Metodologia multicritério de apoio à seleção de plataformas de cloud computing

Eduardo Caldas Monteiro

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Maria João Afonso Gil Pires
Co-orientador na FEUP: Prof. Xavier António Reis Andrade
Orientador na PwC: Nuno Canhão Filipe



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2022-07-11

Resumo

A adoção de plataformas de *cloud computing* no contexto empresarial tem vindo a crescer consideravelmente ao longo dos últimos anos. Este crescimento foi fomentado pelas vantagens competitivas que a sua adoção propicia, cuja magnitude foi reforçada com a recente maturidade das tecnologias subjacentes às plataformas. Além disto, estas vantagens tornaram-se ainda mais relevantes com o impacto de fatores externos recentes, como a crescente quantidade de dados gerados pelos negócios e a transição forçada para o regime de teletrabalho em resposta à pandemia, que levou a uma aceleração do plano de adoção de *cloud* para cerca de 50% das empresas[1]. Este crescimento da adoção de plataformas de *cloud computing* faz-se também sentir na natureza dos projetos de consultoria de *data & analytics* da PwC, já que estes envolvem cada vez mais serviços deste tipo.

Este crescimento refletiu-se também na complexidade e heterogeneidade da oferta, já que nesta indústria se verifica uma falta de estandardização e transparência de nomenclaturas, métricas de desempenho e modelos de tarifação. Estes fatores levam a que a comparação e escolha entre fornecedores seja um processo complexo e com diversas nuances. Este problema é agravado pelo alto nível de aprisionamento tecnológico nestas plataformas, já que a migração entre as mesmas é bastante intrincada ou até impossível. Desta forma, e no contexto de um projeto de *reporting analytics*, desenvolveu-se uma metodologia de avaliação holística de plataformas de *cloud computing*, para que esta seja adaptável a diferentes contextos e necessidades e que permita a escolha de uma alternativa.

A conceção desta metodologia foi feita com base numa revisão de literatura aprofundada, visando estabelecer o estado da arte das tecnologias de *cloud*, das metodologias multicritério de apoio à decisão e, finalmente, das metodologias de avaliação de plataformas de *cloud computing* já existentes, para utilizar estas como base, cobrindo as suas limitações. Esta metodologia desenvolvida avalia uma plataforma segundo 6 âmbitos que são mensurados com um total de 55 critérios. Estes foram definidos com base na literatura, utilizando não só as metodologias de avaliação já existentes como também a documentação técnica destas plataformas, de modo a mensurar as suas diferentes características. Cada um destes âmbitos e critérios são avaliados quanto à sua importância, utilizando a metodologia *analytical hierarchy process* para os primeiros e uma adaptação de uma metodologia de ordenação para os segundos, de forma a definir o seu peso na avaliação final. É esta definição de importância que proporciona à metodologia a flexibilidade necessária à adaptação a diferentes requisitos e contextos em que os projetos da PwC deste tipo se inserem.

Esta flexibilidade foi comprovada numa aplicação da metodologia em contexto real, no projeto em que o desenvolvimento da mesma está inserido. Assim, o processo de definição de requisitos, recolha de dados, definição de importâncias e posterior avaliação de plataformas foi também documentado com o propósito de demonstrar o funcionamento da ferramenta e orientar futuros utilizadores da mesma. O resultado foi uma avaliação das duas plataformas líderes do mercado, para o contexto do projeto, e posterior seleção com base na mesma.

[1] Ghosh and Narain (2021)

Abstract

Multicriteria decision-making methodology for the selection of cloud computing platforms

The adoption of cloud computing platforms by businesses has been growing considerably over the past few years. This growth was fostered by the competitive advantages that this adoption yields, the magnitude of which has recently been reinforced with the maturity of the underlying technologies. In addition, these advantages have become even more significant with the impact of recent external factors such as the increasing amount of data generated by businesses and the forced transition to remote working in response to the pandemic, which has led to a quickening of cloud adoption plans for about 50% of enterprises[1]. This increase in adoption of cloud computing platforms has also been felt at the nature of PwC's data & analytics consulting projects, as they increasingly involve this type of service.

This growth also occurred to the complexity and heterogeneity of the supply, since in this industry there is a lack of standardization and transparency of taxonomy, performance metrics, and pricing models. These factors make the comparison and subsequent choice between suppliers a complex and nuanced process. To make matters worse, there is a high level of vendor lock-in in these platforms, since migration between them is quite complex or even impossible. Thus, and in the context of a reporting analytics project, a methodology for holistic evaluation of cloud computing platforms was developed, such that it is versatile and flexible to different contexts and needs and is capable of supporting the choice of a platform.

The conception of this methodology was based on a thorough literature review that aimed to understand the state of the art of *cloud* technologies, multicriteria decision-making methodologies, and finally, existing cloud computing platforms evaluation methodologies, in order to use these as the groundwork by covering their limitations. The developed methodology evaluates a platform according to 6 scopes that are measured with a total of 55 evaluation criteria. These were defined based on literature, using not only existing cloud computing evaluation methodologies but also the technical documentation of these platforms, in order to measure their different characteristics. Each of these scopes and criteria is evaluated for their importance, using the analytical hierarchy process methodology for the former and an adaptation of a ranking methodology for the latter, in order to define their weight in the final evaluation. It is through this definition of importance that the developed methodology can have the flexibility to adapt to the different requirements and contexts of this type of PwC projects.

This flexibility was proven with an application of the methodology in a real context, given by the project in which it was developed. Thus, the process of requirements definition, data collection, importance establishment, and subsequent platform evaluation was also documented in order to demonstrate the workings of the tool and guide its future users. The result was an evaluation of the two leading platforms in the market, for the context of the project, and subsequent selection based on it.

[1] Ghosh and Narain (2021)

Agradecimentos

A realização desta dissertação e consequente conclusão do percurso académico em que ela está inserida não teriam sido possíveis sem o contributo de uma extensa lista de pessoas. Dada a impossibilidade de agradecer individualmente a todos, gostaria de enumerar algumas pessoas cujo contributo foi especialmente impactante.

À professora Maria João Pires e ao professor Xavier António Andrade pela disponibilidade, simpatia e flexibilidade que sempre demonstraram e também pelas contribuições que deram ao longo do processo.

Ao Nuno Canhão, pela orientação dentro da PwC e no projeto em específico e também pela transmissão de conhecimento que enriqueceu imensamente o trabalho desenvolvido.

À equipa de Consulting da PwC e em particular àqueles com quem fui contactando no dia a dia, por me terem integrado tão rapidamente e por todo o conhecimento transmitido que facilitou esta transição para a nova fase da minha vida. Gostaria também de endereçar um agradecimento individual ao Pedro Oliveira por todos os conselhos que me deu e pela preocupação que demonstrou desde o início.

À Sofia, pelo apoio incondicional e o ânimo que me deu ao longo da realização desta dissertação e dos anos de licenciatura e mestrado.

Aos amigos que surgiram e que me acompanharam ao longo dos últimos 5 anos, pelos momentos incríveis que vivemos juntos e por terem atenuado os momentos mais atribulados. Em especial ao Hugo, pela companhia nos últimos meses e por toda a ajuda que me deu neste período. Aos amigos de Ponte de Lima, pela amizade inabalável que, mesmo após meses sem nos vermos, se mantém igual.

Finalmente, gostaria também de agradecer à minha família. Aos meus pais pelos sacrifícios que fizeram e fazem em prol da minha educação permitindo-me ter todas as ferramentas que necessitei neste longo percurso. À minha irmã por toda a disponibilidade e vontade de ajudar que sempre demonstrou e que foi importantíssima durante este percurso.

A todos, muito obrigado.

"Esperávamos, desejávamos, conseguimos!"

Marcelo Rebelo de Sousa

Conteúdo

1 Introdução **1**
1.1 Enquadramento do projeto e motivação 1
1.2 O projeto na PwC 2
1.3 Metodologia *Transform* na PwC 3
1.4 Objetivos do projeto 4
1.5 Estrutura da dissertação 5

2 Revisão de literatura **7**
2.1 *Cloud Computing* 7
2.1.1 Enquadramento histórico e definição 7
2.1.2 Tecnologia suporte da *cloud* 9
2.1.3 Modelos de serviço 12
2.1.4 Modos de disponibilização 13
2.1.5 Vantagens e desvantagens 14
2.2 Tomada de decisão multicritério 17
2.2.1 Introdução à tomada de decisão multicritério 17
2.2.2 Classificação das metodologias de MCDM 18
2.2.3 Metodologias de MCDM 20
2.3 Avaliação e seleção de plataformas de *cloud computing* 24
2.3.1 Definição dos critérios 24
2.3.2 Metodologias de seleção 24
2.3.3 Avaliação de especialistas 26
2.4 Conclusão da revisão de literatura 27

3 Conceção da metodologia **29**
3.1 Definição conceptual do problema 29
3.2 Definição dos âmbitos de avaliação 30
3.2.1 Recolha de âmbitos relevantes 30
3.2.2 Desenho e organização dos âmbitos relevantes 31
3.2.3 Avaliação e alinhamento dos âmbitos 32
3.3 Definição dos critérios 32
3.3.1 Critérios dos serviços da plataforma 33
3.3.2 Critérios de segurança e certificações 36
3.3.3 Critérios de desempenho 39
3.3.4 Critérios de fiabilidade 40
3.3.5 Critérios de elasticidade 42
3.3.6 Critérios de custos 43
3.4 Modo de cálculo dos pesos 44
3.4.1 Cálculo dos pesos dos âmbitos 44

3.4.2 Cálculo dos pesos dos critérios 45
3.5 Conclusão da conceção da metodologia 46

4 Aplicação da metodologia **47**
4.1 Enquadramento do projeto 47
4.2 Identificação das alternativas 48
4.3 Recolha dos dados 48
4.3.1 Dados dos serviços da plataforma 48
4.3.2 Dados de segurança e certificações 49
4.3.3 Dados de desempenho 49
4.3.4 Dados de fiabilidade 50
4.3.5 Dados da elasticidade 51
4.3.6 Dados dos custos 51
4.4 Definição dos pesos 52
4.4.1 Pesos dos âmbitos 53
4.4.2 Pesos dos critérios 53
4.5 Resultado da avaliação 55
4.6 Fronteira de Pareto 56

5 Conclusão **57**

Anexo A Organizações de modelos de serviço de *cloud computing* **65**

Anexo B Vantagens e desvantagens das plataformas de *cloud computing* **66**

Anexo C Recursos e equações da metodologia AHP **67**

Anexo D Fronteira de Pareto **69**

Anexo E Metodologias de avaliação de CSPs da Forrester e Gartner **70**

Anexo F Esquematização da metodologia construída **73**

Anexo G Arquitetura de dados do projeto **75**

Anexo H Dados utilizados na metodologia **77**

Anexo I Resultados dos testes de desempenho **81**

Anexo J Dados de preços **94**

Anexo K Definição dos pesos dos âmbitos de avaliação **95**

Anexo L Definição dos pesos dos critérios **96**

Anexo M Resultado da aplicação da metodologia **98**

Siglas e Acrónimos

AHP	Analytical Hierarchy Process
AWS	Amazon Web Services
BU	Business Unit
CAPEX	Capital Expenditure
CDN	Content Delivery Network
CI	Consistency Index
CR	Consistency Ratio
CSA	Cloud Security Alliance
CSMIC	Cloud Services Measurement Initiative Consortium
CSP	Cloud Service Provider
DM	Decision Maker
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant La Realité
ETL	Extract, Transform, Load
IaaS	Infrastructure as a Service
IAM	Identity and Access Management
MADM	Multiple Attribute Decision Making
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
MODM	Multiple Objective Decision Making
NIST	National Institute Of Standards And Technology
OPEX	Operational Expenditure
PaaS	Platform as a Service
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Of Evaluations
PwC AG	Pricewaterhousecoopers /AG – Assessoria de Gestão, Lda
RGPD	Regulamento Geral sobre a Proteção De Dados
ROC	Rank Order Centroid
ROD	Rank Order Distribution
RS	Rank Sum weights
SaaS	Software as a Service
SLA	Service Level Agreement
SMART	Simple Multi-Attribute Rating Technique
SMARTER	Smart Exploiting Ranks
SMARTS	Smart using Swings
SO	Sistema Operativo
STAR	Security, Trust, Assurance And Risk
TI	Tecnologias de Informação
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution
VM	Virtual Machine
VPN	Virtual Private Network
XaaS	Anything as a Service

Lista de Figuras

1.1 Diagrama da metodologia *Transform*® da PwC 4

2.1 Esquema das camadas da tecnologia de virtualização, à esquerda, e containerização, à direita. Traduzido e adaptado de Pahl (2015). 11
2.2 Esquema representativo das diferentes fases do processo de tomada de decisão. Traduzido de Suleiman et al. (2011). 17

3.1 Figura da estrutura hierárquica do problema de AHP de atribuição de pesos aos âmbitos de avaliação. 45

4.1 Análise de Fronteira de Pareto às plataformas AWS e Azure para o contexto do projeto. 56

A.1 Distribuição do controlo para os diferentes modelos de serviço. Traduzido e adaptado de Chen (2020). 65

B.1 Ilustração da elasticidade das plataformas *cloud* em comparação com as infraestruturas *on-premises*. Traduzido e adaptado de Suleiman et al. (2011). 66

C.1 Esquema de um problema típico de AHP. 67

D.1 Exemplo de uma fronteira de pareto de um problema MODM com dois objetivos a minimizar. 69

E.1 Quadrante utilizado nas análises *Gartner Magic Quadrant*. Traduzido de Gartner, Inc. (2022c) 70
E.2 As classificações e escalas utilizadas nas análises a mercados IT da Forrester. Traduzido e adaptado de Bartoletti and Rymer (2020) 71

F.1 Esquema hierárquico do objetivo, âmbitos e critérios da metodologia desenvolvida. 74

G.1 Arquitetura de dados utilizada no projeto de consultoria em que a metodologia foi construída. 76

I.1 Gráficos de caixa dos resultados dos testes à latência dos CDNs. 82
I.2 Gráficos de caixas dos resultados dos testes ao *download* de conteúdo dos CDNs. 83
I.3 Gráficos de caixas dos resultados dos testes à latência dos serviços de computação 87
I.4 Gráficos de caixas dos resultados dos testes ao *download* dos serviços de computação 87
I.5 Gráficos de caixas dos resultados dos testes ao *upload* dos serviços de computação 88
I.6 Gráficos de caixas dos resultados dos testes à latência dos serviços de armazenamento. 91

I.7 Gráficos de caixas dos resultados dos testes à latência dos serviços de armazenamento. 91
I.8 Gráficos de caixas dos resultados dos testes aos CDNs do Azure e AWS. 92
I.9 Gráficos de caixas dos resultados dos testes de latência aos serviços de computação do Azure e AWS. 92
I.10 Gráficos de caixas dos resultados dos testes de *download* e *upload* aos CDNs do Azure e AWS. 92
I.11 Gráficos de caixas dos resultados dos testes aos CDNs do Azure e AWS. 93

K.1 Comparações par a par dos âmbitos de avaliação para o contexto do projeto. . . . 95

Lista de Tabelas

3.1 Âmbitos recolhidos na primeira fase de definição. 31
3.2 Tabela com os âmbitos de avaliação da metodologia desenvolvida e a sua definição. 33
3.3 Escala de importância utilizada na definição de pesos dos âmbitos de avaliação. . 45

4.1 Tabela dos resultados do teste de D 53

A.1 Tabela traduzida dos modelos de disponibilização de *cloud computing* como sugerido por Miyachi (2018). 65

C.1 Tabela da escala de importância e utilidade para o AHP. Traduzido de Anderson et al. (2015). 68
C.2 Tabela de níveis de consistência aleatória para diferentes n's. Calculado por Saaty (1981). 68

E.1 Critérios de avaliação da *Magic Quadrant for Cloud Infrastructure and Platform Services* . Traduzido e adaptado de Bala et al. (2021). 71
E.2 Critérios de avaliação da *The Forrester Wave™: Public Cloud Development And Infrastructure Platforms*. Traduzido de Bartoletti and Rymer (2020). 72

H.1 Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Serviços da Plataforma. 78
H.2 Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Segurança e Certificações. 79
H.3 Resultados da recolha de dados para o âmbito de Desempenho. 79
H.4 SLAs dos diferentes fornecedores considerados. 80
H.5 Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Fiabilidade. 80
H.6 Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Elasticidade. 80
H.7 Dados e pontuações para o âmbito de Preços. 80

I.1 Tabela dos resultados do teste à latência dos CDNs. 82
I.2 Tabela dos resultados do teste ao *download* dos CDNs. 83
I.3 Tabela dos resultados do teste à latência dos serviços de computação. * - Região fora da UE. 84
I.4 Tabela dos resultados do teste ao *download* dos serviços de computação. * - Região fora da UE. 85
I.5 Tabela dos resultados do teste ao *upload* dos serviços de computação. * - Região fora da UE. 86
I.6 Tabela dos resultados do teste à latência dos serviços de armazenamento. * - Região fora da UE. 89
I.7 Tabela dos resultados do teste ao *download* dos serviços de armazenamento. * - Região fora da UE. 90

J.1 Preços dos serviços de computação. 94
J.2 Preços dos serviços de computação *serverless*. 94
J.3 Preços dos serviços de armazenamento. 94

K.1 Matriz de comparação par a par dos âmbitos de avaliação. 95

L.1 Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Serviços da Plataforma. 96
L.2 Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Seguranças e Certificações. . . . 96
L.3 Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Desempenho. 97
L.4 Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Fiabilidade. 97
L.5 Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Elasticidade. 97
L.6 Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Custos. 97

M.1 Matriz com o resultado da utilização da metodologia no contexto do projeto. . . . 99

Capítulo 1

Introdução

O presente documento foi desenvolvido no âmbito da dissertação de conclusão do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Nele são descritas as fases iniciais de um projeto de consultoria da PwC, que visa a criação de soluções analíticas em *cloud*. Em particular, é descrito o processo de criação e utilização, no contexto do projeto, de uma metodologia que suporte o momento de seleção de fornecedor de serviços *cloud* (CSP - *Cloud Service Provider*).

Nesta secção inicial são descritas as motivações desta dissertação, assim como os moldes em que a mesma se desenvolveu.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Cloud Computing é um termo que surgiu no final dos anos 90 como junção de duas tendências empresariais do século passado, a tendência organizacional de externalização e a tendência tecnológica de computação utilitária (Erl et al., 2013). Estas soluções permitem, por exemplo, aumentar a escalabilidade, flexibilidade e capacidade de resposta de sistemas de comunicação e informação diminuindo ainda os custos fixos e o investimento inicial nos mesmos. Isto é possível através da disponibilização de recursos computacionais partilhados, *on-demand*, por uma rede sem que para isso seja necessária uma gestão ativa dos mesmos por parte do utilizador.

A *cloud* é suportada por três tecnologias principais: virtualização, *multitenancy*, e serviços *web*. Ainda que nenhuma destas tecnologias seja recente, todas sofreram importantes avanços na década passada, o que permitiu que as soluções *cloud* atingissem a maturidade necessária para se tornarem o paradigma na sua área. Este avanço foi também motivado pela crescente necessidade de recursos computacionais, gerada pela utilização geral de equipamentos móveis que não só os consomem diretamente como também produzem uma quantidade infindável de dados que, quando armazenados e processados, podem trazer muito valor para as organizações (Repschlaeger et al., 2012c). Mais recentemente, a transição forçada das organizações para regime de teletrabalho de forma a conter a propagação da pandemia COVID-19 levou a uma aceleração da migração para *cloud* em cerca de 50% das empresas e à aceleração de um plano, inicialmente a 10 anos, de passar

80% das operações para a *cloud* em apenas 3 anos (Ghosh and Narain, 2021). Sendo expectável que os fatores mencionados continuem a ser impactantes no futuro, e em particular a adaptação das organizações para uma realidade de trabalho híbrido, é expectável que o mercado em análise continue em crescimento. A Gartner, Inc. (2022b) estima que as organizações mundiais vão gastar, ao longo de 2022, cerca de 500 mil milhões em *public cloud* e que este valor continue a crescer cerca de 20% anualmente ao longo dos próximos anos.

Este crescimento do mercado *cloud* deu-se não só ao nível da procura como também da oferta, com muitas empresas de tecnologias de informação (TI) a entrarem, ao longo dos últimos anos, no mesmo. Isto trouxe um aumento do nível de complexidade e heterogeneidade da oferta, já que os fornecedores têm portefólios de serviços muito variados. Além disto, usam também nomenclaturas diferentes, níveis e métricas de desempenho não estandardizadas e pouco transparentes e com modelos de custos diferentes e difíceis de comparar entre si (Repschlaeger et al., 2012c). Adicionalmente, não existe um CSP destes serviços que seja universalmente melhor que todos os outros. Por norma, o fornecedor adequado depende daquilo que se desenvolverá na plataforma *cloud* e não existem soluções *one-size-fits-all* (Garg et al., 2011).

O problema agrava-se por se tratar de um mercado com um alto nível de aprisionamento tecnológico. Isto porque, tendo uma vez adotado soluções de um CSP, torna-se bastante difícil migrar as soluções desenvolvidas para plataformas de outros. Além disto, mesmo a comunicação entre diferentes plataformas de *cloud* é um processo complexo e, por vezes, impossível, já que cada um dos CSPs tem interfaces de programação de aplicações diferentes, construídas sobre infraestruturas próprias e com políticas de utilização com bastantes nuances (Opara-Martins et al., 2016). Como tal, no momento de avaliação de alternativas, é importante ter em conta não só a tática a curto prazo, mas também toda a estratégia tecnológica da empresa.

Tendo em conta o crescimento que se verificou e se prevê para este mercado, e a complexidade do processo de avaliação de alternativas decidiu-se desenvolver uma metodologia capaz não só de avaliar soluções por si só, como também de o realizar, e consequentemente comparar, para um determinado contexto e aplicação, adaptado à realidade da organização e da utilização futura da tecnologia. Assim, a ferramenta descrita na presente dissertação visa auxiliar as organizações no momento de avaliação de alternativas do processo de migração para a *cloud*, de forma a capacitar os seus leitores com os dados necessários para uma tomada de decisão informada, numa área complexa, sem que para isso sejam necessárias competências tecnológicas extraordinárias.

1.2 O projeto na PwC

O projeto descrito na presente dissertação foi desenvolvido na PricewaterhouseCoopers /AG – Assessoria de Gestão, Lda (PwC AG). Esta é a entidade portuguesa de consultoria pertencente à rede global PwC que presta serviços de auditoria, consultoria e fiscalidade em mais de 156 países, contando com mais de 295000 colaboradores, mais de 1800 dos quais pertencem às entidades portuguesas. A rede tem experiência nas mais diversas indústrias, prestando serviços a 84% das empresas da lista Fortune 500. Os seus serviços são também reconhecidos na área de migração

cloud, tendo sido reconhecida como uma líder na prestação de serviços neste mercado em 2022, pela IDC (Little, 2022).

