acordo com as normas mais recentes. Devem ser feitas, periodicamente, pesquisas sobre novas tecnologias, avaliar os seus custos e as suas vantagens.
- Design dos centros de dados com respeito pelo meio ambiente (certificação LEED): os centros de dados devem ser o mais eficientes possível. Desta forma, com a certificação LEED (*leadership in energy and environmental design*), são definidas estratégias que garantem o desenvolvimento sustentável do espaço, poupança de água, eficiência energética, seleção de materiais e recursos e qualidade ambiental do espaço interior.

Apêndice B Preenchimento dos questionários

Apêndice B.1 Grau de implementação dos critérios e subcritérios em cada empresa

Tabela A.6 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Envall e Cia. Ltda.

Critérios e subcritérios	Grau de implementação ou utilização								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Comportamento humano				X					
Redução da energia consumida pelas infraestruturas						X			
Desligar equipamento que não está a ser utilizado				X					
Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e <i>Energy Star</i>					X				
Evitar a impressão desnecessária de documentos			X						
Preocupação com reciclagem: equipamento eletrônico, papel, tinteiros vazios							X		
Preferência por videoconferência e telepresença								X	
Apostar nas fontes de energia alternativas: instalação de painéis solares	X								
Virtualização: vários sistemas físicos combinados no mesmo computador ou servidor				X					
Utilização de <i>softwares</i> de gestão de energia, permitindo que o sistema desligue componentes após períodos de inatividade			X						
Substituir monitores CRT e LCD por LED									X
Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar		X							
Consolidação			X						
Reduzir o número de componentes instalados					X				
Substituir computadores de secretária por portáteis			X						
Utilizar computadores <i>thin-client</i>	X								
<i>Cloud Computing</i> : utilização de diversas aplicações através da internet, em qualquer plataforma			X						
Aplicar estratégias de melhoria da refrigeração: refrigeração líquida		X							
Atualizar periodicamente as tecnologias								X	
<i>Design</i> dos <i>data centers</i> com respeito pelo meio ambiente: certificação LEED				X					

Tabela A.7 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Olitrem

Critérios e subcritérios	Grau de implementação ou utilização								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Comportamento humano						X			
Redução da energia consumida pelas infraestruturas							X		
Desligar equipamento que não está a ser utilizado			X						
Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e <i>Energy Star</i>			X						
Evitar a impressão desnecessária de documentos		X							
Preocupação com reciclagem: equipamento eletrónico, papel, tinteiros vazios								X	
Preferência por videoconferência e telepresença		X							
Apostar nas fontes de energia alternativas: instalação de painéis solares							X		
Virtualização: vários sistemas físicos combinados no mesmo computador ou servidor									X
Utilização de <i>softwares</i> de gestão de energia, permitindo que o sistema desligue componentes após períodos de inatividade	X								
Substituir monitores CRT e LCD por LED	X								
Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar			X						
Consolidação			X						
Reduzir o número de componentes instalados					X				
Substituir computadores de secretária por portáteis		X							
Utilizar computadores <i>thin-client</i>	X								
<i>Cloud Computing</i> : utilização de diversas aplicações através da internet, em qualquer plataforma	X								
Aplicar estratégias de melhoria da refrigeração: refrigeração líquida	X								
Atualizar periodicamente as tecnologias						X			
<i>Design</i> dos <i>data centers</i> com respeito pelo meio ambiente: certificação LEED					X				

Tabela A.8 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Vortal (1)

Critérios e subcritérios	Grau de implementação ou utilização								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Comportamento humano						X			
Redução da energia consumida pelas infraestruturas							X		
Desligar equipamento que não está a ser utilizado						X			
Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e <i>Energy Star</i>			X						
Evitar a impressão desnecessária de documentos							X		
Preocupação com reciclagem: equipamento eletrônico, papel, tinteiros vazios									X
Preferência por videoconferência e telepresença							X		
Apostar nas fontes de energia alternativas: instalação de painéis solares	X								
Virtualização: vários sistemas físicos combinados no mesmo computador ou servidor							X		
Utilização de <i>softwares</i> de gestão de energia, permitindo que o sistema desligue componentes após períodos de inatividade					X				
Substituir monitores CRT e LCD por LED					X				
Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar			X						
Consolidação						X			
Reduzir o número de componentes instalados						X			
Substituir computadores de secretária por portáteis						X			
Utilizar computadores <i>thin-client</i>					X				
<i>Cloud Computing</i> : utilização de diversas aplicações através da internet, em qualquer plataforma							X		
Aplicar estratégias de melhoria da refrigeração: refrigeração líquida			X						
Atualizar periodicamente as tecnologias							X		
<i>Design</i> dos <i>data centers</i> com respeito pelo meio ambiente: certificação LEED					X				

Tabela A.9 – Grau de implementação dos critérios e subcritérios na empresa Vortal (2)

Critérios e subcritérios	Grau de implementação ou utilização								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Comportamento humano						X			
Redução da energia consumida pelas infraestruturas							X		
Desligar equipamento que não está a ser utilizado							X		
Adquirir equipamento acreditado pela EPEAT e <i>Energy Star</i>				X					
Evitar a impressão desnecessária de documentos							X		
Preocupação com reciclagem: equipamento eletrónico, papel, tinteiros vazios							X		
Preferência por videoconferência e telepresença							X		
Apostar nas fontes de energia alternativas: instalação de painéis solares	X								
Virtualização: vários sistemas físicos combinados no mesmo computador ou servidor							X		
Utilização de <i>softwares</i> de gestão de energia, permitindo que o sistema desligue componentes após períodos de inatividade							X		
Substituir monitores CRT e LCD por LED								X	
Ajustar consumo do processador à tarefa a realizar						X			
Consolidação				X					
Reduzir o número de componentes instalados					X				
Substituir computadores de secretária por portáteis						X			
Utilizar computadores <i>thin-client</i>				X					
<i>Cloud Computing</i> : utilização de diversas aplicações através da internet, em qualquer plataforma									X
Aplicar estratégias de melhoria da refrigeração: refrigeração líquida				X					
Atualizar periodicamente as tecnologias								X	
<i>Design</i> dos <i>data centers</i> com respeito pelo meio ambiente: certificação LEED		X							

Apêndice C Comparações par a par de cada empresa

Apêndice C.1

Tabela A.10 – Comparações par a par da empresa Envall e Cia. Ltda. para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	1	1/3
Cr2	3	1

Tabela A.11 – Comparações par a par da empresa Olitrem para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	1	5
Cr2	1/5	1

Tabela A.12 – Comparações par a par da empresa Vortal (1) para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	1	7
Cr2	1/7	1

Tabela A.13 – Comparações par a par da empresa Vortal (2) para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	1	4
Cr2	1/4	1

Tabela A.14 – Comparações par a par da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério *comportamento humano*

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1	1/3	1/7	1/9	1/7
C2	1	1	1/3	1/5	1/9	1/7
C3	3	3	1	1/3	1/9	1/8
C4	7	5	3	1	1/3	1/7
C5	9	9	9	3	1	1/5
C6	7	7	8	7	5	1

Tabela A.15 – Comparações par a par da empresa Olitrem para o critério *comportamento humano*

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	4	1/4	1/6	1/6	1/5
C2	1/4	1	1/7	1/3	1	1
C3	4	7	1	4	6	5
C4	6	3	1/4	1	8	8
C5	6	1	1/6	1/8	1	1/6
C6	5	1	1/5	1/8	6	1

Tabela A.16 – Comparações par a par da empresa Vortal (1) para o critério *comportamento humano*

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	6	1/8	1/9	1/9	5
C2	1/6	1	1/8	1/9	1/7	7
C3	8	8	1	1	1/3	4
C4	9	9	1	1	5	4
C5	9	7	3	1/5	1	6
C6	1/5	1/7	1/4	1/4	1/6	1

Tabela A.17 – Comparações par a par da empresa Vortal (2) para o critério *comportamento humano*

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	4	1/5	1/5	1	5
C2	1/4	1	1/9	1/5	1	4
C3	5	9	1	1	4	4
C4	5	5	1	1	4	4
C5	1	1	1/4	1/4	1	3
C6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1

Tabela A.18 – Comparações par a par da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	1	6	1/4	7	1	5	1	1/6	3	4	3	1
C8	1/6	1	1/3	6	9	1/4	1/7	1/9	1/3	4	1/3	1
C9	4	3	1	6	9	8	1/9	1/7	4	6	1/4	3
C10	1/7	1/6	1/6	1	1/3	1/5	1/9	1	1	2	1/7	1/2
C11	1	1/9	1/9	3	1	1/3	1/9	1/8	1/5	1	1/7	1/4
C12	1/5	4	1/8	5	3	1	1/9	1/9	1/7	4	2	3
C13	1	7	9	9	9	9	1	1/2	7	9	8	8
C14	6	9	7	1	8	9	2	1	6	9	9	9
C15	1/3	3	1/4	1	5	7	1/7	1/6	1	4	1/5	1
C16	¼	1/4	1/6	1/2	1	1/4	1/9	1/9	1/4	1	1/7	1
C17	1/3	3	4	7	7	1/2	1/8	1/9	5	7	1	6
C18	1	1	1/3	2	4	1/3	1/8	1/9	1	1	1/6	1