O principal foco da *line of service* de *Advisory*, pertencente à PwC e onde este projeto foi realizado, é o de prestar serviços que visam aumentar a *performance* dos clientes através da melhoria das operações-chave dos seus negócios. Esta linha de serviços é composta por várias *Business Units*, que têm propósitos diferentes. O projeto foi desenvolvido na BU de *Consulting*, junto da equipa de *Solutions*, na área de *Data & Analytics*.

Os projetos nesta área passam tipicamente pela criação de soluções que permitem ao cliente realizar análises ao seu negócio com base nos variados dados que este gera. Estas análises podem ser de vários tipos e de diversos níveis de complexidade, mas visam sempre a melhoria dos processos base do negócio, de forma a permitir um aumento da *performance* do mesmo. Para isto é necessário, previamente, a organização e tratamento de dados assim como a criação de uma arquitetura de armazenamento, extração, tratamento e carregamento dos dados. Estas arquiteturas podem-se basear em soluções tradicionais *on-premise* ou soluções *cloud*, sendo também comum a combinação de ambas. Ainda assim, no passado recente, tem-se notado um crescente interesse por parte dos clientes nas soluções *cloud* e, pelos motivos mencionados previamente, espera-se que esta tendência se mantenha no futuro.

Dada a variedade de clientes da PwC, e os seus diferentes contextos e necessidades, a oferta *cloud* ideal a implementar neste tipo de projetos não é universal e depende de variados fatores, relacionados não só com o cliente como também com o projeto. Como tal, tipicamente, a fase de avaliação de alternativas é complexa e demorada. De forma a simplificar este processo, não só para o projeto em estudo como também para projetos futuros, decidiu-se criar uma metodologia de avaliação de plataformas de *cloud computing*. Esta ferramenta visa responder à necessidade interna da equipa de *Solutions*, que surge sempre que em alguma fase do desenvolvimento de um projeto a solução passa pela migração para a *cloud*. Através da utilização desta ferramenta, espera-se que o processo de avaliação de alternativas seja executado, nesta e em futuras ocasiões, de uma forma mais eficiente, informada, e adaptada às necessidades únicas de cada projeto.

1.3 Metodologia *Transform* na PwC

O presente projeto foi desenvolvido segundo a metodologia *Transform*® da PwC. Esta é a metodologia usada pelo departamento de *Consulting* e foi construida de forma a guiar as organizações em processos de mudança, organizando assim as tarefas e atividades relacionadas com a mesma em diferentes fases, como ilustrado na Figura 1.1. Esta metodologia permite conduzir estas mudanças de uma forma sustentável a longo prazo, com uma boa relação custo/benefício e de forma a maximizar as vantagens competitivas que estas mudanças trazem. A metodologia é flexível e adequa-se a mudanças dos tipos organizacional, operacional ou tecnológica que surgem como resultado dos projetos de consultoria da PwC.

Como ilustrado na Figura 1.1, um projeto que segue esta metodologia tem 5 fases distintas. A primeira, é uma fase de Avaliação, durante a qual se estuda a situação atual da empresa que

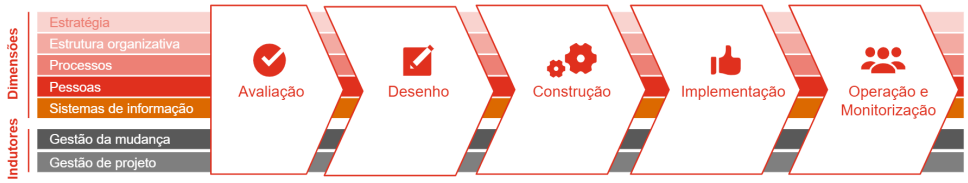


Figura 1.1: Diagrama da metodologia *Transform*® da PwC

sofrerá as mudanças e, com base nesta informação, se identificam os seus requisitos e se avalia a situação inicial das áreas a atuar. Seguidamente, na fase do Desenho, identificam-se as soluções para as necessidades encontradas na organização e mede-se a viabilidade das mesmas no contexto holístico da empresa. Posteriormente, dá-se a fase de Construção, que engloba o desenvolvimento das soluções encontradas assim como a criação do plano de implementação das mesmas. Este plano é aplicado na fase seguinte, a de Implementação, na qual, além de colocar as soluções em funcionamento, criam-se as condições necessárias à concretização dos benefícios estimados. Finalmente, a última fase é a de operação e monitorização que consiste no funcionamento segundo as mudanças implementadas e na monitorização destas mudanças de forma a fomentar um espírito de melhoria contínua sobre as mesmas.

O foco principal desta dissertação é nas fases de Avaliação e Desenho do projeto em que ela está inserida já que é nestas fases que a conceção e aplicação da metodologia se deram. Na fase de avaliação com o desenvolvimento da mesma e levantamento dos requisitos da organização. Posteriormente, na fase de desenho, com a instanciação destes requisitos na metodologia e a uma seleção de ofertas *cloud* de forma a selecionar a mais adequada para as soluções a serem criadas.

1.4 Objetivos do projeto

O principal objetivo do projeto de consultoria em que esta dissertação se insere foi o da criação de soluções analíticas numa plataforma *cloud*. No entanto, como explicado na secção da metodologia, esta dissertação foca-se nas fases iniciais do projeto, que passou, primeiramente, pela criação de uma metodologia universal que permite avaliar, de forma holística, uma qualquer solução *cloud* e, posteriormente, pela utilização desta ferramenta para comparar algumas soluções no contexto do projeto. Posteriormente, e já numa fase de construção, foram realizadas formações na plataforma escolhida e também se deu a exploração da mesma no contexto do projeto assim como a documentação de boas práticas neste tipo de projetos, ainda que estes processos não sejam documentados nesta dissertação.

Assim, os objetivos do projeto da fase documentada nesta dissertação são:

- Criação de uma metodologia universal, de avaliação de soluções *cloud*, que seja adaptável a diferentes contextos e necessidades;
- Levantamento dos requisitos relevantes para a instanciação da metodologia;
- Aplicação da metodologia ao contexto do projeto em que a dissertação está inserida.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco principais capítulos. O presente capitulo serve de introdução à dissertação e ao projeto da mesma, explicando o contexto em que este foi desenvolvido. Este contexto inclui as motivações internas e externas que justificam a sua importância, assim como descreve a empresa em que foi desenvolvido e a metodologia utilizada. Seguidamente, no Capítulo 2, realiza-se uma revisão aprofundada da literatura, estabelecendo um estado da arte das plataformas de *cloud computing*, de metodologias de apoio à decisão multicritério relevantes e das metodologias de avaliação de plataformas de *cloud computing* já existentes. No Capítulo 3 está descrito o processo de conceção da metodologia de avaliação, que passa por uma definição do problema assim como dos âmbitos de avaliação e dos critérios utilizados e do método de cálculo do peso de cada um deles. No Capítulo 4 instancia-se a metodologia desenvolvida ao contexto do projeto em que esta está inserida, de forma a descrever os passos da sua utilização e os resultados que esta produz. Finalmente, no Capítulo 5, dá-se uma conclusão ao trabalho com uma análise dos passos de desenvolvimento do mesmo assim como estabelecimento do trabalho futuro e limitações do mesmo.

Capítulo 2

Revisão de literatura

Neste capítulo da dissertação pretende-se rever a literatura relevante para este trabalho. Isto inclui, inicialmente, uma secção dedicada à tecnologia de *cloud computing*, de forma a perceber o seu funcionamento e diferentes necessidades de avaliação. Seguidamente, inclui também uma secção com uma descrição das metodologias de apoio à decisão multicritério que servirão de base à metodologia desenvolvida. Finalmente, uma secção com uma revisão da literatura de diferentes metodologias semelhantes à desenvolvida neste trabalho, para estabelecer o estado da arte desta área de investigação.

2.1 *Cloud Computing*

2.1.1 Enquadramento histórico e definição

Ainda que a denominação de *Cloud Computing* seja relativamente recente, a ideia de disponibilizar recursos computacionais aos utilizadores consoante a sua necessidade não o é, tendo sido publicamente idealizada em 1961 por John McCarthy. Este investigador de computação previa que, no futuro, os recursos computacionais seriam disponibilizados como um serviço público, à semelhança do que acontece com os serviços de telecomunicações (Garfinkel, 2011). Esta visão, ainda que de forma muito limitada, começou a tornar-se realidade ao longo dos anos 90, com a disponibilização de serviços de *email* e motores de busca, através da *internet*, para os consumidores finais. Em 1999, a Salesforce lançou o seu *software* de *Customer Relationship Management*, que era totalmente disponibilizado pela *internet*, pelo que se considera que este foi o primeiro serviço *cloud* destinado a empresas (Erl et al., 2013). Ainda assim, estes desenvolvimentos iniciais não eram denominados *cloud*, já que este termo apenas ganhou popularidade quando Eric Schmidt, CEO da Google na época, o utilizou em 2006 (Zhang et al., 2010) assim como com o lançamento do Amazon Elastic Compute Cloud, também nesse ano (Sotomayor et al., 2009). Nos anos seguintes, sem uma definição clara e aceite em larga escala para este termo, a sua utilização deu-se, sobretudo, para fins publicitários, de forma muito pouco criteriosa e para ofertas muito diferentes entre si, gerando assim algum ceticismo à volta deste tema (Zhang et al., 2010).

De forma a combater este fenómeno, houve um enorme esforço académico para estabelecer uma definição de *cloud computing* que fosse aceite em larga escala. Vaquero et al. (2008) contribuiu para este esforço analisando vinte definições de diferentes autores numa tentativa de chegar a uma definição englobadora. Os autores constataram que as definições existentes tinham focos muito diferentes. Algumas definições analisadas focavam-se nas capacidades de escalabilidade instantânea das soluções (por exemplo, Markus Klems em Geelan et al. (2009)) enquanto outras destacavam os benefícios numa perspetiva económica, como a redução dos investimentos iniciais necessários e a passagem de gastos de capital para despesas operacionais (Watson et al., 2008). Havia ainda definições que defendiam que a nomenclatura *cloud* era um termo em voga que abrangia demasiadas funcionalidades (por exemplo Damon Edwards em Geelan et al. (2009)). Com isto em mente, a definição proposta é "A *cloud* é um grande conjunto de recursos virtualizados (como *hardware*, plataformas e/ou serviços de desenvolvimento) que são acessíveis e facilmente utilizados. Estes recursos podem ser reconfigurados dinamicamente tal que se ajustem a uma carga variável otimizando a sua utilização. Este conjunto de recursos é tipicamente disponibilizado através de um modelo de *pay-per-use* cujas garantias são mantidas pelo fornecedor da infraestrutura através de SLAs personalizados."

Outra fonte de definições válidas para soluções tecnológicas são as empresas de consultoria e investigação de tecnologia da informação. A Gartner, Inc. (2022a) define *cloud computing* como "uma categoria de computação na qual recursos escaláveis e elásticos de tecnologias de informação são disponibilizadas através de tecnologias da *internet*". Já a Forrester (2022), define *cloud computing* como "recursos normalizados de entrega de tecnologia (serviços, *software* ou infraestrutura) disponibilizados através de tecnologias padrão da *internet* num modelo de *pay-per-use* e *self-service*". Apesar da acreditação de ambas instituições na área da *cloud*, a definição que é hoje em dia aceite e utilizada pela indústria foi desenvolvida pela instituição americana National Institute of Standards and Technology (NIST) em 2011, ao longo de 15 iterações, e cuja versão final é a seguinte: "*Cloud computing* é um modelo que capacita o acesso ubíquo, conveniente e *on-demand* a um conjunto partilhado de recursos computacionais configuráveis (ex: rede, servidores, armazenamento, aplicações, e serviços) que podem ser rapidamente alocados e libertados com um esforço de gestão ou interação com o fornecedor mínimos". Esta definição inclui ainda uma enumeração de cinco características essenciais, três modelos de serviço e quatro modelos de disponibilização que constituem o modelo *cloud*. Por esta ser a definição adotada em larga escala pela indústria e pela comunidade académica, será utilizada ao longo desta secção como guia da mesma ainda que se refiram também outras contribuições complementares.

As cinco características essenciais enumeradas pela NIST na sua definição são as seguintes:

> "*On-demand self-service:* Um consumidor pode, de um modo unilateral, alocar recursos computacionais automaticamente, consoante a sua necessidade, sem que para tal sejam necessárias interações com os fornecedores do serviço."

> "Acesso amplo via rede: as plataformas *cloud* são disponibilizadas através de uma rede e o acesso às mesmas é conduzido por mecanismos estandardizados que permitem a sua utilização em

dispositivos classificados como *thick clients* ou *thin clients*."

"Agrupamento de recursos: os recursos computacionais do fornecedor do serviço são agrupados de forma a servir múltiplos utilizadores num modelo de *multitenancy*, com os recursos físicos a serem atribuidos e reatribuidos consoante a necessidade dos consumidores. A localização destes recursos é desconhecida ao utilizador e só pode ser definida a um nível mais abstrato, como o país, a região ou o centro de processamento de dados."

"Elasticidade ágil: os recursos podem ser alocados e libertados elasticamente e, em alguns casos, automaticamente, de forma a escalar rapidamente consoante a necessidade. Para o consumidor, os recursos aparentam ser infinitos e disponíveis em qualquer quantidade e a qualquer momento."

"Serviço mensurado: os sistemas *cloud* controlam e otimizam a utilização dos seus recursos por via da sua mensuração. Esta é utilizada não só para efeitos de faturação, como também para controlar, monitorizar e analisar a utilização do recurso assim como para estabelecer transparência entre o consumidor e o fornecedor."

A estas cinco características, Erl et al. (2013) adiciona uma sexta, resiliência, que o autor considera ser necessário incluir pela sua importância para os consumidores finais e por ser uma capacidade que a maioria das plataformas de *cloud computing* possui. Com resiliência, o autor refere-se à redundância existente numa solução *cloud*, já que os recursos computacionais são distribuídos e configurados de tal forma que se houver alguma falha num deles, outra instância desse mesmo tipo de recurso o pode substituir e continuar o processamento.

Além das características essenciais incluídas na definição do NIST, Zhang et al. (2010) inclui ainda a orientação para serviços já que as ofertas *cloud* são disponibilizadas na forma de um conjunto de serviços. Estes serviços têm que cumprir um *Service Level Agreement* (SLA), que é um acordo negociado entre o CSP e o utilizador que define aspetos do serviço que o primeiro tem que garantir. No contexto de *cloud*, a menos que seja acompanhado de uma indicação contrária, os SLAs são utilizados para estabelecer a fiabilidade mínima do serviço.

2.1.2 Tecnologia suporte da *cloud*

Aquilo que se definiu como *cloud computing* são soluções que têm por base um conjunto de diferentes tecnologias. Estas tecnologias permitiram que a *cloud* se tornasse o paradigma no ramo de IT. Nesta secção são abordadas algumas destas tecnologias, de forma a defini-las, estabelecer o estado de arte das mesmas e demonstrar de que forma é que elas contribuem para as características mencionadas anteriormente. As tecnologias abordadas são a virtualização, *multitenancy*, containerização, computação *serverless* e serviços *web*. Esta não é uma lista exaustiva da tecnologia que suporta o *cloud computing*, mas sim uma lista das tecnologias mais importantes para as características enumeradas anteriormente e para o enquadramento teórico do projeto desta dissertação.

Virtualização:

Campbell and Jeronimo (2006) define virtualização como: "desvinculação do *hardware* do sistema operativo (SO) de uma máquina física, permitindo assim que diversas máquinas virtuais (VM), com sistemas operativos diferentes, funcionem lado a lado e isoladas uma da outra dentro de uma mesma máquina física". Assim, e como Erl et al. (2013) explica, virtualização é o processo de converter um recurso físico em um, ou mais, recursos virtuais, recorrendo a um *software* de virtualização (*hypervisor*), de forma a que as aplicações sejam executadas nestas máquinas virtuais da mesma forma que seriam em máquinas fisicas.

Esta tecnologia é o que permite, em parte, às plataformas de *cloud computing* serem disponibilizadas *on-demand*, com uma elasticidade ágil e de se servirem de um conjunto de recursos, já que é a virtualização deste conjunto que permite que a sua capacidade seja separada em várias partes, cuja capacidade unitária pode aumentar ou diminuir consoante a necessidade (Zhang et al., 2010; Buyya et al., 2011) .

Multitenancy:

Multitenancy é definido por Krebs et al. (2012) como uma abordagem de disponibilização de *software* em que uma instância da aplicação é disponibilizada a diversos utilizadores com acesso a uma parte dedicada dessa aplicação, com garantias de isolamento no que concerne ao desempenho e à segurança dos dados. Segundo Erl et al. (2013), a distinção entre esta tecnologia e a virtualização é o que é multiplicado, já que na primeira é uma instância de *software* que serve vários utilizadores simultâneos, mesmo sendo executada num único servidor, e na segunda é o servidor físico que é multiplicado em várias instâncias virtuais. Esta tecnologia permite aos CSPs disponibilizar os serviços de *software* da *cloud* a diferentes utilizadores simultaneamente.

Containerização:

A tecnologia de containerização é uma técnica de virtualização em que este processo é executado como uma aplicação no SO da máquina, pelo que é também chamada virtualização em nível de SO. Nesta técnica, as aplicações correm em *containers*, instâncias isoladas que acedem ao mesmo *kernel* para comunicação com o mesmo SO. Assim, esta é a grande diferença entre a virtualização padrão, explicada anteriormente, e a containerização, já que, com a primeira, cada uma das máquinas virtuais tem o seu próprio sistema operativo (chamado *guest OS*), enquanto na segunda as diferentes instâncias criadas comunicam com o mesmo sistema operativo da máquina *host*. Esta diferença ao nível do SO é evidenciada na 2.1 na qual a camada de *bins/libs* inclui os diversos ficheiros, como bibliotecas ou ficheiros binários, necessários ao funcionamento das aplicações da camada mais acima.

A principal vantagem desta técnica quando comparada com a virtualização padrão está na sua portabilidade e leveza já que com esta é possível mover os *containers* entre diferentes servidores que utilizem o mesmo SO. Adicionalmente, por utilizarem o SO dos recursos que o alojam, os *containers* são menos exigentes na utilização de CPU, memória e armazenamento (Pahl, 2015; Erl et al., 2013). O suporte desta técnica por parte dos CSPs tem acentuado ao longo dos últimos anos, especialmente após o lançamento do *software* de criação de *containers* Docker, em 2013, e o *software* de gestão destes *containers* Kubernetes, em 2014.

Serverless:

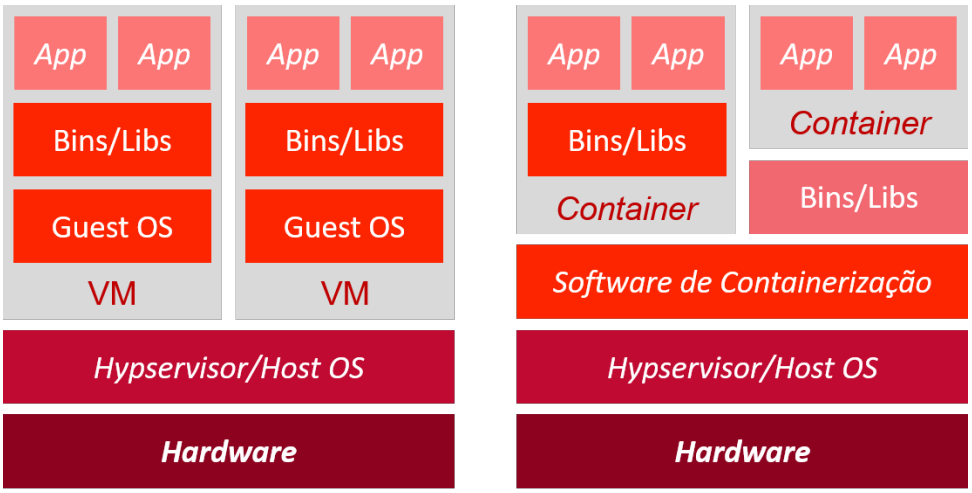


Figura 2.1: Esquema das camadas da tecnologia de virtualização, à esquerda, e containerização, à direita. Traduzido e adaptado de Pahl (2015).

A tecnologia *serverless* é um modelo de computação que surgiu nos últimos anos e que teve um impacto considerável nas soluções de *cloud computing*. Baldini et al. (2017) propôs a seguinte definição para esta: "uma tecnologia com a qual um programador tem controlo sobre o código que executa na *cloud* mas sem necessidade de se preocupar com os aspetos operacionais e de manutenção desse código, esperando ainda que esta execução seja redundante e escale automaticamente. A escala dos recursos alocados pode ser nula quando nenhum dos servidores se encontra a correr código do utilizador, sendo que este não paga por estes momentos." A razão da nomenclatura utilizada (*serverless* = sem servidor) é por estes serviços não alocarem um servidor, ou parte dele, a um utilizador, mas alocarem apenas os recursos necessários, durante o tempo necessário, para a execução de um determinado código, ainda que os recursos subjacentes sejam servidores.

Esta abordagem, quando comparada com a virtualização e containerização, tem a vantagem de simplificar o processo de execução de código na *cloud* para um programador, já que as configurações são automáticas, e também de ter um modelo de custos mais flexível, já que se paga apenas pelos recursos utilizados durante o tempo em que estes estiveram ativos.

Serviços *Web*:

As soluções de *cloud computing* são disponibilizadas ao utilizador final através de uma rede. Na grande maioria dos casos, esta rede é a *internet* e o acesso às mesmas é feito através de um navegador. Por esta razão, estas soluções dependem dos *serviços* web que Haas and Brown (2004), no glossário do World Wide Web Consortium, definem como: "*software* que permite a interação entre máquinas através de uma rede". Marston et al. (2011) acrescenta que tipicamente este termo se refere à comunicação entre clientes e servidores, concretizada através do protocolo HTTP. Estes serviços *web* permitem também a criação e funcionamento das aplicações *web*, *software* cuja utilização é feita com navegadores de *internet* Erl et al. (2013).

Assim, esta tecnologia, juntamente com o acesso através da *internet*, é o que permite que as soluções *cloud* possam ser acedidas por diversos equipamentos de diferentes tipos, já que os *web*

services são compatíveis com a maioria dos equipamentos utilizados pelos consumidores finais.

2.1.3 Modelos de serviço

Como explicado anteriormente, o modelo de negócio de *cloud computing* passa pela disponibilização de recursos computacionais como um serviço e, a maioria dos autores que inicialmente procuraram a definição de *cloud computing* (National Institute of Standards and Technology, 2011; Vaquero et al., 2008; Erl et al., 2013; Zhang et al., 2010), considera 3 modelos, ordenados aqui por nível decrescente de controlo, por parte dos consumidores, sobre os recursos disponibilizados:

Infrastructure-as-a-Service (Infraestrutura como um serviço), ou IaaS é o modelo de serviço de *cloud computing* definido pelo National Institute of Standards and Technology como: "possibilidade disponibilizada ao consumidor de utilizar recursos computacionais fundamentais como de processamento, armazenamento, de rede ou outros para instalar e executar *software* arbitrário que pode ser um sistema operativo ou aplicações. O consumidor não tem controlo sobre a infraestrutura subjacente, mas pode controlar o sistema operativo, o armazenamento e as aplicações instaladas assim como ter um controlo limitado dos componentes de rede." Como Erl et al. (2013) refere, no modelo de serviço IaaS, o que é entregue ao consumidor são recursos IT no seu estado bruto, atribuindo-lhe assim a responsabilidade de configurar os mesmos.