Tabela A.19 – Comparações par a par da empresa Olitrem para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	1	1/6	1/5	1/3	1	1	1	3	3	1	1/5	5
C8	6	1	7	5	9	8	7	6	7	9	5	6
C9	5	1/7	1	1/5	3	1/4	1	1/2	1/4	1/3	1/7	1/3
C10	3	1/5	5	1	3	1/5	2	1/3	3	5	1	3
C11	1	1/9	1/3	1/3	1	1/4	1/3	1/4	1/3	1/5	1/7	1/6
C12	1	1/8	4	5	4	1	3	4	6	6	5	3
C13	1	1/7	1	1/2	3	1/3	1	1/3	1/4	1/5	1/7	1/4
C14	1/3	1/6	2	3	4	1/4	3	1	2	1/3	1/4	3
C15	1/3	1/7	4	1/3	3	1/6	4	1/2	1	1/3	1/6	1/2
C16	1	1/9	3	1/5	5	1/6	5	3	3	1	1/5	4
C17	5	1/5	7	1	7	1/5	7	4	6	5	1	5
C18	1/5	1/6	3	1/3	6	1/3	4	1/3	2	1/4	1/5	1

Tabela A.20 – Comparações par a par da empresa Vortal (1) para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	1	6	4	1	1/5	7	1/4	6	1/9	8	8	2
C8	1/6	1	4	1/3	1/5	5	1/6	1/6	1/8	5	1/2	3
C9	1/4	1/4	1	5	1/5	1/4	1/7	1/7	1/7	1/2	1/2	2
C10	1	3	1/5	1	4	1	1/4	1	1/2	1	1/5	1/4
C11	5	5	5	1/4	1	1/3	1/3	1/2	1/5	1/4	1	1/3
C12	1/7	1/5	4	1	3	1	1/7	1/2	1/3	1/5	1/2	1/3
C13	4	6	7	4	3	7	1	4	1/2	3	1	1/4
C14	1/6	6	7	1	2	2	1/4	1	1/3	1	1/2	1
C15	9	8	7	2	5	3	2	3	1	5	5	4
C16	1/8	1/5	2	1	4	5	1/3	1	1/5	1	1	1/4
C17	1/8	2	2	5	1	2	1	2	1/5	1	1	1/4
C18	1/2	1/3	1/2	4	3	3	4	1	1/4	4	4	1

Tabela A.21 – Comparações par a par da empresa Vortal (2) para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	1	5	1	4	4	5	5	5	2	3	4	4
C8	1/5	1	1/4	1	1/3	1	4	1	4	1/3	4	1
C9	1	4	1	4	2	3	1	1	1/3	3	1	1
C10	1/4	1	1/4	1	3	3	1/2	1	3	3	3	3
C11	1/4	3	1/2	1/3	1	3	1	1	1/4	1	1	1/4
C12	1/5	1	1/3	1/3	1/3	1	1/4	1/4	1/4	1	1	1
C13	1/5	1/4	1	2	1	4	1	1	1/3	1/3	1	1
C14	1/5	1	1	1	1	4	1	1	1/3	1/3	1	3
C15	1/2	1/4	3	1/3	4	4	3	3	1	3	5	3
C16	1/3	3	1/3	1/3	1	1	3	3	1/3	1	2	2
C17	1/4	1/4	1	1/3	1	1	1	1	1/5	1/2	1	1/2
C18	1/4	1	1	1/3	4	1	1	1/3	1/3	1/2	2	1

Apêndice C.2 Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares

Tabela A.22 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Envall e Cia. Ltda. para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)
Cr2	(2,3,4)	(1,1,1)

Tabela A.23 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Olitrem para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	(1,1,1)	(4,5,6)
Cr2	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

Tabela A.24 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Vortal (1) para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	(1,1,1)	(6,7,8)
Cr2	(1/8,1/7,1/6)	(1,1,1)

Tabela A.25 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Vortal (2) para os critérios principais

<i>Green IT</i>	Cr1	Cr2
Cr1	(1,1,1)	(3,4,5)
Cr2	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)

Tabela A.26 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério *comportamento humano*

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/8,1/7,1/6)	(1/9,1/9,1/8)	(1/8,1/7,1/6)
C2	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(1/9,1/9,1/8)	(1/8,1/7,1/6)
C3	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/9,1/9,1/8)	(1/9,1/8,1/7)
C4	(6,7,8)	(4,5,6)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/8,1/7,1/6)
C5	(8,9,9)	(8,9,9)	(8,9,9)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)
C6	(6,7,8)	(6,7,8)	(7,8,9)	(6,7,8)	(4,5,6)	(1,1,1)

Tabela A.27 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Olitrem para o critério comportamento humano

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	(1,1,1)	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4)
C2	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)
C3	(3,4,5)	(6,7,8)	(1,1,1)	(3,4,5)	(5,6,7)	(4,5,6)
C4	(5,6,7)	(2,3,4)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(7,8,9)	(7,8,9)
C5	(5,6,7)	(1,1,1)	(1/7,1/6,1/5)	(1/9,1/8,1/7)	(1,1,1)	(1/7,1/6,1/5)
C6	(4,5,6)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1/9,1/8,1/7)	(5,6,7)	(1,1,1)

Tabela A.28 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Vortal (1) para o critério comportamento humano

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	(1,1,1)	(5,6,7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/9,1/8)	(1/9,1/9,1/8)	(4,5,6)
C2	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/9,1/8)	(1/8,1/7,1/6)	(6,7,8)
C3	(7,8,9)	(7,8,9)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(3,4,5)
C4	(8,9,9)	(8,9,9)	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)
C5	(8,9,9)	(6,7,8)	(2,3,4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(5,6,7)
C6	(1/6,1/5,1/4)	(1/8,1/7,1/6)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)

Tabela A.29 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Vortal (2) para o critério comportamento humano

Comportamento	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	(1,1,1)	(3,4,5)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(4,5,6)
C2	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/8)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(3,4,5)
C3	(4,5,6)	(8,9,9)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)
C4	(4,5,6)	(4,5,6)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)
C5	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(2,3,4)
C6	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Tabela A.30 – Comparações par a par com números fuzzy triangulares da empresa Envall e Cia. Ltda. para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	(1,1,1)	(5,6,7)	(1/5,1/4,1/3)	(6,7,8)	(1,1,1)	(4,5,6)	(1,1,1)	(1/7,1/6,1/5)	(2,3,4)	(3,4,5)	(2,3,4)	(1,1,1)
C8	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(5,6,7)	(8,9,9)	(1/5,1/4,1/3)	(1/8,1/7,1/6)	(1/9,1/9,1/8)	(1/4,1/3,1/2)	(3,4,5)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)
C9	(3,4,5)	(2,3,4)	(1,1,1)	(5,6,7)	(8,9,9)	(7,8,9)	(1/9,1/9,1/8)	(1/8,1/7,1/6)	(3,4,5)	(5,6,7)	(1/5,1/4,1/3)	(2,3,4)
C10	(1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(1/9,1/9,1/8)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1/8,1/7,1/6)	(1/3,1/2,1)
C11	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/8)	(1/9,1/9,1/8)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/9,1/9,1/8)	(1/9,1/8,1/7)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1/5,1/4,1/3)
C12	(1/6,1/5,1/4)	(3,4,5)	(1/9,1/8,1/7)	(4,5,6)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/8)	(1/9,1/9,1/8)	(1/8,1/7,1/6)	(3,4,5)	(1,2,3)	(2,3,4)
C13	(1,1,1)	(6,7,8)	(8,9,9)	(8,9,9)	(8,9,9)	(8,9,9)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(6,7,8)	(8,9,9)	(7,8,9)	(7,8,9)
C14	(5,6,7)	(8,9,9)	(6,7,8)	(1,1,1)	(7,8,9)	(8,9,9)	(1,2,3)	(1,1,1)	(5,6,7)	(8,9,9)	(8,9,9)	(8,9,9)
C15	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(4,5,6)	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)
C16	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/7,1/6,1/5)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/9,1/9,1/8)	(1/9,1/9,1/8)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1,1,1)
C17	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	(3,4,5)	(6,7,8)	(6,7,8)	(1/3,1/2,1)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/9,1/8)	(4,5,6)	(6,7,8)	(1,1,1)	(5,6,7)
C18	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,2,3)	(3,4,5)	(1/4,1/3,1/2)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/9,1/8)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)