Platform-as-a-Service (Plataforma como um serviço), ou PaaS é o modelo de serviço de *cloud computing* definido pelo National Institute of Standards and Technology como: "possibilidade disponibilizada ao consumidor de instalar e executar aplicações criadas ou adquiridas pelo consumidor que têm por base linguagens de programação, bibliotecas, serviços e ferramentas suportadas pelo fornecedor. O consumidor não gere nem tem controlo sobre a infraestrutura subjacente, no que toca à rede, servidores, sistemas operativos ou armazenamento da mesma, mas controla as aplicações instaladas no ambiente assim como pode ter a possibilidade de configurar o ambiente em si". Em comparação com IaaS, e como explicado por Erl et al. (2013), numa oferta PaaS, os recursos disponibilizados já se encontram configurados e prontos a ser utilizados, pelo que o consumidor evita assim a necessidade de configuração inicial e manutenção contínua dos mesmos, ainda que acabe por perder algum controlo sobre os mesmos.

Software-as-a-Service (*Software* como um serviço), ou SaaS é o modelo de serviço de *cloud computing* definido pelo National Institute of Standards and Technology como: "possibilidade disponibilizada ao consumidor de utilizar as aplicações do fornecedor que são executadas numa infraestrutura de *cloud computing*. Estas aplicações são acessíveis a partir de variados equipamentos, quer através da interface de um *thin client*, como um navegador de *internet*, ou uma interface da aplicação. Não existe qualquer gestão ou controlo sobre a infraestrutura

> subjacente, como a rede, servidores, sistemas operativos, armazenamento ou até configurações especificas de aplicações individuais, com a exceção da possibilidade de definir, de forma limitada e exclusiva àquele utilizador, determinadas configurações."

A Figura A.1 do Anexo A resume, de forma gráfica, a distinção destes modelos ao nível da atribuição de responsabilidades.

É na classificação de modelos de serviço que a definição do National Institute of Standards and Technology (2011) tem sido mais contestada ao longo dos anos já que diversos autores acreditam que a evolução tecnológica da última década tornou esta distinção muito menos clara e trouxe novos serviços que não são contemplados pela mesma. Uma das evoluções neste campo é o alargamento dos modelos de serviço para *Anything as a Service*, ou XaaS. Nesta perspetiva, inclui-se como um modelo de serviço qualquer tecnologia que possa ser disponibilizada através da *internet* que era, anteriormente, exclusivamente disponibilizada *on-premises* (Miyachi, 2018).

Miyachi (2018) sugeriu um modelo, construindo sobre uma proposta de Den Haan (2013), tal que se incluísse a tecnologia de *serverless*, dada a sua importância. Este modelo, representado na Tabela A.1 do Anexo A, inclui um total de 15 categorias, cuja definição ultrapassa o âmbito desta revisão de literatura, mas que permite verificar que a distinção sugerida nas definições iniciais de *cloud computing* é, hoje em dia, bastante redutora. Esta é também a visão da Forrester, que abandonou por completo a nomenclatura "aaS" nas suas análises ao mercado de *cloud computing* Martorelli et al. (2022), e da Gartner que usa esta nomenclatura, mas agora com classificações adicionais Gartner, Inc. (2022b).

2.1.4 Modos de disponibilização

Os modos de disponibilização das soluções de *cloud computing* referem-se aos tipos de *cloud* que podem ser utilizados para as suportar. Estas são classificadas quanto ao seu proprietário, ao seu tamanho e a quem tem acesso à mesma. Os tipos de *cloud* identificados na definição do National Institute of Standards and Technology (2011) são quatro: *Cloud* pública, *Cloud* comunitária, *Cloud* privada e *Cloud* híbrida.

***Cloud* pública:** "A infraestrutura que suporta este tipo de *cloud* é disponibilizada para ser acedida pelo público geral. Pode ser propriedade de uma organização empresarial, académica, ou governamental assim como de uma combinação destas. A sua gestão e operação é da responsabilidade desta organização (National Institute of Standards and Technology, 2011). Erl et al. (2013) acrescenta a esta definição que a organização dona, gestora e operadora desta *cloud* é uma organização terceira".

***Cloud* privada:** "A infraestrutura que suporta este tipo de *cloud* é disponibilizada para ser acedida por uma única organização. Esta pode ser propriedade, gerida e operada por esta organização, uma organização externa ou uma combinação de ambos e o seu *hardware* pode estar *on* ou *off premises*" National Institute of Standards and Technology. Zhang et al. (2010) acrescenta que esta *cloud* permite o maior nível de controlo sobre o desempenho, fiabilidade e segurança da mesma, mas perde alguns dos benefícios como a inexistência de investimentos em capital iniciais.

Esta definição é ligeiramente diferente daquela considerada em Erl et al. (2013), que limita este tipo de *cloud* aos casos em que organização que a utiliza é também a dona da mesma. É relevante sublinhar a diferença entre sistemas tradicionais *on-premise* e a *cloud* privada. Ainda que em ambos seja possível que o *hardware* que suporta os sistemas se encontre nas instalações da organização, só se trata de *cloud* privada se os recursos computacionais forem acessíveis remotamente e em qualquer localização (Erl et al., 2013).

***Cloud* comunitária:** "A infraestrutura que suporta este tipo de *cloud* é disponibilizada para ser acedida por uma comunidade de consumidores pertencentes a organizações com interesses em comum. Esta pode ser propriedade, gerida e operada por uma organização pertencente a esta comunidade, uma organização externa ou uma combinação de ambos e o seu *hardware* pode estar *on* ou *off premises*" (National Institute of Standards and Technology, 2011).

***Cloud* híbrida:** "A infraestrutura é composta por dois ou mais tipos de *cloud* que são entidades separadas, mas estão ligadas por tecnologia estandardizada ou patenteada que permite a portabilidade de aplicações e dados (National Institute of Standards and Technology, 2011). Como Erl et al. (2013) explica, neste caso trata-se um ambiente de *cloud* mais do que um tipo único de *cloud*, já que combina dois ou mais tipos diferentes".

Além destes 4 principais modos de disponibilização, existem modos adicionais considerados por alguns autores. Erl et al. (2013), assim como Zhang et al. (2010) consideram também uma *cloud* privada virtual (Virtual Private Cloud), ainda que as suas definições para este modo seja ligeiramente diferente entre autores. O primeiro define-a como uma *cloud* privada cujo proprietário é externo à organização que a utiliza já que, como mencionado anteriormente, a sua definição de *cloud* privada difere dos restantes. O segundo, define este tipo de *cloud* como uma *cloud* pública que usa tecnologia de rede privada virtual (VPN) para configurar as definições de segurança para que o consumidor *cloud* as possa controlar. Além disso, (Erl et al., 2013) refere ainda a intercloud, sendo um modelo em que um ou mais dois tipos de *cloud* estão conectados. Ainda que não exista um consenso de definições em alguns destes temas, o seu conhecimento é importante de forma a entender as ofertas dos diferentes CSP, já que estes os utilizam heterogeneamente entre si.

2.1.5 Vantagens e desvantagens

Com um entendimento base do que é o *cloud computing* e das tecnologias que o suportam, é também importante perceber de que forma é que esta mudança de paradigma na área de IT consegue ajudar as organizações, mas também os desafios que as mesmas podem enfrentar durante e após o processo de migração. Assim, nesta secção vão se enumerar as vantagens e as desvantagens destas soluções, conforme a literatura.

2.1.5.1 Vantagens

Perspetiva económica As soluções de *cloud computing* permitem às empresas ter acesso a recursos computacionais robustos sem que, para isso, seja necessário um investimento inicial

considerável. Assim, esta tecnologia tem a capacidade de eliminar a barreira à entrada financeira relacionada com o elevado custo inicial em infraestrutura tecnológica, permitindo ainda redirecionar esse investimento para as áreas fulcrais do negócio. Uma empresa pequena pode, assim, começar com uma infraestrutura reduzida, de acordo com as suas necessidades, e ir aumentando a capacidade da mesma à medida que se justifique. Assim, esta migração permite converter CAPEX (investimentos em bens de capital) em OPEX (despesas operacionais), de forma a que as despesas sejam proporcionais ao desempenho do negócio.

Não é possível afirmar que a migração *cloud* leve, em todos os casos, a uma redução de custos em IT. A diferença em custos depende inteiramente da realidade da empresa e do que ela pretende dos serviços de *cloud computing*. De forma geral, é expectável que o investimento inicial necessário para a adoção *cloud* seja maior que para soluções *on-premises*, mas que, num horizonte temporal a longo prazo, os custos de operação sejam maiores para as soluções *cloud*.

Escalabilidade Um dos maiores impulsionadores da adoção de soluções de *cloud computing* é endereçar os problemas de planeamento da capacidade dos recursos computacionais *on-premises* das empresas (Erl et al., 2013). A magnitude deste problema ficou evidenciado no estudo de 2020 da 451 Research (Rogers and Atelsek, 2019) que concluiu que cerca de 40 a 50% da capacidade destes recursos é desperdiçada. Isto acontece porque no momento de planeamento da capacidade as empresas optam por implantar um nível correspondente ao pico da procura, já que não conseguem aumentar a capacidade em tempo útil. Como descrito anteriormente, as plataformas de *cloud computing* permitem o acesso *on-demand* a um conjunto de recursos, assim, é possível ter uma capacidade que corresponde aproximadamente à procura. Isto contribui também para os benefícios económicos já que elimina os custos associados a ter uma capacidade menor que a necessária (consequente da perda de negócio por indisponibilidade dos sistemas) e a ter uma capacidade superior à necessária (consequente do desperdício de recursos) (Marston et al., 2011; Erl et al., 2013). A Figura B.1 do Anexo B demonstra a diferença entre as duas abordagens para um exemplo de variação da procura ao longo de um dia, sendo que os valores de procura e de capacidade são puramente ilustrativos.

Da mesma forma, esta capacidade de escalar os recursos tem também vantagens para tarefas que exigem uma capacidade de elevada já que, como Erl et al. (2013) refere, com *cloud computing*, usar cem servidores durante uma hora custa o mesmo que usar um servidor durante cem horas, pelo que é possível obter resultados mais rápidos por um custo igual. Isto tem um enorme potencial dada a importância que as práticas de ciências de dados têm, hoje em dia, para as empresas.

Fiabilidade e disponibilidade Como explicado na secção das características destes serviços, o *cloud computing* tem uma resiliência, por norma, superior à abordagem tradicional de recursos *on-premises*. A resiliência, neste contexto, engloba a fiabilidade e disponibilidade

das soluções. Estas são superiores porque as plataformas de *cloud computing* têm mecanismos de redundância que permitem que mesmo que haja uma falha em um dos seus recursos, outro o possa substituir sem que o utilizador final sinta qualquer diferença. Assim, as empresas que migram para a *cloud* têm menos risco de perder negócio por falta de disponibilidade de recursos computacionais (Erl et al., 2013).

2.1.5.2 Desvantagens

Aumento das vulnerabilidades Quando uma organização move os seus dados para uma solução de *cloud computing* alarga necessariamente a sua fronteira de confiança para esta incluir também a organização que lhe fornece estes serviços (com a exceção de *cloud* privada). Assim, existem mais vulnerabilidades já que é muito pouco provável que a arquitetura de segurança das duas organizações seja a mesma (Erl et al., 2013). Além disso, a utilização da *cloud* pode implicar também que dados confidenciais estejam armazenados em recursos que não são propriedade da empresa e que são até utilizados por consumidores de outras organizações, ainda que estes, no normal funcionamento dos serviços, não tenham acesso a estes dados.

Esta é a desvantagem da *cloud* mais relevante para aqueles que definem a estratégia IT das organizações já que é entendida como a maior barreira à adoção da mesma (Rogers and Atelsek, 2019). Ainda assim, esta perceção de perda de segurança está lentamente a mudar já que os fornecedores destes serviços têm desenvolvido mecanismos de segurança que são superiores aos utilizados nas soluções *on-premises* (Accenture, 2021).

Cumprimento de regulamentos regionais Existem alguns regulamentos regionais que têm impacto nas funcionalidades das plataformas de *cloud computing*. Aquele que é mais relevante para o contexto desta dissertação é o Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD), segundo o qual as organizações devem alojar determinados dados dentro da União Europeia ou num país que a UE entenda que tenha um nível de proteção semelhante (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2016). Assim, este regulamento acrescenta alguma complexidade ao momento de decisão da migração para a *cloud*, especialmente na decisão do fornecedor adequado.

Redução do nível de controlo Como explicado na secção 2.1.3, os modelos de serviço de *cloud computing* implicam sempre uma perda de controlo quando comparados com a abordagem tradicional de equipamento *on-premises*, já que muitas operações são efetuadas pelo fornecedor do serviço. Por um lado, isto retira responsabilidades às organizações e permite que estas se foquem nas operações-chave da sua atividade, poupando ainda ao nível dos recursos humanos necessários para a manutenção. Ainda assim, implica também que os consumidores dependam de organizações externas para assegurar o bom funcionamento dos seus sistemas de comunicação e, no caso de surgir um problema, não têm, por norma, acesso às ferramentas necessárias para o corrigir (Erl et al., 2013).

Aprisionamento tecnológico Opara-Martins et al. (2016) define o aprisionamento tecnológico no contexto da *cloud* como: "situação em que os clientes estão dependentes das implementações tecnológicas de um fornecedor de serviços de *cloud computing* e não são capazes de migrar para um outro fornecedor sem incorrer em custos significativos, restrições legais ou incompatibilidades técnicas". Assim, os utilizadores ficam vulneráveis a qualquer mudança que o fornecedor possa fazer na sua plataforma e a problemas na migração de soluções desenvolvidas no ambiente de um fornecedor que podem não ser compatíveis com a infraestrutura de um outro fornecedor.

2.2 Tomada de decisão multicritério

2.2.1 Introdução à tomada de decisão multicritério

A tomada de decisão é definida em Anderson et al. (2015) como a fase inicial do processo de resolução de problemas que engloba os 5 passos inicias deste. Estes são os passos enumerados na Figura 2.2 e começam com a identificação e definição do problema, seguidos da identificação das alternativas, a determinação dos critérios, a avaliação de cada uma das alternativas e, finalmente, culmina com a escolha de uma destas.

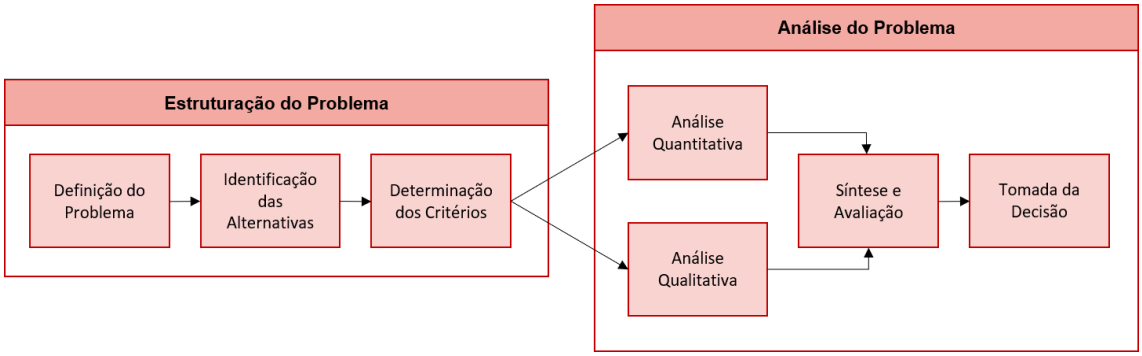


Figura 2.2: Esquema representativo das diferentes fases do processo de tomada de decisão. Traduzido de Suleiman et al. (2011).

Como é também ilustrado na Figura 2.2, a avaliação das alternativas pode ser efetuada com base uma análise quantitativa ou qualitativa. A primeira é baseada sobretudo na experiência e capacidades do responsável pela tomada de decisão (DM - *decision maker*), incluindo alguma subjetividade relacionada com a intuição do mesmo. Já a segunda procura suportar este com metodologias de comparação e avaliação numérica que representam os objetivos, restrições e relações entre variáveis do problema através de equações que são posteriormente aplicadas aos dados do mesmo. A segunda é mais adequada para tomada de decisões complexas, ainda que, tipicamente, ambas sejam utilizadas em sinergia para obtenção de melhores resultados (Anderson et al., 2015).

É sobre o desenvolvimento e aplicação destas metodologias de análise quantitativa que a área de investigação operacional se debruça. Na área de investigação operacional, existe um ramo de estudo específico para decisões que se baseiam em dois ou mais critérios, o de decisão multicritério

ou análise multicritério (MCDM - *multiple criteria decision making*). Isto porque, quando se considera um único critério, a tomada de decisão é bastante intuitiva, já que a solução ótima é aquela que o maximiza, no entanto, em problemas com mais do que um critério, a solução encontrada deve ter em conta todos estes, que podem até ser contraditórios entre si, assim como as preferências do DM (Korhonen et al., 1992; Tzeng and Huang, 2012). Esta revisão de literatura foca-se nestas metodologias já que a seleção de um CSP é um problema com múltiplos critérios.

2.2.2 Classificação das metodologias de MCDM

Considera-se que a primeira metodologia de MCDM foi a de *Goal Programming* (Programação por Objetivos), desenvolvida por Charnes and Cooper (1961). Nas décadas seguintes, e ainda hoje em dia, este ramo académico contou com vários contributos e surgiram diversas metodologias para diferentes necessidades (Korhonen et al., 1992; Tamiz et al., 1998). Nesta secção pretende-se percorrer possíveis classificações destas metodologias, sugeridas na principal literatura, para perceber as suas principais diferenças e possibilidades assim como perceber, em secções seguintes, quais é que são relevantes para o trabalho em estudo.

Segundo Hwang and Yoon (1981) os algoritmos de MCDM podem ser classificados quanto ao seu objetivo em metodologias para tomadas de decisão com múltiplos objetivos (MODM - *multiple objective decision making*) e tomadas de decisão com múltiplos atributos (MADM - *multiple attribute decision making*). A primeira classificação inclui os algoritmos que visam apoiar decisões em que as possíveis alternativas não estão definidas à *priori*, mas são sim desenhadas para cumprir, da melhor forma, um conjunto definido de objetivos respeitando um conjunto definido de restrições sobre as variáveis de decisão. Já a segunda classificação inclui os algoritmos que consideram um número limitado e tipicamente baixo de alternativas predefinidas com um nível de cumprimento de cada um dos critérios. Assim, as metodologias de MODM são mais adequadas a problemas de desenho de uma solução enquanto as MADM são mais adequadas a problemas de seleção de alternativas.

Outra forma de classificar os algoritmos é quanto à certeza dos critérios utilizados no suporte do mesmo, como referido por Korhonen et al. (1992). Quando os critérios têm algum nível de incerteza associado os processos de tomada de decisão são considerados estocásticos ou não determinísticos, já nos casos em que o seu valor é certo e conhecido para cada uma das alternativas trata-se então de uma tomada de decisão determinística.

Finalmente, Hajkowicz and Collins (2007), com base na revisão de metodologias realizada por Figueira et al. (2005) classificou as diferentes metodologias nos seis grupos seguintes:

Metodologias utilitárias e de valor com múltiplos atributos Estas metodologias passam pela criação de uma expressão que represente as preferências do DM, quanto ao valor e utilidade de cada uma das alternativas, através da transformação dos múltiplos critérios para uma escala comum e adimensional. Esta expressão é tipicamente uma soma ponderada, do tipo da

Equação 2.1, ou uma multiplicação ponderada, do tipo da Equação 2.2.

$$u_i = \sum_{j=1}^{m} v_{i,j} w_j \tag{2.1}$$

$$u_i = \prod_{j=1}^{m} v_{i,j} w_j \tag{2.2}$$

São exemplos deste tipo de metodologia a *multi-attribute utility theory* e a *multi-attribute value theory* (de Brito and Evers, 2016).

Comparação em pares As metodologias de comparação em pares baseiam-se numa comparação sistemática de todos os pares únicos. A comparação pode ser efetuada entre cada um dos critérios, ao nível da sua importância, para obter o peso de cada um deles, como também pode ser efetuada entre as diferentes alternativas, ao nível da sua pontuação para cada um dos critérios, obtendo assim, a sua pontuação final. É a este tipo que *analytical hierarchy process* (AHP), assim como uma adaptação deste, a *analytical network process* (ANP) pertencem. Estas são bastante flexíveis e adaptáveis, mas são apenas recomendáveis para problemas com um número baixo de critérios e alternativas, já que o nível de comparações escala rapidamente com o crescimento destes (de Brito and Evers, 2016; Stewart, 1992).

Metodologias de Superioridade As metodologias de superioridade também possibilitam a comparação das diferentes alternativas entre si, mas de forma a determinar o nível a que uma alternativa supera a outra. Assim, realizam-se um total de $n^2 - n$ comparações para definir uma função de utilidade, com ponderação dos critérios, baseada nos níveis de superioridade encontrados. As metodologias *Elimination et choix traduisant la realité* (ELECTRE) e *preference ranking organization method for enrichment of evaluations* (PROMETHEE) são exemplos comummente utilizados desta classificação. Estas têm a vantagem de não alterar os dados originais, na normalização dos critérios, pelo que são especialmente adequadas quando estes não são facilmente agregados (de Brito and Evers, 2016).

Distância aos pontos ideais Nestas, a avaliação das alternativas é dada pela sua comparação a alternativas hipotéticas que representam a solução ideal e a pior solução numa perspetiva dos objetivos do DM, sendo que alternativa preferencial é aquela que apresenta uma menor distância à primeira e uma maior distância à segunda. Esta classificação inclui não só metdologias MADM como a *Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution* (TOPSIS), como também MODM como *Goal Programming*.

Análise com conjuntos difusos Existem também diversas metodologias que recorrem à teoria dos conjuntos difusos na sua aplicação, esta teoria foi proposta por Zadeh (1965) e, quando aplicada, permite que um item pertença parcialmente a mais do que uma classe. Assim, para o contexto de MDCM, permite contabilizar o risco e incerteza de determinados critérios na análise, pelo que é especialmente importante para metodologias estocásticas. Tipicamente,

estes são desenvolvidos sobre outras metodologias já existentes e pertencentes às restantes categorias.

Modelos à medida Existe ainda uma multitude de metodologias que não assentam perfeitamente em nenhuma das classificações mencionadas anteriormente já que aquelas que lhes pertencem são bastante adaptáveis, moldáveis, e modulares, permitindo assim estender e adaptar funcionalidades a um conjunto específico de necessidades.