Tabela A.31 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Olitrem para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	(1,1,1)	(1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(4,5,6)
C8	(5,6,7)	(1,1,1)	(6,7,8)	(4,5,6)	(8,9,9)	(7,8,9)	(6,7,8)	(5,6,7)	(6,7,8)	(8,9,9)	(4,5,6)	(5,6,7)
C9	(4,5,6)	(1/8,1/7,1/6)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(2,3,4)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/8,1/7,1/6)	(1/4,1/3,1/2)
C10	(2,3,4)	(1/6,1/5,1/4)	(4,5,6)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,2,3)	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	(4,5,6)	(1,1,1)	(2,3,4)
C11	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/8)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/5)
C12	(1,1,1)	(1/9,1/8,1/7)	(3,4,5)	(4,5,6)	(3,4,5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(5,6,7)	(5,6,7)	(4,5,6)	(2,3,4)
C13	(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/5,1/4,1/3)	(1/6,1/5,1/4)	(1/8,1/7,1/6)	(1/5,1/4,1/3)
C14	(1/4,1/3,1/2)	(1/7,1/6,1/5)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/5,1/4,1/3)	(2,3,4)
C15	(1/4,1/3,1/2)	(1/8,1/7,1/6)	(3,4,5)	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	(1/7,1/6,1/5)	(3,4,5)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/7,1/6,1/5)	(1/3,1/2,1)
C16	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/8)	(2,3,4)	(1/6,1/5,1/4)	(4,5,6)	(1/7,1/6,1/5)	(4,5,6)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(3,4,5)
C17	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)	(6,7,8)	(1,1,1)	(6,7,8)	(1/6,1/5,1/4)	(6,7,8)	(3,4,5)	(5,6,7)	(4,5,6)	(1,1,1)	(4,5,6)
C18	(1/6,1/5,1/4)	(1/7,1/6,1/5)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(5,6,7)	(1/4,1/3,1/2)	(3,4,5)	(1/4,1/3,1/2)	(1,2,3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

Tabela A.32 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Vortal (1) para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	(1,1,1)	(5,6,7)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(6,7,8)	(1/5,1/4,1/3)	(5,6,7)	(1/9,1/9,1/8)	(7,8,9)	(7,8,9)	(1,2,3)
C8	(1/7,1/6,1/5)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(4,5,6)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/9,1/8,1/7)	(4,5,6)	(1/3,1/2,1)	(2,3,4)
C9	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)
C10	(1,1,1)	(2,3,4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)
C11	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)
C12	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)	(3,4,5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)
C13	(3,4,5)	(5,6,7)	(6,7,8)	(3,4,5)	(2,3,4)	(6,7,8)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1/3,1/2,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)
C14	(1/7,1/6,1/5)	(5,6,7)	(6,7,8)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)
C15	(8,9,9)	(7,8,9)	(6,7,8)	(1,2,3)	(4,5,6)	(2,3,4)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,1,1)	(4,5,6)	(4,5,6)	(3,4,5)
C16	(1/9,1/8,1/7)	(1/6,1/5,1/4)	(1,2,3)	(1,1,1)	(3,4,5)	(4,5,6)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)
C17	(1/9,1/8,1/7)	(1,2,3)	(1,2,3)	(4,5,6)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)
C18	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(3,4,5)	(3,4,5)	(1,1,1)

Tabela A.33 – Comparações par a par com números *fuzzy* triangulares da empresa Vortal (2) para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

Infra-estruturas	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C7	(1,1,1)	(4,5,6)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	(3,4,5)
C8	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1/4,1/3,1/2)	(3,4,5)	(1,1,1)
C9	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,1,1)
C10	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)
C11	(1/5,1/4,1/3)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)
C12	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C13	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)
C14	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(2,3,4)
C15	(1/3,1/2,1)	(1/5,1/4,1/3)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(3,4,5)	(3,4,5)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(2,3,4)
C16	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)
C17	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)
C18	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1,1,1)

Apêndice D Passos para a resolução do *fuzzy* AHP

Passo 1: Valor *fuzzy* sintético (S_i)

Tabela A.34 – Valor *fuzzy* sintético para os critérios principais

S_{Cr1}	0,53	0,72	0,99
S_{Cr2}	0,22	0,28	0,34

Tabela A.35 – Valor *fuzzy* sintético para o critério *comportamento humano*

S_{C1}	0,07	0,10	0,13
S_{C2}	0,05	0,06	0,08
S_{C3}	0,19	0,27	0,37
S_{C4}	0,22	0,31	0,43
S_{C5}	0,14	0,18	0,23
S_{C6}	0,06	0,08	0,12

Tabela A.36 – Valor *fuzzy* sintético para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

S_{C7}	0,08	0,13	0,18
S_{C8}	0,06	0,09	0,14
S_{C9}	0,05	0,07	0,11
S_{C10}	0,04	0,07	0,10
S_{C11}	0,03	0,04	0,05
S_{C12}	0,04	0,07	0,10
S_{C13}	0,07	0,11	0,16
S_{C14}	0,07	0,11	0,16
S_{C15}	0,07	0,11	0,17
S_{C16}	0,04	0,05	0,08
S_{C17}	0,07	0,09	0,14
S_{C18}	0,04	0,07	0,11

Passo 2: Grau de possibilidade de $M_2 \geq M_1$

Tabela A.37 – Grau de possibilidade para os critérios principais

V	
$S_{Cr1} > S_{Cr2}$	1,00
$S_{Cr2} > S_{Cr1}$	0,00

Tabela A.38 – Grau de possibilidade para o critério *comportamento humano*

V									
$S_{C1} > S_{C2}$	1,00	$S_{C1} > S_{C3}$	0,00	$S_{C1} > S_{C4}$	0,00	$S_{C1} > S_{C5}$	0,00	$S_{C1} > S_{C6}$	1,00
$S_{C2} > S_{C1}$	0,12	$S_{C2} > S_{C3}$	0,00	$S_{C2} > S_{C4}$	0,00	$S_{C2} > S_{C5}$	0,00	$S_{C2} > S_{C6}$	0,33
$S_{C3} > S_{C1}$	1,00	$S_{C3} > S_{C2}$	1,00	$S_{C3} > S_{C4}$	0,76	$S_{C3} > S_{C5}$	1,00	$S_{C3} > S_{C6}$	1,00
$S_{C4} > S_{C1}$	1,00	$S_{C4} > S_{C2}$	1,00	$S_{C4} > S_{C3}$	1,00	$S_{C4} > S_{C5}$	1,00	$S_{C4} > S_{C6}$	1,00
$S_{C5} > S_{C1}$	1,00	$S_{C5} > S_{C2}$	1,00	$S_{C5} > S_{C3}$	0,33	$S_{C5} > S_{C4}$	0,05	$S_{C5} > S_{C6}$	1,00
$S_{C6} > S_{C1}$	0,81	$S_{C6} > S_{C2}$	1,00	$S_{C6} > S_{C3}$	0,00	$S_{C6} > S_{C4}$	0,00	$S_{C6} > S_{C5}$	0,00

Tabela A.39 – Grau de possibilidade para o critério *redução da energia consumida pelas infraestruturas*