2.2.3 Metodologias de MCDM

Dado que uma análise exaustiva das diferentes metodologias existentes ultrapassa o âmbito desta dissertação, pretende-se, ao longo desta secção da revisão da literatura, levar a cabo uma análise e explicação do funcionamento daquelas que foram utilizadas, de alguma forma, na metodologia desenvolvida. A utilização de cada uma delas é justificada detalhadamente no capítulo 3.

2.2.3.1 Analytical Hierarchy Process

A metodologia AHP foi desenvolvida por Saaty (1977) e, como mencionado, pertence à categoria de metodologias de comparação par a par. O objetivo deste desenvolvimento era resolver o problema de investigação operacional de obter pesos para diferentes critérios através da sua importância. Desde então, esta metodologia foi aprimorada e implementada em soluções de *software* e é hoje em dia a metodologia mais utilizada, graças à sua simplicidade e flexibilidade. A aplicação desta metodologia, seguindo Saaty (1988); Saaty et al. (2008); Anderson et al. (2015), pode ser descrita em cinco principais passos. Destes cinco, os relevantes para a metodologia desenvolvida são os passos dois, três e quatro pelo que são descritos nesta secção enquanto que o primeiro e o último podem ser consultados no Anexo C.

2. **Construir matrizes de comparação par a par:** Para cada um dos níveis da hierarquia, os diferentes elementos devem ser comparados entre si numa perspetiva do nível superior. Isto é, por exemplo, todos os pares únicos de critérios devem ser comparados entre si quanto à sua importância para o objetivo principal e todas as alternativas devem ser comparadas entre si para cada um dos elementos do nível superior, os diferentes critérios. Estas comparações podem ser feitas segundo uma escala definida pelo utilizador da metodologia, mas, tipicamente, utilizam-se as escalas da Tabela C.1 do Anexo C.

   Com estas classificações é possível construir-se a matriz de comparação, A, segundo a Equação C.1 do Anexo C em que a_{ij} é o valor obtido da comparação de i com j e n é número total de elementos a serem comparados.

3. **Obter os pesos através da matriz:** Da matriz A, construida anteriormente, é possível obter cada um dos pesos ou preferências dos diferentes elementos do nível em análise. Quando a matriz é perfeitamente consistente, o vetor do peso de cada um dos critérios, w, relaciona-se

com a matriz A segundo a Equação C.2 do Anexo C, em que n é a dimensão e o principal autovalor da matriz A. Apesar de esta condição raramente se verificar, para valores baixos de inconsistência (condição verificada no passo 4), a obtenção do vetor w através da Equação mencionada é ainda válida. A demonstração desta validade está fora do foco desta revisão de literatura, mas pode ser consultada em Saaty (1988). De forma a resolver a Equação, na prática, divide-se a cada um dos valores da matriz A pelo total da sua coluna e, com esta nova matriz, chamada de matriz de comparação normalizada, calcula-se a média dos valores de cada linha obtendo assim o peso do critério correspondente a essa linha.

4. **Verificar consistência** Por implicar bastante envolvência do DM no estabelecimento da importância e preferência entre os diferentes elementos de cada nível, é importante, para garantir bons resultados finais, que se verifique a consistência destas escolhas. É natural que as escolhas não sejam perfeitamente consistentes e incluírem um nível baixo de inconsistência. Para avaliar este nível, calcula-se um índice de consistência (CI), começando pelo cálculo de um vetor da soma das colunas da matriz, ponderada pelo peso do critério que lhe corresponde, seguido da divisão do resultado desta soma pelo peso do critério correspondente, como indicado na Equação C.3 do anexo C. A média destes valores equivale ao λ_{max} que é utilizado na Equação C.4 C para calcular o valor de CI.

   O valor obtido para o CI pode ser comparado com o valor médio de CI para um conjunto grande de matrizes de comparação com a mesma dimensão, preenchidas de forma totalmente aleatória. Ainda assim, e como o cálculo deste valor médio é complexo, usa-se normalmente o rácio de consistência CR, obtido segundo a Equação C.5 do Anexo C, na qual o RI corresponde ao nível de consistência aleatória para o tamanho do problema que pode ser consultado na Tabela C.2 do Anexo C, retirada de Saaty (1981). Este rácio é tipicamente comparado com o valor de 0,10, correspondendo assim a um máximo de 10% de inconsistência aceitável. Em casos em que o CI calculado é superior a este limiar, então as escolhas de comparação par a par devem ser repetidas de forma consistente, caso contrário, os pesos obtidos são insignificantes.

2.2.3.2 SMARTER

A metodologia *SMART Exploiting Ranks* (SMARTER) foi proposta por Edwards and Barron (1994) como uma simplificação da metodologia *SMART using Swings* (SMARTS), também ela proposta por estes autores no mesmo artigo, que é uma versão melhorada da metodologia *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART) que tinha também ela sido desenvolvida por um dos autores desse artigo, em Edwards (1977). Estas metodologias são destinadas especificamente à atribuição de pesos a diferentes critérios. Assim, para perceber o funcionamento da SMARTER, é importante começar por perceber o da SMART.

A SMART pode ser classificada como uma metodologia de superioridade já que um dos passos desta metodologia é a ordenação dos diferentes critérios por ordem de importância. Apesar de

Edwards (1977), na sua exposição da metodologia, incluir 9 passos, o nosso foco limita-se à construção de uma lista de critérios ordenados e posterior passagem desta ordem um peso numérico de cada um:

1. O primeiro passo é o de ordenação de critérios, para tal o DM deve ordenar cada um destes desde o menos importante até ao mais importante.

2. Seguidamente, deve seguir a ordem da lista atribuindo um peso numérico a cada um deles. Para isso, começa-se por atribuir um peso de 10 (valor que permite valores posteriores granulares mantendo a utilização de valores inteiros) ao critério menos importante. Seguidamente, deve fazer atribuir um peso a cada um dos restantes critérios, seguindo a ordem crescente de importância, de forma a refletir o quão mais importante um critério é do que o primeiro e os restantes. Ou seja, se se considerar que um critério é 4 vezes mais importante do que o primeiro, então o seu valor deve ser 40. Isto trata-se de um processo iterativo até que todos os pesos reflitam a opinião do DM.

3. Finalmente, os pesos atribuídos no passo anterior devem ser convertidos a pesos normalizados, tal que a sua soma seja 1 ou 100%, dividindo o seu valor pela soma dos valores de todos os critérios.

O contributo de Edwards and Barron (1994) para esta metodologia tinha como objetivo corrigir o erro intelectual que os autores julgam existir na metodologia SMART. Este erro é o facto de esta ignorar por completo a amplitude dos valores de cada um dos critérios e ter apenas em atenção a sua importância. Ainda que este erro não tenha impacto quando as escalas dos critérios são normalizadas, os autores defendem que o erro intelectual continua lá. Por isso, sugerem a utilização da escala no momento de avaliação dos pesos de duas formas possíveis. Uma forma passa pela definição do aumento na utilidade final que deve ser causado quando se dá um aumento do mínimo para o máximo de uma escala de um critério, num cenário em que uma mudança semelhante no critério mais importante causa um aumento de 100 pontos e num critério nada importante causa um aumento de 0 pontos. A segunda forma passa pela definição de quantos pontos é que um critério deve aumentar, na sua escala, para igualar a importância de um aumento do mínimo para o máximo do critério menos importante. Ainda que nenhuma calcule diretamente os pesos finais, permite estabelecer as relações necessários a este cálculo.

Finalmente, a metodologia SMARTER foi construída para simplificar o processo de aplicação da metodologia SMARTS, já que os autores acreditam que as ferramentas mais simples têm maior probabilidade de serem utilizadas. Assim, esta metodologia segue os mesmos passos que as restantes, mas fica-se pela ordenação dos critérios, que é feita de forma ligeiramente diferente à sugerida na metodologia original, ainda que a diferença não seja relevante para este âmbito. Para converter esta ordem de critérios para pesos numéricos e aplicáveis usa uma formula desenvolvida e justificada em Barron and Barrett (1996) de *Rank Order Centroid* (ROC), como está na Equação 2.3, na qual o w_j é o peso do critério j, R_i é a ordem do critério i, e m é o número de critérios.

Segundo os autores, esta fórmula apresenta uma perda de utilidade de menos de 2% quando comparada com a fórmula de obtenção de pesos da SMARTS, seguindo a expressão de Von Winterfeldt and Edwards (1993).

$$w_j = \frac{1}{m} \times \sum_{i=j}^{m} \frac{1}{R_i}, \forall j = 1, \ldots, m \tag{2.3}$$

Posteriormente, Roberts and Goodwin (2002) testou a utilização de pesos calculados com o ROC comparando-a com três outras fórmulas. A primeira é a *Rank Sum Weights* (RS), que passa pela normalização da ordem de cada critério pela divisão da soma de todas as ordens, como na Equação 2.4. A segunda é dada por uma fórmula que divide o inverso do rácio de cada critério pela soma do inverso de todos os critérios, conforme a Equação 2.5. Finalmente, utiliza também uma fórmula de cálculo baseada no pressuposto suportado que os pesos seguem uma distribuição uniforme, e que passa pelo cálculo do valor esperado por integrais, a que chama *Rank Order Distribution* (ROD). Os testes permitiram concluir que a perda de utilidade diminui consideravelmente com a utilização do ROD e do RS (para sensivelmente metade nos testes realizados), com especial destaque para este último dada a sua simplicidade.

$$w_j = 2 \times \frac{n+1-R_j}{n \times (n+1)}, \forall j = 1, \ldots, m \tag{2.4}$$

$$w_j = \frac{\frac{1}{R_j}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{R_i}}, \forall j = 1, \ldots, m \tag{2.5}$$

2.2.3.3 Fronteira de Pareto

A fronteira de Pareto é uma análise para problemas MODM que foi proposta por Stadler (1988), na sua aplicação do conceito de soluções não inferiores, proposta por Pareto (1919), à área de Engenharia (Kim and De Weck, 2005). Esta define um conjunto de soluções ótimas de um determinado problema, que são as soluções não inferiores, ou dominantes, do mesmo. Uma solução é classificada como tal caso não seja dominada por nenhuma outra, o que significa que nenhuma outra solução é parcialmente menor (considerando problemas de MODM em que os objetivos devem ser minimizados) do que esta. Isto pode ser expresso pela equação matemática 2.6, em que $u = (u_1, \ldots, u_p)$ é uma solução que domina $v = (v_1, \ldots, v_p)$ (Van Veldhuizen et al., 1998).

$$\forall i \in (1, ..., p), u_i \leq v_i \wedge \exists i \in (1, ..., p), u_i < v_i \tag{2.6}$$

Esta fronteira permite restringir o número ilimitado de soluções possíveis para uma gama bastante mais pequena, de soluções ótimas. A escolha entre estas soluções deve depois ser feita considerando os *trade-offs* entre os diferentes objetivos. Um exemplo dos pontos que definem uma fronteira de Pareto pode ser encontrado na Figura D.1 do Anexo D.

2.3 Avaliação e seleção de plataformas de *cloud computing*

A definição de metodologias de apoio à seleção de serviços de *cloud computing* é um tema de investigação consideravelmente ativo desde que estas soluções se tornaram o paradigma na área de TI, especialmente durante os primeiros anos. Nesta secção pretende-se analisar alguns dos artigos publicados, ao longo dos anos, sobre este tema. Por ser uma área com bastante interesse académico, não é viável uma análise exaustiva de todas as metodologias pelo que se optou por abordar aquelas com um maior número de citações e que apresentam diferenças consideráveis em relação às outras.

2.3.1 Definição dos critérios

O primeiro desafio na criação de uma metodologia multicritério passa pela definição do problema, que inclui a definição dos diferentes critérios a considerar. Com esse objetivo, Siegel and Perdue formaram o Cloud Services Measurement Initiative Consortium (CSMIC) e em 2012 lançaram o Service Measurement Index, uma metodologia estandardizada de medição dos benefícios e riscos de um serviço *cloud*. Esta é composta por 51 atributos mensuráveis que descrevem 7 características dos serviços: responsabilidade, agilidade, garantias, situação financeira, desempenho, segurança e privacidade e usabilidade. Também em Repschlaeger et al. (2012c) os autores definiram um conjunto de critérios de avaliação de plataformas de *cloud computing*. Estes estão separados em 4 níveis que são: os objetivos que uma determinada organização tem para a migração *cloud*, os requisitos, que correpondem a um nível abstrato que separa os elementos dos restantes níveis em áreas, os critérios de avaliação, assim como um quarto nível de indicadores de desempenho mensuráveis para cada um destes critérios. Estes últimos podem ser específicos ao modelo de serviço (IaaS, PaaS ou SaaS), assim como gerais ao fornecedor do serviço. Estes mesmos autores, em Repschlaeger et al. (2012b) e Repschlaeger et al. (2012a), definiram também estes critérios mas especificamente para SaaS e IaaS, respetivamente. Em ambos, o levantamento de critérios foi efetuado, primeiramente, através da consulta de literatura já existente e, posteriormente, em entrevistas com especialistas.

Ainda que seja uma definição importante para o suporte à decisão, estes artigos têm uma limitação considerável já que apenas definem os aspetos que julgam relevantes para as organizações, mas não elucidam como estas os podem avaliar nem usar numa perspetiva holística de avaliação. Além disso, dada a evolução tecnológica das plataformas de *cloud computing*, alguns critérios considerados já não fazem tanto sentido hoje em dia. Além disto, a separação utilizada por Repschlaeger et al. (2012c) nos 3 modelos de serviço já não é, hoje em dia, adequada, como explicado anteriormente.

2.3.2 Metodologias de seleção

Li et al. (2010) foi a primeira metodologia de comparação de serviços de *cloud computing* disponível na literatura. Esta metodologia propõe uma avaliação separada a cada um dos serviços

que eram comummente disponibilizados nestas. Assim, o autor define critérios de avaliação para serviços de computação elástica, serviços de armazenamento, a rede *intra-cloud* (rede que permite a comunicação dos diferentes componentes da plataforma entre si e com os equipamentos onde são executados) assim como à rede de longa distância que suporta e disponibiliza os serviços ao utilizador final. Esta lista de serviços disponibilizados é, hoje em dia, bastante redutora, já que as plataformas incluem um portefolio bastante maior de serviços que devem ser considerados numa avaliação da plataforma na totalidade. Além disto, as métricas de avaliação propostas são apenas de desempenho ou custo, deixando de fora outros aspetos relevantes. A publicação original deste artigo incluía também os dados utilizados nas avaliações, permitindo assim a sua reutilização adaptada a diferentes necessidades, ainda que, hoje em dia, esses dados já não se encontrem disponíveis.

Recorrendo aos critérios mensuráveis publicados pelo CSMIC, Garg et al. (2013) construiu uma metodologia baseada em AHP para seleção de CSP. Esta publicação inclui detalhe sobre como calcular cada um dos critérios utilizados e baseia-se em dados históricos e testes de desempenho para este cálculo. Uma limitação encontrada é que não detalha como obter estes dados ou como realizar os testes, impedindo assim a utilização e adaptação desta metodologia a necessidades individuais. Além disso, considera apenas as métricas diretamente mensuráveis do CSMIC, ignorando assim algumas características relevantes. Mais recentemente, também Abdel-Basset et al. (2018) recorreu à metodologia AHP para avaliar soluções de *cloud computing* ainda que, neste caso, o âmbito tenha diferido, dado que a avaliação é totalmente baseada na opinião de 5 entrevistados. Estes são especialistas da área de IT, com diferentes cargos, níveis de experiência e origem, e avaliaram os critérios assim como três alternativas segundo as escalas desta metodologia de comparação par a par. Assim, este artigo permite exemplificar um cenário de utilização desta metodologia para soluções *cloud* num contexto específico, mas os seus resultados não são muito flexíveis nem aplicáveis a outros contextos.

Ainda utilizando metodologias multicritério, Rehman et al. (2012) comparou diferentes serviços de IaaS utilizando sete diferentes metodologias, Min-Max, Max-Min, *Goal Programming*, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE e AHP. Este estudo não foi realizado com o intuito principal de criar uma metodologia de avaliação universal, mas sim de avaliar a capacidade destas metodologias de o fazer. Os resultados confirmam esta possibilidade ainda que indiquem que diferentes metodologias levem, por vezes, a resultados diferentes. O autor inclui também a fonte dos dados dos testes de desempenho realizados o que permite aos leitores realizar os mesmos, para obter resultados personalizados. Ainda assim, existem limitações como o foco em IaaS e o facto de considerar um número reduzido de critérios, todos eles focados no desempenho do serviço.

Num outro artigo, Sun et al. (2016), a teoria matemática de conjuntos difusos, referida na secção 2.2.2, é aplicada ao contexto da seleção de serviços de *cloud computing*. Em particular, é utilizada com o AHP e TOPSIS, produzindo assim duas metodologias diferentes. Estas, permitem aos utilizadores encontrar serviços adequados às suas necessidades através de semelhança de linguagem assim como ordenar estes serviços consoante alguns critérios. Deve-se indicar, no entanto, que a lista de critérios usada é pouco exaustiva e desconsidera algumas características

importantes assim como os componentes de segurança. Além disso, por usar a teoria de conjuntos difusos, não é de tão fácil aplicação quanto outras já mencionadas.

Finalmente, existe também um modelo de ordenação de serviços de *cloud computing* que deve ser mencionado por usar uma abordagem ligeiramente diferente às mencionadas até então. Zheng et al. (2013) desenvolveu um modelo que baseia as recomendações de plataformas de *cloud computing* num sistema de filtragem colaborativa. Isto significa que os dois algoritmos desenvolvidos recebem as necessidades de um dado utilizador e, com base nessa informação, procuram outros utilizadores com necessidades semelhantes que avaliaram diferentes plataformas. Com base nessas avaliações, o algoritmo consegue sugerir que serviços são adequados a esse utilizador. Os autores obtiveram resultados mais satisfatórios do que outras metodologias MCDM. A grande limitação da construção e utilização de uma metodologia deste tipo é a necessidade inicial de um grande conjunto de dados que inclua avaliações de plataformas *cloud* assim como o contexto em que estas foram realizadas.

2.3.3 Avaliação de especialistas

Além do desenvolvimento e aplicação de metodologias de seleção e avaliação provenientes do mundo académico, existem também avaliações relevantes feitas por especialistas da área de TI, tipicamente por consultoras desta área. As mais relevantes são as avaliações realizadas pela Gartner e pela Forrester.

2.3.3.1 *Gartner Magic Quadrant*

A avaliação da Gartner, Inc. (2022c) é conhecida como *Gartner Magic Quadrant* e é realizada para diferentes ramos na área de IT, sendo atualizada anualmente ou a cada dois anos. Esta avaliação separa diferentes empresas de um determinado ramo em quatro categorias, líderes, desafiantes, agentes de nicho e visionários, de acordo com uma escala bidimensional de plenitude da visão e capacidade de executar, como ilustrado na Figura E.1 do Anexo E.

A edição relevante para o ramo de *cloud computing* é a *Magic Quadrant for Cloud Infrastructure and Platform Services*. Nesta, as empresas incluídas são avaliadas segundo os critérios e respetivos pesos descritos na Tabela E.1 do Anexo E. O relatório produzido na avaliação inclui uma descrição detalhada das implicações de cada um dos critérios ainda que não sejam disponibilizadas as métricas utilizadas na avaliação.

O relatório final, além da posição da empresa no quadrante de avaliação, inclui também uma descrição das forças e fraquezas de cada uma das delas assim como os critérios de inclusão ou exclusão da análise, que são a sua presença no mercado, o seu crescimento e as capacidades técnicas e empresariais relevantes para os clientes da consultora Bala et al. (2021). Por se tratar do trabalho de uma consultora, este relatório não é disponibilizado de graça, mas sim vendido. Ainda assim, tipicamente, as empresas que são bem classificadas nesta avaliação compram os direitos de publicação e permitem o acesso à mesma de graça através do seu *site*. Ainda assim,

os resultados não são adaptáveis a diferentes necessidades e alguns dos critérios utilizados podem não ser relevantes para todas as organizações.

2.3.3.2 *The Forrester Wave*™

A *The Forrester Wave*™ é descrita pela Forrester como "um guia para aqueles que pretendem adquirir um produto num ramo tecnológico baseado na opinião e análise da Forrester". Esta análise distingue os vendedores de um mercado em líderes, executantes fortes, competidores e desafiantes, numa escala bidimensional da força da estratégia e da oferta atual, como representado na Figura E.2 do Anexo E, sendo que a presença no mercado também é incluída visualmente. A análise depende da região global e, tipicamente, é feita para cada trimestre.

Existem diversas análises no ramo de *cloud computing*, mas a que avalia os fornecedores de uma forma mais holística, é a *The Forrester Wave*™ *for Public Cloud Development and Infrastructure Platforms*. Esta avalia as empresas nas duas dimensões da escala mencionada anteriormente assim como quanto à sua presença no mercado conforme os critérios da Tabela E.2 do anexo E (Bartoletti and Rymer, 2020).

O detalhe de cada um dos critérios, as diferentes métricas utilizadas para os medir, a escala utilizada e o significado de cada um dos valores nesta escala são disponibilizados no relatório, pelo que existe uma maior transparência na avaliação final do que no relatório da Gartner. Este é também disponibilizado numa versão em folha de cálculo que permite ao utilizador mudar os pesos de cada um dos critérios adaptando-o às suas necessidades. Ainda assim, é de assinalar que esta versão em Excel é apenas disponibilizada a clientes da consultora enquanto que o relatório dos resultados é, tal como a *Gartner Magic Quadrant*, tipicamente disponibilizada pelas empresas bem classificadas na mesma. É de notar também que a Forrester não publicou ainda nenhum relatório da área em estudo para a zona Europeia.

2.4 Conclusão da revisão de literatura

Ao longo desta revisão de literatura analisaram-se três diferentes tópicos de investigação, *cloud computing*, tomada de decisão multicritério e, finalmente, uma combinação de ambos, a avaliação e seleção de plataformas de *cloud computing*.

Na primeira parte deste capítulo, dedicada à tecnologia de *cloud computing*, enquadrou-se historicamente esta tecnologia através de uma análise a diferentes definições propostas para a mesma. Procurou-se também definir o seu estado da arte, ao nível da tecnologia que a suporta, dos serviços que inclui, dos modos de disponibilização, assim como das vantagens e desvantagens que a sua adoção traz, cumprindo assim o objetivo principal de perceber o seu funcionamento geral e características que devem ser incluídas na avaliação.

Seguidamente, analisou-se um tópico de investigação muito ativo, as metodologias multicritério de apoio à tomada de decisão. Para isso, começou-se por uma introdução ao tema, para perceber a sua importância e nuances. De seguida, classificaram-se as diferentes metodologias já propostas para perceber as diferentes ideias subjacentes às mesmas. Por último, detalharam-se

duas metodologias quanto ao seu funcionamento e propriedades já que serão utilizadas posteriormente na dissertação.

Com o enquadramento teórico dos dois temas concluídos, analisou-se depois um tema de investigação que combina as duas, a seleção e avaliação de plataformas de *cloud computing*. Nesta analisaram-se alguns artigos com propostas de metodologias para este objetivo, com a finalidade de perceber o estado da arte desta área. O que se concluiu é que existem ainda algumas limitações na maioria das metodologias propostas que podem ser de várias naturezas. Primeiramente, não explicitam como recolher os dados necessários à sua utilização e não são adaptáveis a diferentes necessidades do utilizador, limitando assim, consideravelmente, a sua utilização por outros DMs. Outras metodologias limitam-se a uma área das plataformas de *cloud computing* ou são apenas uma prova de conceito e, como tal, não utilizam uma lista exaustiva de critérios. A metodologia mais completa pertence à consultora de TI Forrester mas, é apenas disponibilizada aos seus clientes e não existe, atualmente, uma versão para a Europa. Assim, esta dissertação pretende construir sobre estas metodologias já existentes de forma a corrigir as limitações encontradas. Para isso, pretende-se conceber uma metodologia seja flexível e facilmente adaptável a diferentes requisitos, que utilize dados de fácil obtenção e que considere as necessidades especiais dos países pertencentes à UE, decorrentes do RGPD.

Capítulo 3

Conceção da metodologia

Esta secção da dissertação é dedicada à documentação do processo de construção da metodologia multicritério de apoio à tomada de decisão. Esta está segmentada e organizada segundo a típica ordem de um processo de tomada de decisão, particularmente da parte inicial de estruturação do problema, como analisado na secção 2.2.1. Assim, começou-se por uma definição do problema, que inclui também a identificação das alternativas, seguida da determinação dos critérios que está separada numa fase de identificação dos âmbitos de avaliação, seguida da descrição detalhada dos critérios mensuráveis utilizados para avaliar cada um destes âmbitos gerais e, finalmente, com a lógica de atribuição de pesos a cada um deles.

3.1 Definição conceptual do problema

A definição de um problema de tomada de decisão deve começar pela identificação clara dos objetivos principais a cumprir. Como tal, definiram-se como objetivos principais o desenvolvimento de uma ferramenta que seja capaz de avaliar holisticamente plataformas de *cloud computing* para um determinado contexto e permita usar essa avaliação num contexto de comparação e consequente seleção. Estes objetivos correspondem a três requisitos da ferramenta que devem ser tidos em conta:

- Avaliar individualmente plataformas de *cloud computing* através de uma pontuação;
- Considerar as diversas características de uma plataforma na avaliação;
- Permitir uma comparação direta entre avaliações de diferentes plataformas;
- Permitir adaptar os resultados obtidos para diferentes necessidades.

Assim, e considerando estes requisitos, optou-se por construir a ferramenta utilizando, como base da mesma, uma metodologia multicritério de apoio à tomada de decisão. Algumas metodologias podem desde logo ser excluídas, qualquer metodologia classificada como MODM não é adequada já que este problema trata de alternativas discretas e finitas. Além disto, podemos excluir as metodologias de comparação em pares e de superioridade, já que não permitem cumprir

o requisito de avaliar individualmente as plataformas. Entre as restantes, optou-se por usar uma metodologia utilitária com múltiplos atributos por estas serem mais facilmente adaptáveis, a sua utilização ser bastante intuitiva e por permitirem uma separação da pontuação da avaliação por âmbito do critério diretamente. Entre estas optou-se por utilizar um modelo de pontuação simples baseado na soma ponderada da pontuação dos diferentes critérios, do tipo da equação 2.1.

Tipicamente, a definição do problema é seguida da identificação das alternativas. Neste caso, a definição de uma lista ampla das diferentes alternativas a serem consideradas não é lógico já que nesta fase estamos ainda a conceber a metodologia. Ainda assim, e dado que as nomenclaturas na área da *cloud* não estão estandardizadas, é importante referir que a metodologia foi concebida para a avaliação de serviços de plataformas e infraestruturas na *cloud* pública, seguindo a nomenclatura da Forrester. São exemplos destes serviços o Amazon Web Services, o Microsoft Azure e a Google Cloud.

Devido à complexidade das plataformas de *cloud computing*, uma avaliação das mesmas que considere todas as suas características mais importantes implica um número considerável de critérios. Assim, para facilitar a organização dos mesmos, e também para possibilitar uma avaliação das plataformas separada em diferentes âmbitos, os critérios foram organizados em dois níveis hierárquicos, os âmbitos e os critérios. Os elementos do primeiro nível representam os diferentes âmbitos da plataforma a serem avaliados na metodologia e servem também para agrupar os elementos do segundo nível quanto ao seu objetivo. A definição de cada um dos elementos do nível do âmbito e do nível dos critérios está documentada nas próximas secções.

3.2 Definição dos âmbitos de avaliação

Como explicado anteriormente, a definição dos critérios da metodologia começou por uma identificação dos âmbitos que se pretendia avaliar nas plataformas de *cloud computing*. Para esta identificação seguiu-se uma metodologia que passou por três fases principais:

- Recolha de âmbitos relevantes;
- Desenho e organização dos âmbitos recolhidos;
- Avaliação e alinhamento dos âmbitos obtidos nas fases anteriores.

3.2.1 Recolha de âmbitos relevantes

A primeira fase envolveu uma pesquisa aprofundada de características que devem ser consideradas nas diferentes plataformas através de uma análise de informação obtida de diversas fontes. Uma destas fontes foi a literatura explorada no Capítulo 2, em específico aquela que aborda a tecnologia que suporta as plataformas de *cloud* e as metodologias de avaliação e comparação já existentes. Além destas, foi também tida em consideração a documentação técnica disponível nos *sites* das diferentes plataformas. Finalmente, a última fonte relevante adveio de documentação

existente de projetos realizados pela PwC em ambiente *cloud*, de forma a perceber os aspetos relevantes das plataformas valorizados aquando da sua escolha. Os âmbitos reunidos após esta fase estão listados na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Âmbitos recolhidos na primeira fase de definição.

Âmbitos Recolhidos
Propósito específico da plataforma
Desempenho
Automatismo da Escalabilidade
Capacidade de Escalabilidade
Segurança
Conformidade
Fiabilidade
Confiança
Custos
Estratégia de tarifação
Gestão dos serviços e da plataforma
Serviços disponibilizados
Resiliência
Facilidade de integração

3.2.2 Desenho e organização dos âmbitos relevantes

Na segunda fase, deu-se uma organização dos âmbitos recolhidos para agrupar aqueles que pertencem a um mesmo domínio para que a lista fosse encurtada apenas para os âmbitos de domínio exclusivo. A junção de diversos âmbitos não implica que alguns deles se perdem, apenas que o âmbito que os agrega deve ter em conta todas essas diferentes vertentes.

O âmbito geral da plataforma, facilidade de integração, serviços disponibilizados e gestão dos serviços e da plataforma foram agregados no âmbito de serviços da plataforma. Este novo âmbito deve avaliar a vastidão do portefólio do CSP, garantindo que a avaliação inclui serviços de integração e gestão dos serviços e plataforma. O âmbito do propósito específico da plataforma pretende valorizar plataformas que sejam mais adequadas para um determinado fim, a forma como isto será avaliado neste novo âmbito será com a valorização da avaliação de determinados serviços através dos pesos usados na ponderação da pontuação final. O principal objetivo deste âmbito é garantir que a plataforma escolhida disponibiliza todos os serviços necessários para o projeto, mas também que cobre futuras necessidades do cliente, já que a migração ou ligação entre plataformas é normalmente difícil, ou até impossível.

Também os âmbitos de segurança e conformidade foram combinados num âmbito chamado segurança e conformidade. O âmbito inicial de segurança foi incluído para avaliar as funcionalidades gerais que garantem a segurança dos dados armazenados e aplicações desenvolvidas na plataforma. A conformidade está relacionada com os certificados que diversas entidades independentes passam aos CSPs quando estes agem conforme as boas práticas de segurança por elas

definidas. Assim, este âmbito avaliará a segurança das plataformas de *cloud computing* tanto ao nível de funcionalidades como de certificações das melhores práticas.

A capacidade de escalabilidade e automatismo da escalabilidade foram combinados num âmbito de elasticidade. Isto seguindo a definição de elasticidade no contexto de *cloud computing* sugerida em Al-Dhuraibi et al. (2018) que é a capacidade de escalar recursos de forma automática e otimizada. Assim, este novo âmbito avaliará os mecanismos de escalabilidade oferecidos na plataforma, tanto a um nível de escalabilidade horizontal quanto a um nível de escalabilidade vertical.

A fiabilidade, confiança e resiliência foram agrupados num âmbito geral de fiabilidade. Nos âmbitos originais, a confiança pretendia avaliar a notoriedade e reconhecimento que o fornecedor da plataforma tem nestes e noutros serviços, isto já que, tipicamente, uma relação com um fornecedor destas plataformas é de longo prazo e, como tal, a confiança depositada no mesmo deve ser alta. A fiabilidade referia-se à percentagem de tempo em que a plataforma está disponível e a funcionar corretamente, tipicamente dada pelos valores de SLA. Já a resiliência pretendia avaliar sobretudo a redundância da plataforma quanto à existência de cópias de segurança e à gestão das mesmas, mas também quanto à sua gestão e saúde financeira. Assim, eles foram agrupados no âmbito de fiabilidade que deverá avaliar estas características.

Os custos e a estratégia de tarifação foram também eles agrupados ficando assim um âmbito mais geral de custos. Com a inclusão da estratégia de tarifação pretende-se avaliar as diferentes estratégias que os diferentes CSPs utilizam, já que umas podem ser mais adequadas para determinados fins. Os custos são uma avaliação direta dos preços dos diferentes serviços da plataforma. Assim, este novo âmbito deve avaliar os preços e como eles são aplicados na plataforma.

Finalmente, o âmbito de desempenho manteve-se sozinho já que não existiam outros que fossem do mesmo domínio. Este avaliará diferentes aspetos de desempenho da plataforma de *cloud computing* recorrendo a testes.

3.2.3 Avaliação e alinhamento dos âmbitos

O objetivo definido para a última fase era de garantir que os âmbitos obtidos após as duas primeiras eram relevantes, necessários e exclusivos. Além disso, deu-se também um alinhamento e uma definição do que é que se pretendia avaliar, em concreto, em cada um deles. Esta definição está já documentada na secção anterior junto da explicação da razão de os âmbitos terem sido agregados. Assim, após este processo de definição dos âmbitos de avaliação, ficou-se com 6 âmbitos diferentes, como enunciado na tabela 3.2, que contém também uma definição simplificada dos objetivos de avaliação de cada um destes âmbitos.

3.3 Definição dos critérios

Com os âmbitos de avaliação definidos, a fase seguinte passou por estabelecer os critérios mensuráveis utilizados para avaliar cada um destes. Neste processo, e definindo os critérios para cada um dos âmbitos de cada vez, seguiu-se um processo de, primeiramente, realizar uma pesquisa

Tabela 3.2: Tabela com os âmbitos de avaliação da metodologia desenvolvida e a sua definição.

Âmbito	Definição dos objetivos da avaliação:
Serviços da Plataforma	- Avaliar o portefolio da plataforma quanto à variedade de serviços disponíveis, permitindo valorizar diferentes tipos de serviços.
Segurança e Conformidade	- Mecanismos de segurança da plataforma e certificados de boas práticas neste tema.
Desempenho	- Desempenho dos serviços da plataforma medido por testes independentes.
Fiabilidade	- Avaliação dos SLAs oferecidos pela plataforma, da gestão e disponibilização de copias de segurança, da confiança no fornecedor e gestão empresarial do mesmo.
Elasticidade	- Capacidade de escalar recursos, verticalmente e horizontalmente assim como os mecanismos de automatização deste processo.
Custos	- Preço de utilização e estratégia de custos dos diferentes serviços da plataforma.

minuciosa acerca do tema no contexto de *cloud*, procurando entender o estado da arte destas tecnologias na área relacionada com o âmbito. Posteriormente, e já com esta informação estabeleceu-se que características é que poderiam ser avaliadas passando-as depois para critérios concretos. Estabeleceu-se também, desde o início, que os diferentes critérios seriam avaliados numa escala entre 0 e 1, sendo que, em alguns dos casos, foi necessário estabelecer uma fórmula de avaliação que normalizasse a pontuação para esta escala. Este processo de definição da fórmula foi realizado como o último passo deste processo de definição. Ao longo desta secção, a descrição deste processo é ordenada segundo a esta metodologia.

3.3.1 Critérios dos serviços da plataforma

Como referido anteriormente, com a avaliação dos serviços da plataforma, pretende-se, sobretudo, avaliar a vastidão da oferta do CSPs, para garantir que este cobre as diferentes necessidades do projeto, mas também que o cliente poderá usar a mesma plataforma em implementações futuras. Assim, as características definidas para avaliar foram a presença ou ausência de cada um dos diferentes tipos de serviços destas plataformas, sendo que, na versão final da matriz, cada um destes serviços pode ser mais ou menos valorizado ou até desconsiderado. A recolha dos serviços foi feita nos *sites* dos fornecedores, procurando usar uma nomenclatura semelhante àquela que é usada pela maioria destes. A lista obtida e a descrição de cada um destes é a seguinte:

Serviços de inteligência artificial Estes serviços disponibilizam ao utilizador capacidades relacionadas com inteligência artificial, tanto ao nível de serviços com modelos pré-treinados, como de ambientes prontos a utilizar para o desenvolvimento de modelos. São exemplos de serviços deste tipo o Azure Databricks ou o IBM Watson.

Serviços de *analytics* Neste critério engloba-se a disponibilização de serviços que permitem a realização das diferentes tarefas de um processo de *analytics*. Assim, a plataforma deve incluir serviços de extração, tratamento e carregamento de dados (ETL - *Extract, Transform, Load*), como o AWS Glue ou o Oracle Cloud Infrastructure Data Integration, mas

também de visualização de dados, como o Power BI ou o Looker ou, então, permitir, de alguma forma, a conexão entre os seus serviços de ETL e serviços de visualização de dados exteriores ao sem ambiente.

Serviços de virtualização do sistema operativo Como explicado anteriormente, a virtualização permite a disponibilização de diversas máquinas virtuais que são executadas num único servidor físico. Neste critério avalia-se então a oferta de serviços de disponibilização de máquinas virtuais, que podem ser genéricas ou desenhadas para uma determinada utilização, aos utilizadores. Consideram-se serviços deste tipo o Azure Data Science Virtual Machines ou o Droplets da DigitalOcean.

Serviços de Containerização Este critério pretende não só avaliar se a plataforma de *cloud computing* disponibiliza instâncias de *containers*, mas também se o permite fazer através da tecnologia Docker, que é o formato de *container* mais utilizado hoje em dia, e orquestrar os mesmos com o software open-source Kubernetes, que também é o *software* padrão deste tipo. A título de exemplo, a AWS permite a disponibilização de *containers* Docker no AWS Docker e a sua orquestração com o EKS.

Serviços de computação *serverless* O modelo de computação *serverless* é relativamente recente, mas a sua adoção nas plataformas de *cloud* tem aumentado nos últimos anos graças à maturidade que a mesma atingiu durante esse período. Assim, este critério avaliará se a plataforma disponibiliza plataformas *serverless* onde os utilizadores podem executar código. O serviço Tencent Serverless Cloud Function é um exemplo disto, assim como o Cloud Functions da Google

Serviços de DevOps DevOps é o nome dado a uma lista de boas práticas de desenvolvimento de software que pretende automatizar o processo de construção de software através da melhoria da comunicação entre aqueles que o desenvolvem e aqueles que o operam. A popularidade destas boas práticas levou ao desenvolvimento de ferramentas que as auxiliam e, para aplicações desenvolvidas num ambiente *cloud*, a sua disponibilização é bastante importante. Para estas necessidades, a Google Cloud disponibiliza o Cloud Build e a AWS o CodeBuild.

Serviços de integração de IoT As plataformas de integração de *Internet of Things* permitem concentrar os dados provenientes de diversos sensores numa única plataforma, permitindo ainda o seu armazenamento e posterior análise. No ambiente Azure, existe o IoT Hub, por exemplo, e no AWS o AWS IoT.

Serviços de data lake Um *Data Lake* é um repositório de dados, tipicamente no seu estado bruto, que permite armazenar dados relacionais, semi-estruturados e não estruturados para posterior utilização, sendo particularmente adequado para o armazenamento de dados utilizados em algoritmos de *Machine Learning*. São exemplos de serviços deste tipo o Azure Data Lake e o Oracle Data Lake.

Bases de dados As bases de dados são o que permitem o armazenamento, organização e acesso a dados na *cloud* para posterior utilização. Nesta avaliação separamo-las por tipo de dados que permitem armazenar, não numa perspetiva de serviços que são exclusivamente dedicados a um determinado tipo de dados, mas sim que os suportam. Assim, desta separação surgiram os seguintes sete tipos de bases de dados:

Bases de dados relacionais Bases de dados mais comuns, em que estes são representados em tabelas relacionadas entre si (ex: AWS RDS e Exoscale Managed PostgreSQL).

Bases de dados em colunas Dados em coluna são dados guardados em colunas ao invés de linhas, como acontece habitualmente nas bases de dados relacionais (ex: Azure Cosmos DB e AWS Keyspaces).

Bases de dados semi-estruturados Estes dados não apresentam a estrutura fixa e constante típica de dados relacionais, mas têm alguma estrutura e hierarquia implícita, que pode variar entre registos (ex: Mongo DB Atlas on Google Cloud e Alibaba ApsaraDB).

Bases de dados de grafos Dados de grafos focam-se em armazenar e permitir uma leitura rápida de relações entre elementos (ex: TencentDB e Oracle Graph Database).

Bases de Dados chave-valor Dados chave-valor é um paradigma de armazenamento de dados em que estes correspondem a objetos, que podem ter diversos campos, e que são guardados e lidos através de uma chave única (ex: Azure Cosmos DB e AWS DynamoDB).

Bases de dados de séries temporais Estas bases de dados são concebidas visando armazenar pares de tempo-valor, ou seja, o valor de uma determinada variável num determinado instante (ex: AWS Timestream e Azure Time Series Insights).

Bases de dados *blockchain* As bases de dados *blockchain* servem para armazenar informação sobre transações na *cloud*, recorrendo à tecnologia de *blockchain*, permitindo também a verificação das mesmas (ex: AWS QLDB).

Serviços de Armazenamento Os serviços de armazenamento na *cloud* estão, tipicamente, subjacentes às bases de dados, mas, por si só, permitem o armazenamento de dados brutos, sem estrutura e menor organização. Estes serviços de armazenamento podem ser separados em três tipos:

Armazenamento em blocos Este tipo de armazenamento separa os dados em blocos e guarda-os onde for conveniente, dependendo do espaço que estes ocupam. Cada um destes blocos tem uma chave permitindo assim um rápido acesso ao mesmo. Tipicamente, estes são os serviços que suportam as bases de dados (ex: Azure Disk Storage e AWS Elastic Block Store).

Armazenamento de ficheiros O armazenamento de ficheiros separa os dados em ficheiros únicos que ficam armazenados numa estrutura hierárquica de pastas, sendo que para

aceder a estes é necessário saber o caminho do mesmo dentro desta estrutura (AWS Elastic File System e Google Cloud Filestore).

Armazenamento de objetos No armazenamento de blocos, um conjunto de dados é armazenado num único repositório identificado por uma chave única que permite acesso aos dados mas também aos seus metadados. Estes serviços são, tipicamente, lentos a escrever e modificar dados pelo que a sua aplicação comum é para fins em que se edita os dados poucas vezes, mas se lê recorrentemente (Azure Blob Storage e Tencent COS).

Cada um destes critérios é classificado numa escala binária em que um valor de 1 corresponde à presença do serviço, com as características descritas em cima, no portefólio do fornecedor da plataforma e o 0 a ausência. A escolha desta lógica de avaliação foi realizada com o intuito de simplificar a avaliação deste âmbito e também de valorizar, ao máximo, plataformas com uma vasta oferta de serviços, devido ao problema de aprisionamento tecnológico anteriormente explicado.

3.3.2 Critérios de segurança e certificações

No âmbito de segurança e certificações definiram-se como características a avaliar, primeiramente, as certificações de segurança já que estas permitem uma avaliação independente de diversas questões abrangidas por este tema, desde físicas, desde a proteção dos *data centers* a aspetos da separação dos dados entre diversos utilizadores. Seguidamente, pretendeu-se também avaliar as funcionalidades de gestão de acessos e identidade (IAM - *identity and access management*). Isto porque, a segurança na *cloud* segue um modelo de responsabilidade partilhada, segundo o qual ambos os CSPs e os utilizadores têm obrigações neste assunto, para evitar acessos indevidos às plataformas. Assim, é importante que a plataforma inclua as características de segurança necessárias, garantidas pelas certificações, mas também que disponibilize funcionalidades para que os utilizadores cumpram as suas responsabilidades da melhor forma. Com isto em mente, estabeleceram-se os seguintes critérios:

ISO 27001 As normas da família ISO 27000 são um conjunto de requisitos complementares para os sistemas de gestão de segurança de informação. Resumidamente, a norma específica 27001 é a relevante desta família já que é a única segundo a qual uma empresa pode ser certificada. O certificado obtido por esta certificação serve para assegurar aos utilizadores que gestão da informação a que o fornecedor do serviço tem acesso é responsável e adequada às necessidades atuais. O processo de certificação é feito por uma entidade independente, creditada pela ISO, que verifica se os requisitos são adotados na empresa a ser auditada. No caso deste critério, foi adotada, novamente, uma escala binária, em que 1 corresponde a um CSP com essa certificação e 0 corresponde a um CSP sem essa certificação.

Cloud CoC da UE Apesar da importância e reconhecimento da norma ISO 27001, esta não é uma norma dedicada a fornecedores *cloud*, pelo que se incluiu também certificações com este fim. A Cloud CoC é um código de conduta da União Europeia que pretende auxiliar

os fornecedores de *cloud* em seguir os requisitos do RGPD certificando também estes que o fazem.

Esta certificação tem três niveis, o primeiro é atribuido a qualquer CSP que tenha implementado os requisitos do CoC e documentado esta implementação, sendo que a verificação é feita por um organismo da UE, com base nestes documentos. Para obter a certificação do segundo nível, a verificação da aplicação dos requisitos é feita também com base em certificações de entidades terceiras ou auditorias. O nível 3 é idêntico ao 2, mas o cumprimento dos requisitos é totalmente suportado por entidades independentes e não apenas baseado em outras certificações. Para este critério foi estabelecido que qualquer CSP sem qualquer nível de cumprimento obtém uma pontuação de 0, com o nível 1 a pontuação é de 0.5, para o nível 2 a pontuação é de 0.85 e, finalmente, para o terceiro e mais alto nível, a pontuação é 1. O valor para cada um dos níveis é baseado na exigência de cada um, já que o primeiro exige que os requisitos sejam implementados, mas só com o segundo nível é o cumprimento baseado em informação de entidades independentes e o terceiro é bastante semelhante ao segundo, mas necessita de um maior envolvimento de destas.