V											
$S_{C7} > S_{C8}$	1,00	$S_{C7} > S_{C9}$	1,00	$S_{C7} > S_{C10}$	1,00	$S_{C7} > S_{C11}$	1,00	$S_{C7} > S_{C12}$	1,00	$S_{C7} > S_{C13}$	1,00
$S_{C8} > S_{C7}$	0,62	$S_{C8} > S_{C9}$	1,00	$S_{C8} > S_{C10}$	1,00	$S_{C8} > S_{C11}$	1,00	$S_{C8} > S_{C12}$	1,00	$S_{C8} > S_{C13}$	0,82
$S_{C9} > S_{C7}$	0,30	$S_{C9} > S_{C8}$	0,66	$S_{C9} > S_{C10}$	1,00	$S_{C9} > S_{C11}$	1,00	$S_{C9} > S_{C12}$	1,00	$S_{C9} > S_{C13}$	0,49
$S_{C10} > S_{C7}$	0,22	$S_{C10} > S_{C8}$	0,58	$S_{C10} > S_{C9}$	0,92	$S_{C10} > S_{C11}$	1,00	$S_{C10} > S_{C12}$	0,97	$S_{C10} > S_{C13}$	0,41
$S_{C11} > S_{C7}$	0,00	$S_{C11} > S_{C8}$	0,00	$S_{C11} > S_{C9}$	0,19	$S_{C11} > S_{C10}$	0,29	$S_{C11} > S_{C12}$	0,23	$S_{C11} > S_{C13}$	0,00
$S_{C12} > S_{C7}$	0,24	$S_{C12} > S_{C8}$	0,61	$S_{C12} > S_{C9}$	0,95	$S_{C12} > S_{C10}$	1,00	$S_{C12} > S_{C11}$	1,00	$S_{C12} > S_{C13}$	0,43
$S_{C13} > S_{C7}$	0,80	$S_{C13} > S_{C8}$	1,00	$S_{C13} > S_{C9}$	1,00	$S_{C13} > S_{C10}$	1,00	$S_{C13} > S_{C11}$	1,00	$S_{C13} > S_{C12}$	1,00
$S_{C14} > S_{C7}$	0,85	$S_{C14} > S_{C8}$	1,00	$S_{C14} > S_{C9}$	1,00	$S_{C14} > S_{C10}$	1,00	$S_{C14} > S_{C11}$	1,00	$S_{C14} > S_{C12}$	1,00
$S_{C15} > S_{C7}$	0,80	$S_{C15} > S_{C8}$	1,00	$S_{C15} > S_{C9}$	1,00	$S_{C15} > S_{C10}$	1,00	$S_{C15} > S_{C11}$	1,00	$S_{C15} > S_{C12}$	1,00
$S_{C16} > S_{C7}$	0,00	$S_{C16} > S_{C8}$	0,31	$S_{C16} > S_{C9}$	0,69	$S_{C16} > S_{C10}$	0,79	$S_{C16} > S_{C11}$	1,00	$S_{C16} > S_{C12}$	0,74
$S_{C17} > S_{C7}$	0,62	$S_{C17} > S_{C8}$	1,00	$S_{C17} > S_{C9}$	1,00	$S_{C17} > S_{C10}$	1,00	$S_{C17} > S_{C11}$	1,00	$S_{C17} > S_{C12}$	1,00
$S_{C18} > S_{C7}$	0,29	$S_{C18} > S_{C8}$	0,65	$S_{C18} > S_{C9}$	0,99	$S_{C18} > S_{C10}$	1,00	$S_{C18} > S_{C11}$	1,00	$S_{C18} > S_{C12}$	1,00
$S_{C7} > S_{C14}$	1,00	$S_{C7} > S_{C15}$	1,00	$S_{C7} > S_{C16}$	1,00	$S_{C7} > S_{C17}$	1,00	$S_{C7} > S_{C18}$	1,00		
$S_{C8} > S_{C14}$	0,77	$S_{C8} > S_{C15}$	0,85	$S_{C8} > S_{C16}$	1,00	$S_{C8} > S_{C17}$	0,98	$S_{C8} > S_{C18}$	1,00		
$S_{C9} > S_{C14}$	0,46	$S_{C9} > S_{C15}$	0,54	$S_{C9} > S_{C16}$	1,00	$S_{C9} > S_{C17}$	0,64	$S_{C9} > S_{C18}$	1,00		
$S_{C10} > S_{C14}$	0,38	$S_{C10} > S_{C15}$	0,47	$S_{C10} > S_{C16}$	1,00	$S_{C10} > S_{C17}$	0,55	$S_{C10} > S_{C18}$	0,93		
$S_{C11} > S_{C14}$	0,00	$S_{C11} > S_{C15}$	0,00	$S_{C11} > S_{C16}$	0,47	$S_{C11} > S_{C17}$	0,00	$S_{C11} > S_{C18}$	0,21		
$S_{C12} > S_{C14}$	0,41	$S_{C12} > S_{C15}$	0,50	$S_{C12} > S_{C16}$	1,00	$S_{C12} > S_{C17}$	0,58	$S_{C12} > S_{C18}$	0,97		
$S_{C13} > S_{C14}$	0,95	$S_{C13} > S_{C15}$	1,00	$S_{C13} > S_{C16}$	1,00	$S_{C13} > S_{C17}$	1,00	$S_{C13} > S_{C18}$	1,00		
$S_{C14} > S_{C13}$	1,00	$S_{C14} > S_{C15}$	1,00	$S_{C14} > S_{C16}$	1,00	$S_{C14} > S_{C17}$	1,00	$S_{C14} > S_{C18}$	1,00		
$S_{C15} > S_{C13}$	0,98	$S_{C15} > S_{C14}$	0,93	$S_{C15} > S_{C16}$	1,00	$S_{C15} > S_{C17}$	1,00	$S_{C15} > S_{C18}$	1,00		
$S_{C16} > S_{C13}$	0,13	$S_{C16} > S_{C14}$	0,12	$S_{C16} > S_{C15}$	0,22	$S_{C16} > S_{C17}$	0,28	$S_{C16} > S_{C18}$	0,71		
$S_{C17} > S_{C13}$	0,83	$S_{C17} > S_{C14}$	0,78	$S_{C17} > S_{C15}$	0,87	$S_{C17} > S_{C16}$	1,00	$S_{C17} > S_{C18}$	1,00		
$S_{C18} > S_{C13}$	0,48	$S_{C18} > S_{C14}$	0,45	$S_{C18} > S_{C15}$	0,54	$S_{C18} > S_{C16}$	1,00	$S_{C18} > S_{C17}$	0,63		

Passo 3: Vetores de pesos dos critérios

$$W'_{green\ IT} = (1,00; 0,00)^T$$

$$W'_{Cr1} = (0,00; 0,00; 0,76; 1,00; 0,05; 0,00)^T$$

$$W'_{Cr2} = (1,00; 0,60; 0,29; 0,21; 0,00; 0,29; 0,78; 0,83; 0,78; 0,00; 0,61; 0,28)^T$$