Deve-se referir que existe uma outra certificação para *cloud computing* no contexto europeu, que é homologada pela CISPE. Esta não foi incluída para reduzir ao máximo redundância entre os critérios e, entre as duas certificações, optou-se pela Cloud CoC por esta ter sido desenvolvida por autoridades da UE, convocadas pela Comissão Europeia ao contrário da CISPE que é uma organização de fornecedores destes serviços, pelo que não é uma organização totalmente independente.

Cloud CSA Star A Cloud Security Alliance (CSA) é uma organização sem fins lucrativos cujo principal objetivo é estabelecer boas práticas de segurança para a utilização de soluções de *cloud computing*. A *Security, Trust, Assurance and Risk* (STAR), que é a certificação disponibilizada por esta organização, junta critérios usados na certificação ISO 27001 com critérios específicos ao ambiente *cloud*, provenientes da sua matriz de avaliação da segurança de CSPs. Os resultados destes processos de certificação são disponibilizados publicamente, permitindo assim aos consumidores perceber os pontos fortes e fracos de cada uma das ofertas ao nível de segurança.

Esta certificação é feita em dois níveis, o nível 1 é atribuído com base numa avaliação sustentada por uma autoanálise, na qual o CSP documenta o seu nível de cumprimento dos diferentes requisitos da certificação. O nível 2 corresponde a uma avaliação feita com base em certificações e auditorias efetuadas por entidades independentes, e os seus requisitos dependerão da localização da empresa a ser avaliada. A avaliação neste critério é de 0 se o fornecedor não apresentar nenhuma destas certificações, é de 0.5 se for tiver o nível 1 e é de 1 se tiver o nível 2. A diferença nestes valores é justificada com a exigência acrescida do nível 1 para o nível 2.

Cumprir exigências de localização dos *Data Centers* do RGPD Como explicado anteriormente, o RGPD exige que as empresas por ele abrangidas armazenem os seus dados em localizações cumpridoras das exigências do mesmo. Na prática, isto significa que o CSP deve ter pelo menos um *data center* na UE ou num país de uma lista definida pela UE.

Serviços de criação de funções As funções, numa plataforma de *cloud computing*, permitem limitar o acesso a dados e serviços a determinados utilizadores. Tipicamente, as plataformas oferecem funções padrão e prontas a utilizar, mas algumas permitem também a criação de funções possibilitando assim um controlo mais detalhado.

Autenticação Multifator A autenticação multifator é uma tecnologia que permite o acesso a determinados recursos tecnológicos apenas após duas ou mais provas de identificação. A disponibilização destas funcionalidades num serviço de *cloud* pode ser uma mais-valia para proteger os dados mais importantes e mesmo para impedir acessos indevidos à plataforma.

Autenticação baseada em risco A autenticação baseada em risco é uma metodologia de autenticação que, com base nos dados do utilizador, calcula o risco de uma determinada tentativa de acesso e define as exigências de acesso conforme este cálculo. Este processo permite uma importante automatização do processo de autenticação, conseguindo assim prevenir acessos indevidos.

Encriptação A encriptação nas plataformas de *cloud computing* é extremamente importante para impedir que os dados armazenados possam ser divulgados indevidamente. Nestas plataformas há dois tipos de encriptação relevantes, pelo que se separou este tema em dois critérios:

Encriptação de dados em repouso Este tipo de encriptação é feito sobre os dados que se encontram armazenados nas plataformas. O principal objetivo é impedir o acesso indevido aos dados armazenados em recursos físicos.

Encriptação de dados em trânsito Esta encriptação atua sobre os dados que se encontram numa transação entre dois locais. Nestes casos, a encriptação evitará o acesso aos dados de uma transação se esta for intercetada.

Proteção contra ataques DDOS Os ataques DDOS são dos ciberataques mais comuns e funcionam através de uma enchente de pedidos ilegítimos a um servidor, impedindo assim que este responda aos pedidos legítimos. Assim, uma boa proteção a estes ataques é bastante importante por isso, alguns fornecedores de plataformas de *cloud* disponibilizam sistemas complexos e desenvolvidos de proteção contra estes ataques.

Serviços de Rede Privada Virtual Os serviços de Rede Privada Virtual (VPN) permitem que equipamentos conectados a uma rede pública de *internet* comuniquem entre si de forma encriptada através de um alargamento virtual de uma rede privada. Nas plataformas de *cloud* isto permite que os equipamentos que acedem e consultam dados armazenados nesta o façam de forma encriptada e segura.

Lista de IPs permitidos As funcionalidades de *IP whitelisting* permitem definir uma lista restrita de IPs cujo acesso a determinados recursos ou serviços é permitido, possibilitando assim um controlo de acessos bastante poderoso, que limita consideravelmente a possibilidade de ataques.

Deteção de Invasão Um sistema de deteção de invasão permite registar a atividade numa determinada rede e detetar aquela considerada suspeita alertando os administradores da rede para a mesma ou até impedindo o acesso. Em plataformas de *cloud* isto permite detetar tentativas de acesso anormais, podendo assim impedir acessos indevidos.

Os critérios cujo método de avaliação não foi mencionado serão avaliados com uma escala binária em que o valor 1 corresponde à disponibilização desse serviço ou funcionalidade na plataforma e o valor 0 à ausência deste do portefólio de funcionalidades de segurança do CSP.

3.3.3 Critérios de desempenho

O principal objetivo para o âmbito do desempenho era o de escolher critérios que pudessem ser avaliados pelos utilizadores da metodologia, já que o desempenho dependerá sempre da localização e sistemas deste. Assim, e pressupondo que o DM não tem acesso às plataformas para poder testar o seu desempenho diretamente, através de *scripts* com esse objetivo, optou-se pela procura de uma plataforma que permitisse esses testes sem este acesso.

A única plataforma encontrada com estas características foi a CloudHarmony, a plataforma de uma empresa do mesmo nome que é subsidiaria da Gartner, Inc. Esta disponibiliza análises de desempenho imparciais a diversos fornecedores de *cloud*, além de disponibilizar também uma lista dos serviços que cada um destes disponibiliza e de um registo histórico da sua disponibilidade. Assim, a definição de critérios para este âmbito seguiu um processo um pouco diferente dos restantes já que se optou por escolher, entre as diferentes variáveis de testes disponíveis, aquelas cujos resultados são mais relevantes. Os critérios são os seguintes:

Testes à CDN Uma rede de fornecimento de conteúdo (CDN - *content delivery network*) é um conjunto de servidores, espalhados geograficamente, que armazenam cache de serviços *web* para que estes sejam disponibilizados mais rapidamente aos utilizadores dos mesmos. A utilização de uma CDN tem várias vantagens, tanto ao nível de desempenho como de segurança e permite aos utilizadores de serviços *cloud* acesso e disponibilização de conteúdo com estas vantagens. Os critérios usados para a medição do desempenho do serviço de CDN são de latência e de *download*.

Testes aos serviços de computação A plataforma de medição de desempenho a ser utilizada permite também uma avaliação do desempenho da conexão aos serviços de computação. Estes testes são feitos aos servidores de cada uma das regiões onde o fornecedor disponibiliza serviços deste tipo. Tendo em contas os testes que a plataforma permite efetuar, os critérios utilizados para avaliar são de latência, de *download* e de *upload*.

Testes aos serviços de armazenamento Finalmente, a plataforma permite também a realização de testes aos serviços de armazenamento. Os critérios a considerar são de latência e de *download*. Pretendia-se considerar um teste de *upload* para estes serviços também, mas a plataforma utilizada, à data de escrita deste documento, não dispobiliza este tipo de teste. Ainda assim, o teste de *upload* ao serviço de *computing* permite uma visão da velocidade do *uplink* aos servidores da plataforma.

A metodologia dos testes nesta plataforma é semelhante para cada um dos serviços testados. Os testes de latência são conduzidos através do envio de um pedido de 8 bytes e medição do tempo de receção deste pedido por parte do fornecedor. Já os testes de *download* são realizados através do *download* de ficheiros do serviço a ser avaliado, sendo que o resultado do teste é a medição da velocidade de *download*. Os testes de *upload* são em tudo semelhantes com a exceção de se tratar do envio de um formulário com o método POST e o resultado ser a medição da velocidade de *upload*. Estas operações podem ser feitas através de uma amostra de ficheiros cujo tamanho é entre 1-128KB com 4 conexões simultâneas ou de uma amostra com tamanho entre os 128KB e 10MB com 2 conexões simultâneas. Optou-se por utilizar a segunda por esta apresentar resultados com maior variação entre os fornecedores e também pelos ficheiros apresentarem tamanhos mais diferenciados e, consequentemente, mais representativos. Ainda assim, a aplicação da metodologia pode ser feita considerando os resultados do primeiro teste.

Em cada um dos testes, mais do que uma iteração é feita, no caso dos testes de latência são realizadas 12 iterações e, para os testes de *download* e *upload*, 6 iterações. Os testes disponibilizam um conjunto de estatísticas da variável de resposta, como a média, mediana ou os percentis. O valor a utilizar é da escolha do DM e deverá depender dos resultados.

Para cada um dos critérios é necessário normalizar o resultado para que este, à semelhança dos critérios mencionados até então, se encontre entre 0 e 1. Assim, a metodologia sugerida é a da realização dos testes aos serviços, segundo os diferentes critérios, para os CSPs disponiveis na plataforma e, com esta informação, segue-se uma normalização seguindo a equação 3.1, em que x' é o resultado da avaliação normalizado, x é o valor bruto da mesma e, X_{min} e X_{max} são os valores mínimo e máximo obtidos no teste, respetivamente.

$$x' = \frac{x - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \tag{3.1}$$

Deve-se referir que a plataforma disponibiliza também testes à DNS de cada um dos serviços, mas, após testar esta funcionalidade, optou-se por não a incluir já que os testes relevaram que muitos dos testes aos fornecedores falhavam. Além disto, este serviço não é tipicamente utilizado nos projetos da PwC. Além destes, disponibiliza também testes de *upload* à CDN, mas para apenas um dos dez fornecedores disponíveis.

3.3.4 Critérios de fiabilidade

As características a avaliar nos critérios de fiabilidade são a redundancia dos dados, os SLAs dos serviços assim como a gestão empresarial do fornecedor já que só esta garantirá a resiliência

do serviço a longo prazo. Com isto em mente, os critérios selecionados para avaliação são os seguintes:

Redundância O critério da redundância, nesta metodologia, refere-se à existência de *backups* e à sua localização. Isto porque estes podem ser localmente redundantes, redundantes de zona ou redundantes numa região secundária. Na primeira opção os dados são replicados dentro de um único *data center*, na segunda opção, isto é concretizado em *data centers* diferentes, de zonas diferentes, mas dentro da mesma região, já a terceira opção implica que uma cópia dos dados existe numa outra região, para evitar desastres regionais. É importante referir que estes níveis de resiliência são, tipicamente, crescentes, ou seja, um CSP que disponibiliza o segundo nível referido de redundância, disponibilizará também o primeiro. Assim, a avaliação deste critério foi separada em 4 níveis, em que uma avaliação de 0 é atribuída aos fornecedores sem oferta de qualquer nível de redundância, 0.33 àqueles com ofertas localmente redundantes, 0.66 caso a oferta seja de redundância de zona e, finalmente, 1 se for numa região secundária.

Service Level Agreements Como já foi explicado anteriormente, um SLA é um acordo celebrado entre um fornecedor de um serviço e o seu utilizador e, no contexto de *cloud*, é usado para a fiabilidade do serviço. Assim, consideraram-se cinco critérios de fiabilidade nesta metodologia, cada um deles referente a um tipo de serviços. Estes são o SLA do serviço de armazenamento, dos serviços de computação, das bases de dados relacionais, das bases de dados não relacionais e da CDN.

É importante referir que os valores de SLA dependerão da gama de serviço escolhido, isto é, um mesmo fornecedor poderá garantir uma fiabilidade maior para serviços de uma gama superior e mais caros. Assim, os valores recolhidos para esta avaliação deverão ser representativos da gama de serviço que se pretende adquirir do fornecedor. Também estes valores deverão ser normalizados para se enquadrarem na escala de avaliação até então usada, seguindo a mesma metodologia dos critérios de desempenho. Assim, isto implica que devem ser recolhidos valores de uma amostra representativa de CSPs, para isto, a CloudHarmony disponibiliza também um diretório de serviços com os diferentes serviços que cada um oferece, facilitando o processo.

Confiança na gestão A confiança que um utilizador deposita na gestão empresarial de um fornecedor de serviços *cloud* dependerá da sua capacidade de assegurar a longevidade deste negócio. Para avaliar esta capacidade, consideraram-se os seguintes critérios:

ISO 22301 De forma semelhante ao âmbito de segurança, considerou-se um certificado baseado em normas ISO para avaliar a qualidade de gestão. Esta norma define boas práticas de uma gestão que garante a longevidade do negócio, e preparação para instabilidade e desastres. Considerou-se este aspeto especialmente importante, dadas as circunstâncias sociais e geopolíticas instáveis que marcaram o passado recente e o

presente. Assim, um CSP que seja certificado para esta norma será avaliado com uma pontuação de 1 e, um CSP sem este certificado, com uma pontuação de 0.

Saúde Financeira A forma mais direta de avaliar a gestão empresarial de um ponto de vista de saúde financeira, é através de um indicador financeiro. Optou-se por utilizar o endividamento global (*debt-to-equtiy*), calculado segundo a equação 3.2, por este permitir avaliar o grau de dívida da empresa e em que medida é que as operações atuais são financiadas por capital próprio e por passivo. Para o cálculo deste critério é necessário o acesso ao balanço da empresa o que, em alguns casos, poderá não estar disponível e terá que ser desconsiderado da análise ou substituído por um semelhante. Ainda assim, a maioria dos fornecedores são empresas públicas pelo que os seus balanços são disponibilizados e o cálculo deste indicador é fácil. A fórmula de avaliação usa um limiar tipicamente estabelecido para este indicador financeiro, 2. Desta forma, qualquer CSP com um endividamento global inferior a 2 tem uma pontuação de 1 e, aqueles que com este indicador superior a 2 têm uma pontuação de 0.

$$Endividamento\ Global = \frac{Passivo\ Total}{Capital\ Próprio} \tag{3.2}$$

3.3.5 Critérios de elasticidade

Como mencionado anteriormente, entende-se por elasticidade, no contexto de *cloud*, a combinação de escalabilidade de recursos e da sua automatização eficientemente. Com isto em mente, escolheram-se critérios, primeiramente, para avaliar a possibilidade de escalar recursos e, seguidamente critérios que avaliam as possibilidades de automatização deste processo. Assim, os critérios estabelecidos são os seguintes:

Escalabilidade vertical A escalabilidade vertical funciona através do aumento de recursos alocados a uma determinada máquina virtual, permitindo que esta tenha uma maior capacidade computacional a um determinado nível que pode ser de poder de processamento, armazenamento ou memória. Esta implica que a máquina virtual seja reiniciada pelo que, tipicamente, não pode ser automatizada.

Escalabilidade horizontal A escalabilidade horizontal é aquela obtida através da alocação de mais máquinas virtuais para a realização de uma tarefa computacional. Esta é o tipo de escalabilidade que permite automatização já que não implica que os recursos a serem escalados sejam reiniciados.

Escalabilidade automática de armazenamento A escalabilidade automática de armazenamento permite que, à medida que a quantidade de dados armazenados vai crescendo, os recursos de armazenamento crescem também, ao mesmo ritmo. Desta forma, o utilizador apenas paga pelos recursos que utiliza. Isto aplica-se para contas de armazenamento, como também para bases de dados, já que estas são construídas sobre estas contas.

Escalabilidade automática de máquinas virtuais A escalabilidade automática de VMs foi separada em três critérios diferentes, correspondentes a diferentes funcionalidades que alguns CSPs disponibilizam. Assim, o utilizador desta metodologia pode atribuir um maior peso ao método de automatização que melhor corresponde aos seus interesses:

Automatização baseada em regras A automatização baseada em regras permite definir regras, com base no nível utilização dos recursos, que permitem aumentar ou diminuir os recursos alocados a uma ou várias máquinas virtuais.

Automatização baseada no tempo A automatização baseada no tempo define o nível de recursos alocados a uma ou várias máquinas virtuais com base na hora do dia, permitindo assim planear a capacidade com base nos níveis variáveis de procura ao longo do mesmo.

Escalabilidade automática Finalmente, existem CSPs que permitem também uma escalabilidade de recursos totalmente automática que pode ter em consideração uma previsão da procura com base em dados históricos ou, uma resposta contínua à procura momentânea.

A avaliação destes critérios é efetuada de forma análoga a outros critérios já explicados, numa escala binária em que uma pontuação de 1 corresponde à disponibilização dessa funcionalidade aos utilizadores e uma pontuação de 0 corresponde à ausência da mesma dos serviços do CSP.

3.3.6 Critérios de custos

Como a estratégia de custos de cada um dos CSPs pode diferir entre si, a sua comparação não é totalmente direta e não é possível comparar diretamente o preço de uso da plataforma já que os custos dependem de forma bastante considerável dos serviços utilizados e dos recursos alocados a cada um deles. Assim, o método de comparação de custos escolhido foi o de comparação entre os custos dos serviços que são mais importantes para a arquitetura que a PwC utiliza, tipicamente, em projetos de *Data & Analytics* com recurso a *cloud*. Esta lista pode ser modificada dependendo dos objetivos de implementação da plataforma *cloud* mas a metodologia de avaliação será sempre semelhante. Assim, os critérios a considerar são os seguintes:

Preço de computação O preço dos serviços de computação depende dos recursos da máquina virtual disponibilizada. Como tal, a comparação dos preços passa pela definição de recursos que serão necessários para a solução a desenvolver e, para cada um dos CSPs, procurar a instância de VM que melhor corresponde a esses requisitos. Tipicamente, é necessário definir a RAM, o armazenamento e o número de núcleos de processamento que se pretende que a máquina tenha, sendo que existe um número limitado de combinações. Com esta informação, é possível depois comparar o custo que esse serviço de computação terá em cada uma das plataformas.

Preço de computação serverless Semelhantemente, o preço de computação serverless dependerá das funções a serem executadas nestes serviços. Neste caso é necessário definir um

número estimado de transações, da memória consumida por cada uma destas e o tempo que esta demorará. Por serem de difícil estimação, os *sites* dos CSPs incluem, por norma, valores típicos para estas variáveis, que poderão ser utilizados. Da mesma forma, os custos dos serviços podem depois ser comparados.

Preço de armazenamento O preço em armazenamento é o mais simples dos três já que pode ser comparado em preço por GB.mês, permitindo assim uma comparação direta entre plataformas. Ainda assim, é necessária uma definição do valor máximo que se espera armazenar, já que à medida que a quantidade armazenada aumenta, o preço por GB.mês extra diminui.

De forma semelhante àquela descrita para os critérios de desempenho, estes valores de custos terão que ser normalizados. Assim, isto implica uma recolha exaustiva dos preços de uma amostra considerável de CSPs.

3.4 Modo de cálculo dos pesos

Na construção desta metodologia de avaliação e comparação, os pesos atribuídos a cada um dos âmbitos e dos critérios têm uma importância bastante grande já que é através deles que esta pode ser adaptada a necessidades específicas do DM. Desta forma, esta atribuição dos pesos foi baseada em métodos de cálculo subjetivos, isto é, que se baseiam na opinião e preferência do utilizador da metodologia. Para simplificar o processo de extração da opinião do DM e para diminuir o nível de abstratividade do processo de escolha, optou-se pela separação do cálculo dos pesos em dois momentos: primeiramente, com a atribuição de um peso a cada um dos âmbitos de avaliação e, seguidamente, com a atribuição de um peso para cada um dos critérios, no contexto do seu âmbito.

3.4.1 Cálculo dos pesos dos âmbitos

Para o cálculo do peso atribuído a cada um dos âmbitos de avaliação, optou-se pela utilização da metodologia *Analytical Hierarchy Process*. Esta escolha foi baseada no facto de esta ser bastante flexível e de fácil utilização, produzindo resultados robustos, como já comprovado na literatura, e representativos da opinião do DM. Além disso, o caráter abstrato dos âmbitos selecionados e o seu número reduzido, solidificaram esta escolha por serem adequados a uma comparação par-a-par.

Como tal, o primeiro passo do desenvolvimento de um problema deste tipo é o da definição do objetivo e da hierarquia considerada. Neste caso, o objetivo é o da ordenação dos âmbitos de avaliação, segundo as preferências do DM, quanto à sua importância para a avaliação e o único nível da hierarquia são as alternativas a comparar, que correspondem aos diferentes âmbitos, como esquematizado na Figura 3.1.

O detalhe do cálculo dos pesos é em todo semelhante ao processo descrito na secção 2.2.3.1, pelo que o seu detalhe seria repetitivo. Ainda assim, é importante referir que a escala adotada

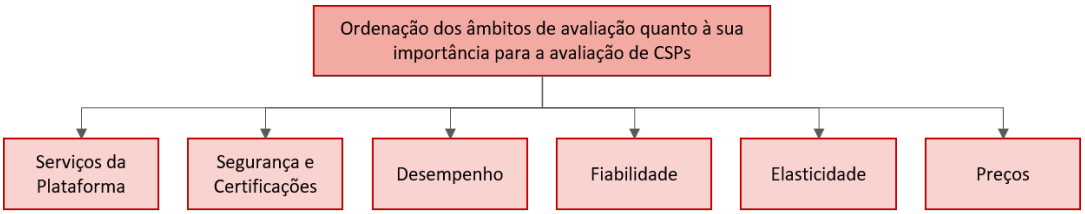


Figura 3.1: Figura da estrutura hierárquica do problema de AHP de atribuição de pesos aos âmbitos de avaliação.

para esta metodologia não foi a sugerida pelo autor da mesma, mas sim uma adaptação desta para simplificar o processo de comparação. Existem duas diferenças principais entre a escala desenvolvida, que está representada na tabela 3.3, e a escala original explicada na secção dedicada ao AHP e que se encontra na Tabela C.1 do Anexo C. Primeiramente, a desenvolvida é simétrica, tal que o critério "à direita"possa ser menos importante do que aquele "à esquerda". Na prática, a única diferença que isto traz é que facilita a listagem de comparações a serem efetuadas, já que esta é fixa e independente das opções do DM. Significa também que o a_{ij} obtido pela comparação pode ser menor que 1, caso o âmbito i seja menos importante do que o j. Além disto, e ainda numa perspetiva de simplificar o processo de escolha, simplificou-se a escala para incluir apenas 3 níveis de maior importância ao invés dos típicos 8 níveis. Isto, obviamente, implica uma menor granularidade nas escolhas de importâncias e torna mais difícil uma escolha totalmente consistente, mas para a quantidade de alternativas em análise, considerou-se que estas desvantagens não superavam os benefícios da simplicidade.

Tabela 3.3: Escala de importância utilizada na definição de pesos dos âmbitos de avaliação.

Julgamento Verbal	Extremamente Menos Importante	Muito Menos Importante	Menos Importante	Igualmente Importantes	Mais Importante	Muito Mais Importante	Extremamente Mais Importante
a_{ij}	1/9	1/6	1/3	1	3	6	9

No Capítulo 4 documenta-se, em detalhe, a aplicação desta metodologia ao cálculo de pesos para os âmbitos.

3.4.2 Cálculo dos pesos dos critérios

O cálculo do peso de cada um dos critérios foi feito com uma versão adaptada da metodologia SMARTER. Dada a natureza subjetiva desta atribuição de pesos, as opções passavam por métodos comparativos ou de superioridade. Ora, mesmo com a separação de critérios por âmbito de avaliação, os métodos comparativos implicariam um número de comparações únicas incomportável, um total de 298. Por esta razão optou-se desde cedo por utilizar uma metodologia de superioridade. Dada a revisão de literatura conduzida a este tema, optou-se por utilizar, como base, a metodologia SMARTER ainda que consideravelmente adaptada.

A primeira e mais importante adaptação feita a esta metodologia foi a da origem da ordem, mais uma vez, com o intuito de simplificar o processo de registo da opinião do DM e de automatizar a sua conversão em pesos numéricos. Assim, ao invés de usar uma ordem dos critérios,

optou-se por atribuir, a cada um deles, um nível de importância e, com base nesse nível, ordená-los. Estes níveis de importância são cinco: bastante importante, muito importante, importância normal, pouco importante e não considerar. Este último atribui, automaticamente, um peso de 0% ao critério excluindo-o da avaliação final. É importante referir que os pesos são calculados pela ordem implícita na atribuição de importância e não pela importância em si, isto é, um critério pouco importante terá um peso igual a um muito importante caso os restantes tenham todos uma importância superior, já que a ordenação será a mesma.

Obtida a ordenação, a passagem a pesos numéricos é feita através da equação de *rank sums*, mencionada anteriormente na equação 2.4. Esta foi escolhida tendo em conta o trabalho desenvolvido por Roberts and Goodwin (2002) que verificou que esta fórmula era aquela que produzia resultados com menor perda de utilidade e com uma grande facilidade de cálculo, para usos da metodologia SMARTER e aplicações de metodologias de superioridade.

Ainda assim, os pesos obtidos por esta fórmula não são finais já que esta considera uma ordenação sem empates de importância, o que não se verifica dado que a ordem foi estabelecida com base em julgamentos subjetivos de importância. Desta forma, quando mais do que um critério tem um julgamento igual, o seu peso deve também ser igual. Isto é obtido através do cálculo da média dos pesos dos critérios de uma determinada importância. Ou seja, os critérios são ordenados conforme a sua importância e em casos de empate na importância, a ordem avança para o lugar seguinte e o peso provisório daquele critério é calculado com base nesta ordem. Ainda assim, calculados todos os pesos, o peso atribuído a um critério é a média do peso provisório dos critérios com o mesmo nível de importância. Este cálculo corresponde à equação 3.3 na qual w_j é o peso do critério j, w'_i o peso provisório do critério i, que é calculado com o *rank sum*, K o número de critérios cuja importância é igual à do critério j e, I_i e I_j o nível de importância dos critérios i e j, respetivamente.

$$w_j = \frac{1}{K} \times \sum_{i=1}^{K} w'_i, \forall i, j : I_i = I_j \tag{3.3}$$

3.5 Conclusão da conceção da metodologia

Feita a escolha dos âmbitos de avaliação, a definição e explicação dos critérios de avaliação e da forma como os medir e, finalmente, a descrição da metodologia de cálculo dos pesos para cada um dos elementos de ambos os níveis hierárquicos da escolha, conclui-se a conceção da metodologia multicritério de avaliação e seleção de plataformas de *cloud computing*. Os diferentes elementos da metodologia estão esquematizados na Figura F.1 do Anexo F.

Capítulo 4

Aplicação da metodologia

Como explicado na introdução desta dissertação, o trabalho de conceção da metodologia multicritério de apoio à decisão descrita na secção anterior insere-se no contexto de um projeto de consultoria da área de *Data & Analytics*. Assim, nesta secção do documento, documenta-se o seguinte passo de aplicação da mesma ao contexto deste, começando por um enquadramento do projeto, com uma descrição do seu âmbito e da empresa cliente do mesmo, seguida de uma detalhada descrição do processo de recolha de dados, posteriormente, definiram-se os pesos dos âmbitos de avaliação e dos critérios e, finalmente, descreveram-se os resultados finais.

4.1 Enquadramento do projeto

O projeto de consultoria em que esta dissertação está inserida é um projeto de *reporting analytics*. Neste tipo de projetos dá-se a construção de soluções de visualização de dados que permitem ao cliente uma análise dos mesmos de forma a melhor entender o funcionamento das suas operações. Para isto, é necessário previamente um processo de ETL que extraia os dados das diversas fontes relevantes, que os transforme, para que estes incluam toda a informação importante e estejam num formato que o *software* de visualização de dados reconheça e, finalmente, que os carregue nesta solução.

A empresa cliente deste projeto é uma empresa de assessoria financeira e gestão de ativos com principal foco no tecido empresarial dos países da África Austral. A atividade de assessoria financeira foca-se na estruturação financeira e gestão de risco empresarial. A atividade de gestão de ativos foca-se no desenvolvimento, estruturação e gestão de fundos de investimentos especializados em determinadas áreas de negócios. A empresa está sediada em Genebra, mas encontra-se também presente em escritórios locais de forma a aumentar a proximidade com a geografia em que opera. O projeto foca-se na área de gestão de ativos com a criação de *dashboards* para os diferentes fundos especializados e para os departamentos da empresa relacionados com esta área.

Assim, a aplicação da metodologia neste contexto trata-se da avaliação, comparação e posterior seleção de uma plataforma de *cloud computing* para um projeto de *reporting analytics*, para uma empresa cliente com as características mencionadas anteriormente.

Tendo em conta o enquadramento do projeto, podemos desde logo enumerar algumas das necessidades que terão de ser consideradas na aplicação da metodologia. A primeira, e talvez mais importante, é quanto à localização dos dados. Apesar de a sede da empresa na Suíça, que não pertence à UE, a empresa trata de dados pessoais de cidadãos da UE e tem sucursais na mesma, pelo que a solução a ser desenvolvida é abrangida pelas restrições do RGPD. Como tal, a região escolhida para a plataforma de *cloud* terá que ser dentro da UE ou num país com um nível semelhante de proteção. Também por motivos de proximidade aos *data centers*, optou-se pela utilização de regiões na Europa que cumprissem este requisito.

Outras necessidades provêm da arquitetura de dados desenhada na fase de desenho do projeto, com os requisitos levantados na fase anterior, de avaliação. Esta arquitetura, que está esquematizada na Figura G.1 do Anexo G, é uma peça importante da aplicação da metodologia ao contexto do projeto, já que permite antecipar as necessidades em termos de serviços do projeto.

4.2 Identificação das alternativas

Definido o problema, e seguindo a ordem tipicamente utilizada em metodologias multicritério, segue-se a identificação de alternativas. Como foi explicado no Capítulo 3, a metodologia foi construída para avaliar serviços de plataformas e infraestrutura na *cloud* pública. O único cuidado a ter nesta fase é que, na sua construção atual, a metodologia apenas é capaz de avaliar CSPs cujo desempenho possa ser avaliado na plataforma CloudHarmony e cujos dados financeiros sejam disponibilizados publicamente. Esta construção não é muito limitadora, já que estes requisitos correspondem a cerca de 80% da quota do mercado de *cloud computing*, segundo os dados de Synergy Research Group (2022).

No caso deste projeto a análise foi limitada desde o início a dois CSPs, a Amazon, com o Amazon Web Services (AWS) e a Microsoft, com o Microsoft Azure (Azure). Este limite de âmbito foi imposto pelo cliente, que pretendia que o projeto fosse realizado numa destas plataformas. Estes são os dois fornecedores com a maior quota de mercado, tanto a nível mundial como a nível europeu (Synergy Research Group, 2022).

4.3 Recolha dos dados

Com as alternativas estabelecidas o próximo passo é o de recolher os dados que permitem a avaliação destas em cada um dos critérios. As fontes destes dados são diversas, e o processo requer algum trabalho de pesquisa e de tratamento de dados. De forma a estruturar este processo da melhor forma, a recolha foi dividida nos diferentes âmbitos pelo que a documentação deste processo seguirá a mesma metodologia.

4.3.1 Dados dos serviços da plataforma

Os dados necessários para o preenchimento da metodologia quanto aos serviços da plataforma são bastante diretos e claros, já que a informação necessária para o seu preenchimento é apenas se

um determinado serviço é disponibilizado na plataforma ou não. As fontes para estes são quase sempre a documentação técnica da plataforma ou o *site* comercial da mesma. A principal atenção que é importante ter é que alguns serviços podem ser disponibilizados em algumas regiões da plataforma, mas não estar presentes na região em estudo.

No caso deste projeto, dada a restrição geográfica já identificada, recolheu-se a disponibilização dos diferentes serviços para a área da Europa, e em particular verificou-se a disponibilização em pelo menos uma região pertencente à UE. Os dados para cada um dos critérios e para as duas alternativas foram recolhidos e verificou-se que ambas têm todos os serviços mencionados exceto um. No caso do Azure, esta plataforma não tem bases de dados de *blockchain*, apesar de ainda incluir esta tecnologia em outros tipos de serviços, após ter sido descontinuada em 2021 e de ter oferecido um plano de migração para um serviço semelhante. Já na plataforma AWS, não existe um serviço independente de *data lake*, existindo, ainda assim, uma arquitetura que pode ser adotada que permite as mesmas funções, mas com uma maior complexidade. Todos os dados recolhidos, exemplos de serviços e respetivas fontes estão enumerados na tabela H.1 do anexo H.

4.3.2 Dados de segurança e certificações

Seguindo a ordem de enumeração dos âmbitos de avaliação, os dados de segurança e certificações foram seguidamente recolhidos. Esta recolha deve ser feita tanto no *site* e documentação técnica da plataforma de *cloud computing* quanto nos *sites* das entidades que homologam as certificações consideradas. A atenção à localização deve ser mantida ainda que as diferentes regiões são mais homogéneas em termos de funcionalidades de segurança do que de serviços disponibilizados.

Recolhidos os dados, verificou-se que também neste campo não existem grandes diferenças entre os dois fornecedores de *cloud* com a exceção de um dos critérios considerados. Este critério é aquele que avalia o cumprimento da certificação Cloud CoC da UE, isto porque, enquanto o Azure tem o segundo dos três níveis desta certificação, o AWS não é de todo certificado por ela. Deve-se referir, ainda assim, que os serviços da Amazon são certificados pela certificação da CISPE pelo que o seu cumprimento dos requisitos do RGPD não deve ser totalmente questionado, mas pelos motivos explicados no Capítulo 3, esta certificação não foi incluída na avaliação. Também para este âmbito, todos os dados recolhidos e respetivas fontes podem ser consultados na Tabela H.2 do Anexo H.

4.3.3 Dados de desempenho

A recolha de dados de desempenho é aquela que requer um maior trabalho do DM, já que implica algum tratamento dos dados de desempenho recolhidos, assim como uma análise cuidada dos resultados. A metodologia seguida para esta fase passou, inicialmente, por executar os testes na plataforma CloudHarmony para todos os fornecedores disponibilizados na plataforma, mas apenas para as suas regiões europeias. Esta execução foi feita na rede da empresa cliente, através da utilização de um ambiente remoto, para que os resultados replicassem da melhor forma a

experiência dos utilizadores da solução. Corridos os testes, estes eram analisados visando detetar valores anormalmente negativos, para que, caso fossem detetados, se voltasse a correr o teste para esse valor em específico com o intuito de determinar se o valor era representativo da realidade ou se poderia ser explicado com problemas de rede ou questões semelhantes. Caso, no novo teste, o valor se mantivesse na mesma gama, o valor da primeira observação era mantido e, caso contrário, seria substituído. Um exemplo de um valor anormalmente grande é aquele do fornecedor CloudFlare no teste de latência de pedidos ao CDN, claro na Figura I.1 do Anexo I.

Seguindo esta metodologia, os testes foram realizados e os dados recolhidos e tratados de forma a criar tabelas com a sua informação organizada e gráficos de diagramas de caixa que permitem perceber a dispersão dos valores. Nestes resultados destacam-se alguns casos de testes falhados, como o teste de *download* do SwiftServe CDN, que, mesmo após duas tentativas, nunca funcionou corretamente. Dado que este fornecedor não é incluído na avaliação final, os seus dados foram descartados e a avaliação continuou. Quanto a valores anormalmente grandes, destaca-se o valor anteriormente referido do teste de latência do CDN do fornecedor CloudFlare mas também o valor de latência do serviço de armazenamento do fornecedor CenturyLink. Em ambos os casos, mesmo após se repetir o teste, os valores mantiveram-se semelhantes. Os resultados podem ser consultados no anexo I.

De forma a utilizar estes dados no processo de avaliação foram necessárias algumas operações, não só para normalizar os dados como também para selecionar aqueles que são mais adequados. Primeiramente, os testes com valores anormalmente negativos foram desconsiderados da análise já que, caso fossem mantidos, a granularidade do processo de normalização seria perdida e os restantes fornecedores teriam uma pontuação muito próxima de 1. Posto isto, optou-se também por também realizar a avaliação com base na mediana dos testes dado que existem registos com uma grande dispersão de valores e *outliers* e, assim, o seu impacto é minimizado. Além disto, nos casos em que um fornecedor disponibiliza serviços de computação ou armazenamento em mais do que uma região dentro da UE, o valor considerado na avaliação foi o melhor destes, já que as plataformas permitem a escolha de região.

Nas Figuras I.8, I.9, I.10 e I.11 do Anexo I, podemos comparar os melhores valores das duas alternativas para cada um dos critérios dos testes aos três serviços, nas regiões pertencentes à UE. Assim, e tendo em consideração a gama dos valores recolhidos, verificamos que na maioria dos critérios não existe uma diferença muito grande entre os dois fornecedores, com a exceção do valor de *download* de conteúdo dos serviços de computação, em que o Azure tem um valor substancialmente maior. No geral, o Azure tem valores mais positivos, ainda que a diferença não seja muito grande entre os dois serviços. As pontuações brutas e normalizadas para todos os critérios podem ser consultadas na Tabela H.3 do Anexo H.

4.3.4 Dados de fiabilidade

Os dados de fiabilidade incluem critérios que são de fácil obtenção e outros que necessitam de uma recolha e tratamento de dados adicionais. As fontes destes dados são variadas, os diferentes SLAs necessários de recolher podem ser obtidos na plataforma CloudHarmony como também

nos *sites* dos CSPs. Já a certificação, os tipos de redundância e também os dados financeiros necessários ao cálculo do rácio de envidivamento global podem ser obtidos nos *sites* dos CSPs e nas suas documentações técnicas, sendo que o último estará normalmente no *site* da empresa e não no da plataforma *cloud*.

Quanto aos SLAs, os dados foram recolhidos para as ofertas *standard* dos serviços já que o plano estabelecido passava pela utilização destas, estes dados encontram-se na Tabela H.4 do Anexo H. Nestes, verifica-se que apenas no SLA de computação é que há diferenças entre as duas plataformas, sendo esta bastante ligeira também. Verifica-se também que não existe uma grande diferença entre os valores dos SLAs para os diferentes fornecedores, pelo que os valores de avaliação destes critérios variam bastante com pequenas mudanças no SLA. Nos restantes critérios, existe apenas diferença na saúde financeira já que o rácio de endividamento global da Amazon era de 2.07 no último balanço disponibilizado (1Q 2022). Apesar de este valor ser apenas ligeiramente superior ao limiar definido, para manter a objetividade do critério, a sua avaliação foi considerada 0. Os dados completos, tanto brutos quanto normalizados, assim como as suas fontes podem ser consultados na Tabela H.5 do Anexo H.

4.3.5 Dados da elasticidade

Os critérios de elasticidade são todos avaliados numa escala binária pelo que não existe uma necessidade de qualquer tratamento ou normalização de dados. Assim, é apenas necessária a sua recolha e aplicação na metodologia. As fontes para estes dados são, maioritariamente, a documentação técnica das plataformas já que é esta que explica o funcionamento da escalabilidade dos diferentes serviços e de que forma é que esta pode ser automatizada.

Recolhidos os dados, que podem ser consultados integralmente na Tabela H.6 do Anexo H, verificou-se que o AWS tem uma ligeira vantagem sobre o Azure já que permite uma escalabilidade totalmente automática das máquinas virtuais, sendo esta a única diferença nos critérios de elasticidade considerados.

4.3.6 Dados dos custos

Semelhantemente aos SLAs e aos dados de desempenho, a recolha dos dados dos custos carecem de algum trabalho de pesquisa e posterior tratamento e normalização. Esta recolha, também à imagem dos dados mencionados anteriormente, abrange não só os CSPs a serem avaliados como também outros, de forma a definir os valores máximos e mínimos para cada um dos critérios. Esta recolha envolve alguma complexidade, pelo que se optou por a dividir nos três serviços cujos preços são avaliados, sendo também esta a metodologia seguida na documentação deste processo.

Os preços dos serviços de computação dependem da máquina virtual a ser utilizada e são pagos mensalmente. Cada uma das máquinas virtuais tem uma determinada memória, armazenamento e número de núcleos assim como um sistema operativo. De forma a comparar os preços foi escolhida uma máquina virtual cujas características fossem de propósito geral e com recursos considerados *standard* e de nível médio de um dos fornecedores e o preço dos restantes era obtido pela seleção

de máquinas virtuais com características semelhantes à escolhida inicialmente. A máquina escolhida foi a B4ms, do Azure, que tem 4 núcleos, 16 GB de memória e 32 GB de armazenamento. As restantes máquinas consideradas para cada um dos fornecedores assim como os seus preços estão listadas na Tabela J.1 do Anexo J. Alguns dos fornecedores apresentam os preços apenas em dólares, para a sua comparação estes preços foram convertidos para euros utilizando a taxa praticada pela Microsoft para que a comparação fosse justa. Para este serviço verifica-se que o AWS pratica preços consideravelmente mais baixos do que o Azure para as mesmas características, ainda que existam fornecedores com preços ainda mais baixos.

Os serviços de computação *serverless* são pagos por execução e pela memória consumida durante estas execuções. A comparação direta destes valores não é representativa da estratégia de tarifação já que os fornecedores incluem, tipicamente, uma quantidade de oferta para cada um destes componentes. Assim, é necessário definir o número de execuções mensais, a duração de cada uma delas e a memória consumida neste processo. Na avaliação em curso, estes valores foram definidos atendendo aos valores típicos das soluções já existentes desenvolvidas pela PwC em plataformas semelhantes. Assim, e de forma a arredondar estes valores, consideraram-se 5,000,000 de execuções, 512 MB de memória consumida e um tempo de execução de 1s. Para estas características, e como está representado na tabela J.2 do Anexo J, os preços dos dois fornecedores a serem avaliados são praticamente semelhantes entre si.

Finalmente, a última vertente da avaliação dos custos é a do preço dos serviços de armazenamento. Estes são contabilizados mensalmente por cada GB consumido. Ainda assim, este preço unitário depende do total consumido, já que à medida que este valor aumenta, o preço unitário decresce. Assim, e novamente atendendo a soluções desenvolvidas no passado, o total máximo de armazenamento consumido foi considerado em 50 TB o que, tipicamente, cobre facilmente os dados armazenados na *cloud* que alimentam as soluções de visualização. Os valores de cada um dos fornecedores podem ser consultados na Tabela J.3 do Anexo J. Para este serviço, há uma vantagem para o Azure, de cerca de 5 centimos por GB.mes, que é ainda relevante na gama de valores de todos os fornecedores.

Para os valores recolhidos, as pontuações obtidas para os dois fornecedores a serem avaliados podem ser consultadas na Tabela H.7 do Anexo H.

4.4 Definição dos pesos

Com os dados recolhidos, o último passo da aplicação desta metodologia é o de definição dos pesos dos âmbitos e critérios. Este processo ditará a avaliação de cada um dos CSPs e, consequentemente, o resultado do processo de comparação. Como tal, uma definição justificada e ponderada destes pesos é imperativa para que a metodologia cumpra o seu objetivo de selecionar a plataforma que melhor responde às necessidades do DM. A metodologia seguida para este projeto é de uma comparação e atribuição de importância, por comparação par a par, dos diferentes âmbitos, seguida da atribuição de importância, individual, a cada um dos critérios, no contexto do seu âmbito.

No caso dos projetos da PwC, esta definição de pesos é feita com base nos requisitos do cliente e do projeto em si.

4.4.1 Pesos dos âmbitos

A importância de cada um dos âmbitos, dado o seu cariz mais abstrato e geral, foi sendo levantado com a definição de requisitos do projeto, mas também em sessões de discussão junto do cliente, de forma a entender o que é que este procurava na plataforma de *cloud computing* a adotar. Com esta informação, definiu-se uma ordem de importância dos âmbitos, que foi depois utilizada nas comparações par a par, de forma a obter o peso de cada um deles.

O âmbito de avaliação mais importante foram os serviços da plataforma, devido aos problemas já identificados de aprisionamento tecnológico e às vantagens que se obtém com um portefólio vasto. Seguidamente, a segurança e certificações e o preço foram colocados num nível de importância semelhante. A primeira devido aos dados gerados e utilizados na atividade da empresa, que incluem dados pessoais e financeiros de entidades particulares e privadas cuja confidencialidade é obrigatória para a segurança destas. Os preços, devido a uma continua preocupação que a empresa mostrou com a redução dos custos nas áreas de TI. Num terceiro nível ficou a fiabilidade, visto que o objetivo da solução final produzida pelo projeto é de ser uma ferramenta diária de trabalho e, como tal, a sua disponibilidade deve ser alta, mas não tem a mesma importância que os âmbitos já mencionados. Finalmente, a elasticidade e desempenho foram considerados os âmbitos com menos importância, mas num nível semelhante, dada a simplicidade do projeto.

Este conjunto de importâncias traduz-se, utilizando a escala concebida para esta metodologia, nas comparações descritas na Figura K.1 do Anexo K que, por sua vez, corresponde à matriz de comparação par a par da Tabela K.1 do Anexo K. Com estes elementos, e seguindo os passos enunciados na secção 2.2.3.1, obtêm-se os pesos da Tabela 4.1. Estas avaliações, ainda que não sejam perfeitamente consistentes, têm um rácio de consistência de 0.018 o que significa que existe apenas 1.8% da inconsistência de uma escolha aleatória. Dado que este valor é consideravelmente inferior ao limiar de 10% definido, pode-se concluir que os pesos refletem a opinião do DM.