Passo 4: Vetores normalizados dos pesos dos critérios

$$W_{green\ IT} = (1,00; 0,00)^T$$

$$W_{Cr1} = (0,00; 0,00; 0,42; 0,55; 0,03; 0,00)^T$$

$$W_{Cr2} = (0,17; 0,10; 0,05; 0,04; 0,00; 0,05; 0,14; 0,15; 0,14; 0,00; 0,11; 0,05)^T$$

Apêndice E Passos para a resolução do TOPSIS

Passo 1: Estabelecimento da matriz de decisão

Tabela A.40 – Matriz de decisão para os critérios selecionados e respectivos pesos

	Envall	Olitrem	Vortal	W
Cr1	4	6	6	1
Cr2	6	7	7	0
C1	4	3	6	0
C2	5	3	3	0
C3	3	2	7	0,42051
C4	7	8	8	0,55049
C5	8	2	7	0,02900
C6	1	7	1	0
C7	4	9	7	0,17627
C8	3	1	6	0,10610
C9	9	1	6	0,05034
C10	2	3	4	0,03679
C11	3	3	5	0
C12	5	5	5	0,05135
C13	3	2	6	0,13802
C14	1	1	4	0,14694
C15	3	1	8	0,13790
C16	2	1	3	0
C17	8	6	7	0,10704
C18	4	5	3	0,04926

Passo 2: Normalização da matriz de decisão

Tabela A.41 – Matriz de decisão normalizada

	Envall	Olitrem	Vortal
Cr1	0,359	0,539	0,640
Cr2	0,444	0,517	0,605
C1	0,381	0,286	0,792
C2	0,651	0,391	0,511
C3	0,285	0,190	0,889
C4	0,449	0,513	0,598
C5	0,621	0,155	0,647
C6	0,139	0,971	0,140
C7	0,286	0,645	0,579
C8	0,327	0,109	0,882
C9	0,688	0,076	0,573
C10	0,263	0,394	0,762
C11	0,359	0,359	0,756
C12	0,475	0,475	0,612
C13	0,325	0,217	0,857
C14	0,152	0,152	0,953
C15	0,254	0,085	0,929
C16	0,365	0,183	0,840
C17	0,548	0,411	0,599
C18	0,478	0,598	0,443

Passo 3: Construção da matriz de decisão normalizada ponderada**Tabela A.42 – Matriz de decisão normalizada ponderada**

	Envall	Olitrem	Vortal
Cr1	0,359	0,539	0,640
Cr2	0,000	0,000	0,000
C1	0,000	0,000	0,000
C2	0,000	0,000	0,000
C3	0,120	0,080	0,374
C4	0,247	0,283	0,329
C5	0,018	0,005	0,019
C6	0,000	0,000	0,000
C7	0,050	0,114	0,102
C8	0,035	0,012	0,094
C9	0,035	0,004	0,029
C10	0,010	0,014	0,028
C11	0,000	0,000	0,000
C12	0,024	0,024	0,031
C13	0,045	0,030	0,118
C14	0,022	0,022	0,140
C15	0,035	0,012	0,128
C16	0,000	0,000	0,000
C17	0,059	0,044	0,064
C18	0,024	0,029	0,022

Passo 4: Determinação da solução ideal positiva e ideal negativa**Tabela A.43 – Solução ideal positiva e ideal negativa para cada critério**

	A⁺	A⁻
Cr1	0,640	0,426
Cr2	0,000	0,000
C1	0,000	0,000
C2	0,000	0,000
C3	0,374	0,107
C4	0,332	0,290
C5	0,021	0,005
C6	0,000	0,000
C7	0,131	0,058
C8	0,094	0,016
C9	0,041	0,005
C10	0,028	0,013
C11	0,000	0,000
C12	0,031	0,029
C13	0,118	0,039
C14	0,140	0,031
C15	0,128	0,016
C16	0,000	0,000
C17	0,069	0,051
C18	0,034	0,022

Passo 5: Cálculo da distância de cada alternativa às soluções

Tabela A.44 – Distância de cada alternativa às soluções

	d^+	d^-
Envall	0,350	0,085
Olitrem	0,332	0,230
Vortal	0,035	0,397

Passo 6: Cálculo da proximidade relativa às soluções

Tabela A.45 – Proximidade relativa às soluções

	CC
Envall	0,195
Olitrem	0,409
Vortal	0,920