Tabela 4.1: Tabela dos resultados do teste de *D*

Âmbito de Avaliação	Índice	Peso
Serviços da Plataforma	1	44.97%
Segurança e Certificações	2	20.21%
Desempenho	3	3.71%
Fiabilidade	4	8.52%
Elasticidade	5	3.71%
Preços	6	18.88%

4.4.2 Pesos dos critérios

A importância dos critérios, por serem mais específicos e tangíveis, foram avaliados, primeiramente, de forma a responderem às necessidades do projeto e, numa segunda perspetiva, tendo

também em conta as necessidades da empresa como um todo, o seu paradigma e maturidade na área de TI e a sua área de atuação. Nas tabelas do anexo L estão descritos, para os critérios de cada um dos âmbitos, os níveis de importância atribuídos e os pesos que destes resultam. A explicação destes níveis, para cada um dos seis âmbitos, segue-se ao longo desta sub-secção:

4.4.2.1 Serviços da plataforma

Para este âmbito, consideram-se bastante importantes todos os serviços incluídos na arquitetura da Figura G.1 do Anexo G e que não podem ser substituídos por outros tipos de serviços sem que, com essa substituição, se percam funcionalidades importantes (ex: serviços de *analytics*). O segundo nível de importância foi atribuído a todos os serviços pertencentes à arquitetura que podem ser substituídos de alguma forma, ainda que essa substituição envolva algum nivel acrescido de complexidade (ex: serviços de *Data Lake*). No terceiro nível de importância, que corresponde a uma importância normal, foram colocados todos os serviços que são tipicamente utilizados em soluções em *cloud* e que se adequam ao contexto da empresa (ex: serviços de inteligência artificial). Os serviços que são utilizados com menor frequência nestas plataformas e não se adequam totalmente ao contexto da empresa foram considerados como "Pouco Importantes"(ex: bases de dados em colunas). Finalmente, foram desconsiderados aqueles que não se adequam de todo à empresa, as bases de dados de *blockchain*, que não se adequam para o nível de maturidade de TI da mesma, e os serviços de IoT e bases de dados de grafos, que não se adequam às operações da empresa.

4.4.2.2 Segurança e certificações

No âmbito de segurança e certificações, a atribuição de importâncias seguiu uma metodologia mais simples. Nesta, destacaram-se os critérios relacionados com o cumprimento do RGPD, dada a importância que as regras da UE têm para o contexto da empresa assim como as funcionalidades de rede privada virtual, já que a arquitetura idealizada e anteriormente mencionada contempla a utilização destes serviços de segurança. Assim, o nível do certificado Cloud CoC, a existência de um *Data Center* numa localização que cumpra o RGPD e, finalmente, a disponibilização de uma rede privada virtual, foram colocados num nível de bastante importância e os restantes num nível de importância normal.

4.4.2.3 Desempenho

Os critérios do âmbito de desempenho foram ordenados quanto à sua importância da seguinte forma. Os dois critérios relacionados com a rede de fornecimento de conteúdo foram considerados como muito importantes devido à dispersão geográfica das operações da empresa que implicam que esta rede seja estável. O desempenho de *download* foi considerado, para o armazenamento e a computação, como pouco importantes, já que o desenvolvimento da solução planeada não prevê uma necessidade de exigência muito grande para estas variáveis. O *upload* dos serviços de computação foi considerado como bastante importante já que a solutação de *reporting analytics* a

desenvolver passará por um frequente carregamento de dados novos. Os restantes critérios foram considerados como tendo uma importância normal.

4.4.2.4 Fiabilidade

A redundância, critério pertencente ao âmbito da fiabilidade, foi considerada como bastante importante dada a importância dos dados utilizados na solução, mas também pela garantia que uma classificação alta neste critério implica uma disponibilidade geograficamente dispersa dos dados. Os SLAs dos serviços que serão utilizados na solução foram considerados como bastante importantes e, os restantes, assim como a certificação e a saúde financeira, foram classificados com um nível normal de importância.

4.4.2.5 Elasticidade

Como a elasticidade engloba, maioritariamente, critérios de escalabilidade de computação, estes foram todos considerados com uma importância normal, já que este tipo de computação não será utilizado na solução. Ainda assim, destacou-se o critério referente à escalabilidade de armazenamento, com um nível de importância bastante alto já que a solução dependerá desta escalabilidade para responder ao nível crescente de dados.

4.4.2.6 Custos

Para a atribuição da importância dos critérios de custos, e de forma análoga ao desempenho, serviços e elasticidade, destacaram-se os preços de serviços a serem utilizados durante o desenvolvimento da solução e que, como tal, representarão um maior nível de custos para a empresa. Assim, os preços de computação *serverless* e de armazenamento foram considerados como bastante importantes e o de computação com um nível normal de importância.

4.5 Resultado da avaliação

Estando os dados recolhidos, as importâncias de âmbitos e critérios atribuídas e os seus pesos calculados, podemos assim proceder à avaliação de cada uma das alternativas e, com base nessa avaliação, a escolha de uma delas. Esta avaliação, como explicado no Capítulo da conceção da metodologia, é obtida através de uma soma das avaliações, ponderada pelo seu peso na avaliação total.

A matriz obtida, que inclui cada uma das avaliações, no seu estado bruto, normalizado e, posteriormente ponderado pelos pesos, para as duas alternativas pode ser consultada na Tabela M.1 do Anexo M. Nesta está também implícito o resultado final desta aplicação da metodologia, que é uma avaliação de 84.74% para o Azure e de 78.30% para o AWS, ditando assim a escolha do primeiro CSP para o contexto desta aplicação.

4.6 Fronteira de Pareto

Apesar de este se tratar de um problema MADM, podemos considerar uma vertente multiobjetivo se considerarmos os dois objetivos de maximizar a utilidade, avaliada pelos cinco primeiros âmbitos de avaliação, enquanto se maximiza a avaliação do custo. Desta perspetiva, podemos efetuar uma análise de fronteira de Pareto que permite restringir o conjunto de plataformas ótimas. Neste caso, visto que só se estão a avaliar duas plataformas, a análise limita-se a identificar a dominada e a dominante.

Esta análise pode ser feita com base na Figura 4.1, em que verificamos que o resultado da plataforma Azure maximiza a avaliação de utilidade e de custos em relação à AWS, pelo que esta é a dominante. Como tal, não se ganharia nada, nem ao nível de utilidade, nem de redução de preços, com a escolha da plataforma do AWS, pelo que a escolha do Azure também se justifica seguindo esta análise.

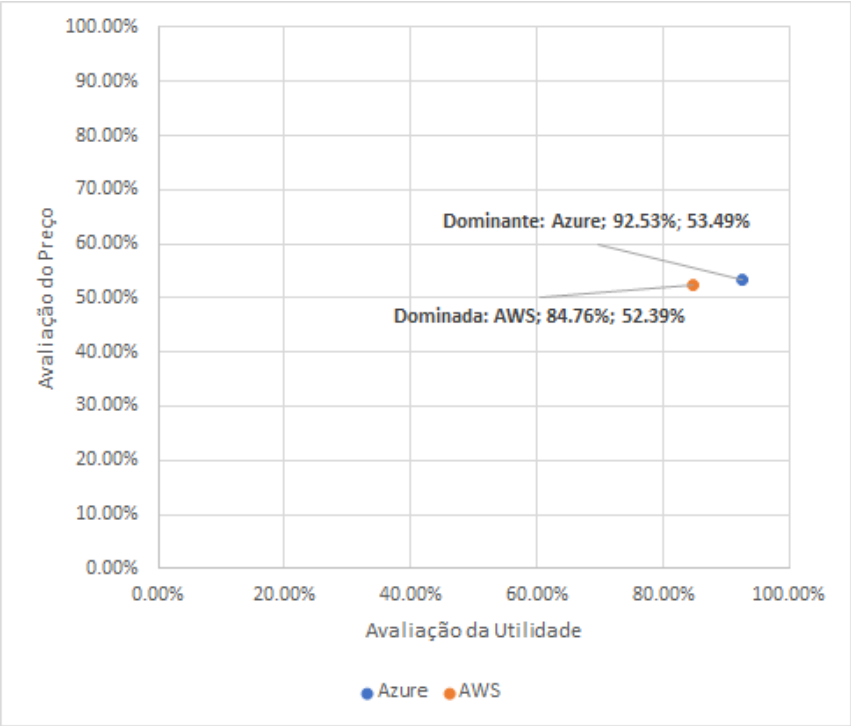


Figura 4.1: Análise de Fronteira de Pareto às plataformas AWS e Azure para o contexto do projeto.

Capítulo 5

Conclusão

Esta dissertação foi elaborada no contexto de um projeto de *reporting analytics* com recurso a serviços de *cloud*. Em particular, o documento debruça-se sobre uma fase inicial do mesmo em que se desenvolveu uma ferramenta de avaliação e comparação de plataformas que providenciam estes serviços, que, apesar de esta inserida no projeto, foi construída de forma a ser adaptável a diferentes contextos e necessidades, de forma a que possa vir a ser utilizada noutros projetos. Assim, os objetivos estabelecidos para a mesma eram de permitir uma avaliação holística da plataforma, ser adaptável a contextos específicos e permitir comparação entre plataformas. A necessidade deste desenvolvimento assenta não só na natureza do mercado de *cloud computing*, por este ser heterogéneo, com níveis altos de aprisionamento tecnológico e pouco estandardizado, como também no crescimento da procura deste tipo de projetos na PwC.

O desenvolvimento desta metodologia começou com uma análise ao estado da arte das tecnologias de *cloud computing*, das metodologias multicritério relevantes e das metodologias já existentes de avaliação de plataformas deste tipo. Nesta última análise verificou-se que as metodologias propostas na literatura apresentam todas elas algum tipo de limitação, como, por exemplo o método de obtenção de dados ou a desaquação dos critérios utilizados. Ainda assim, estas metodologias serviram como base daquela que foi desenvolvida, mas visando cobrir estas limitações. Neste processo de conceção decidiu-se que a avaliação dos critérios seria feita numa escala de 0 a 1 e a avaliação final seria dada por uma soma ponderada destas avaliações. Definiram-se também 6 âmbitos segundo os quais as plataformas serão avaliadas: Serviços da Plataforma, Segurança e Certificações, Desempenho, Fiabilidade, Elasticidade e Custos. Com estes âmbitos, estabeleceu-se uma lista de características a avaliar para cada um deles e, posteriormente, os critérios capazes de mensurar estas características. A ponderação de cada uma das avaliações é feita a dois níveis, num nível superior, com uma quantificação da importância de cada um dos âmbitos e, num nível inferior, com esta quantificação para os critérios. A primeira é feita através de uma comparação par a par, seguindo a metodologia AHP, dada a natureza mais abstrata e englobadora dos âmbitos. Já a segunda é realizada com a identificação de níveis de importância para cada um dos critérios e posterior cálculo usando uma adaptação da metodologia SMARTER, com pesos *rank sums* ponderados à média de um determinado nível de importância.

A adequação da metodologia foi testada com a sua aplicação ao contexto do projeto em que está inserida. Assim, começou-se com uma definição clara dos requisitos e necessidades da empresa, tendo em conta o contexto específico do projeto mas também um contexto mais geral, de posterior utilização da plataforma. Seguidamente, recolheram-se todos os dados necessários à avaliação de duas plataformas, o Azure e o AWS. Este processo foi detalhadamente documentado de forma a facilitar a futura utilização da metodologia e de forma a compreender a implicação que cada uma das avaliações tem na utilização da plataforma. Posteriormente, determinaram-se os dois níveis de pesos, tendo em conta os requisitos levantados anteriormente. Estes definiram como prioridade os serviços da plataforma, seguidos da segurança e certificações e dos custos num nível igual de importância, a fiabilidade e, finalmente, num nível mais baixo, a elasticidade e o desempenho. Os critérios também foram avaliados, sendo alguns desconsiderados. Estes dados resultaram numa avaliação de 84.74% para o Azure e 78.30% para o AWS, pelo que se optou por utilizar o primeiro nos posteriores desenvolvimentos do projeto.

Esta instanciação da metodologia permitiu testar a mesma quanto ao cumprimento dos objetivos estabelecidos, tendo se obtidos resultados bastante positivos. A metodologia desenvolvida é capaz de avaliar uma determinada plataforma por si só, mas esta avaliação pode ser utilizada para comparar plataformas entre si. Além disso, com a ponderação dos âmbitos e critérios é capaz de se adaptar a diferentes contextos e necessidades. Finalmente, as limitações identificadas às metodologias já existentes foram endereçadas. Assim, esta metodologia poderá ser utilizada em futuros projetos de *data analytics* da PwC que envolvam serviços de *cloud* de forma a suportar e tornar mais eficiente o processo complexo de seleção de um fornecedor.

Ainda assim, existem trabalhos futuros que poderão solidificar esta metodologia. Nomeadamente, poderão ser feitas algumas alterações à forma de avaliação dos critérios individuais utilizados, de forma a traduzirem com maior detalhe a realidade da oferta do CSP. Por exemplo, para os Serviços da Plataforma, poderão ser incluídos alguns níveis que representam, de alguma forma, a qualidade do serviço disponibilizado, sem isso acrescentar subjetividade. Adicionalmente, desenvolver testes ao desempenho que sejam independentes da plataforma CloudHarmony levará à possibilidade de inclusão de um maior número de critérios deste âmbito que a plataforma não disponibiliza atualmente. Existem também análises que complementam os resultados obtidos, nomeadamente, uma análise mais exaustiva às diferentes plataformas de *cloud computing* permitiria também uma análise de Fronteira de Pareto mais desenvolvida, que não se limitasse a uma identificação de uma plataforma dominada e dominante, mas que incluísse também o desenho desta fronteira assim como uma representação dos *trade-offs* entre o preço e a utilidade das mesmas. Ademais, fará também sentido a incorporação de uma análise de sensibilidades que permita concluir de que forma é que a alternativa escolhida difere com a variação dos pesos obtidos.

Bibliografia

Abdel-Basset, M., Mohamed, M., and Chang, V. (2018). Nmcda: A framework for evaluating cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, 86:12–29.

Accenture (2021). Enterprise cloud computing unlocks deep strategic value through increased business agility: High adopters reap more benefits. Technical report, Accenture.

Al-Dhuraibi, Y., Paraiso, F., Djarallah, N., and Merle, P. (2018). Elasticity in cloud computing: State of the art and research challenges. *IEEE Transactions on Services Computing*, 11(2):430–447.

Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., and Cochran, J. (2015). *An Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making*. Cengage Learning.

Bala, R., Gill, B., Smith, D., Wright, D., and Ji, K. (2021). Magic quadrant for cloud infrastructure and platform services.

Baldini, I., Castro, P., Chang, K., Cheng, P., Fink, S., Ishakian, V., Mitchell, N., Muthusamy, V., Rabbah, R., Slominski, A., and Suter, P. (2017). *Serverless Computing: Current Trends and Open Problems*. Springer Singapore.

Barron, F. H. and Barrett, B. E. (1996). Decision quality using ranked attribute weights. *Management science*, 42(11):1515–1523.

Bartoletti, D. and Rymer, J. (2020). The forrester wave™: Public cloud development and infrastructure platforms, north america, q1 2020. Technical report, Forrester.

Buyya, R., Broberg, J., and Gościński, A. (2011). *Cloud computing : principles and paradigms*. Wiley.

Campbell, S. and Jeronimo, M. (2006). An introduction to virtualization. *Published in "Applied Virtualization", Intel*, pages 1–15.

Charnes, A. and Cooper, W. W. (1961). Management models and industrial applications of linear programming. *Management science*, 4(1):38–91.

Chen, J. (2020). Azure fundamental: Iaas, paas, saas. https://medium.com/chenjd-xyz/azure-fundamental-iaas-paas-saas-973e0c406de7. Acedido a 30/05/2022.

Den Haan, J. (2013). The cloud landscape described, categorized, and compared - by johan den haan. http://www.theenterprisearchitect.eu/blog/2013/10/12/the-cloud-landscape-described-categorized-and-compare. Acedido a 02/06/2022.

de Brito, M. M. and Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4):1019–1033.

Edwards, W. (1977). How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 7(5):326–340.

Edwards, W. and Barron, F. H. (1994). Smarts and smarter: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational behavior and human decision processes*, 60(3):306–325.

Erl, T., Puttini, R., and Mahmood, Z. (2013). *Cloud computing: concepts, technology, & architecture*. Pearson, Upper Saddle River, NJ.

Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M. (2005). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. *International series in operations research & management science*.

Forrester (2022). Forrester glossary. https://www.forrester.com/staticassets/glossary.html. Acedido a 30/04/2022.

Forrester (2022). The forrester wave methodology. https://www.forrester.com/policies/forrester-wave-methodology/. Acedido a 1/6/2022.

Garfinkel, S. (2011). The cloud imperative | mit technology review. https://www.technologyreview.com/2011/10/03/190237/the-cloud-imperative/. Acedido a 24/04/2022.

Garg, S. K., Versteeg, S., and Buyya, R. (2011). Smicloud: A framework for comparing and ranking cloud services. *Proceedings - 2011 4th IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing, UCC 2011*, pages 210–218.

Garg, S. K., Versteeg, S., and Buyya, R. (2013). A framework for ranking of cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, 29(4):1012–1023. Special Section: Utility and Cloud Computing.

Gartner, Inc. (2022a). Definition of Cloud Computing - IT Glossary | Gartner. https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/cloud-computing. Acedido a 30/04/2022.

Gartner, Inc. (2022b). Gartner forecasts worldwide public cloud end-user spending to reach nearly $500 billion in 2022. https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-04-19-gartner-forecasts-worldwide-public-cloud-end-user-spending-to-reach-nearly-500-billion-in-2022. Acedido a 25/04/2022.

Gartner, Inc. (2022c). Magic quadrant research methodology. https://www.gartner.com/en/research/methodologies/magic-quadrants-research. Acedido a 10/06/2022.

Geelan, J. et al. (2009). Twenty-one experts define cloud computing. *Cloud Computing Journal*, 4:1–5.

Ghosh, B. and Narain, K. (2021). What ceos need to know about the cloud in 2021. *Harvard Business Review*.

Haas, H. and Brown, A. (2004). Web services glossary. https://www.w3.org/TR/ws-gloss/. Acedido 04/06/2022.

Hajkowicz, S. and Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water resources management*, 21(9):1553–1566.

Hwang, C.-L. and Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications a state-of-the-art survey*. Springer Berlin Heidelberg.

Kim, I. Y. and De Weck, O. L. (2005). Adaptive weighted-sum method for bi-objective optimization: Pareto front generation. *Structural and multidisciplinary optimization*, 29(2):149–158.

Korhonen, P., Moskowitz, H., and Wallenius, J. (1992). Multiple criteria decision support-a review. *European Journal of Operational Research*, 63(3):361–375.

Krebs, R., Momm, C., and Kounev, S. (2012). Architectural concerns in multi-tenant saas applications. In *CLOSER 2012 - Proceedings of the 2nd International Conference on Cloud Computing and Services Science*.

Li, A., Yang, X., Kandula, S., and Zhang, M. (2010). Cloudcmp: comparing public cloud providers. In *Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 1–14.

Little, G. (2022). Idc marketscape: Worldwide cloud professional services 2022 vendor assessment. Technical report, IDC.

Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., and Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing - the business perspective. *Decision Support Systems*, 51:176–189.

Martorelli, B., Herbert, L., Nelson, L., Dietz, D., and Dostie, P. (2022). Understanding the cloud service provider ecosystem. Technical report, Forrester.

Miyachi, C. (2018). What is "cloud"? it is time to update the nist definition? *IEEE Cloud Computing*, 5(3):6–11.

National Institute of Standards and Technology (2011). The nist definition of cloud computing. Technical Report Special Publication 800-145, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.

Opara-Martins, J., Sahandi, R., and Tian, F. (2016). Critical analysis of vendor lock-in and its impact on cloud computing migration: a business perspective. *Journal of Cloud Computing*, 5:4.

Pahl, C. (2015). Containerization and the paas cloud. *IEEE Cloud Computing*, 2(3):24–31.

Pareto, V. (1919). *Manuale di economia politica: con una introduzione alla scienza sociale*, volume 13. Società editrice libraria.

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia (2016). Regulamento (UE) 2016/679, *Jornal Oficial da União Europeia*.

Rehman, Z. u., Hussain, O. K., and Hussain, F. K. (2012). Iaas cloud selection using mcdm methods. In *2012 IEEE Ninth International Conference on e-Business Engineering*, pages 246–251.

Repschlaeger, J., Wind, S., Zarnekow, R., and Turowski, K. (2012a). A reference guide to cloud computing dimensions: Infrastructure as a service classification framework. In *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 2178–2188.

Repschlaeger, J., Wind, S., Zarnekow, R., and Turowski, K. (2012b). Selection criteria for software as a service: an explorative analysis of provider requirements. In *AMCIS 2012 Proceedings*.

Repschlaeger, J., Zarnekow, R., Wind, S., and Klaus, T. (2012c). Cloud requirement framework: Requirements and evaluation criteria to adopt cloud solutions. In *AMCIS 2012 Proceedings*.

Roberts, R. and Goodwin, P. (2002). Weight approximations in multi-attribute decision models. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(6):291–303.

Rogers, O. and Atelsek, J. (2019). Having your cake and eating it too: Bringing the public cloud experience to the on-premises datacenter. Technical report, 451 Research.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3):234–281.

Saaty, T. L. (1981). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (1988). What is the analytic hierarchy process? In Mitra, G., Greenberg, H. J., Lootsma, F. A., Rijkaert, M. J., and Zimmermann, H. J., editors, *Mathematical Models for Decision Support*, pages 109–121, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.

Saaty, T. L. et al. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1):83–98.

Siegel, J. and Perdue, J. (2012). Cloud services measures for global use: the service measurement index (smi). In *2012 Annual SRII global conference*, pages 411–415. IEEE.

Sotomayor, B., Montero, R. S., Llorente, I. M., and Foster, I. (2009). Virtual infrastructure management in private and hybrid clouds. *IEEE Internet Computing*, 13:14–22.

Stadler, W. (1988). *Multicriteria Optimization in Engineering and in the Sciences*, volume 37. Springer Science & Business Media.

Stewart, T. (1992). A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice. *Omega*, 20(5-6):569 – 586.

Suleiman, B., Sakr, S., Jeffery, R., and Liu, A. (2011). On understanding the economics and elasticity challenges of deploying business applications on public cloud infrastructure. *Journal of Internet Services and Applications*, 3.

Sun, L., Ma, J., Zhang, Y., Dong, H., and Hussain, F. K. (2016). Cloud-fuser: Fuzzy ontology and mcdm based cloud service selection. *Future Generation Computer Systems*, 57:42–55.

Synergy Research Group (2022). As quarterly cloud spending jumps to over $50b, microsoft looms larger in amazon's rear mirror: Synergy research group. https://www.srgresearch.com/articles/as-quarterly-cloud-spending-jumps-to-over-50b-microsoft-looms-larger-in-amazons-rear-mirror. Acedido a 08/06/2022.

Tamiz, M., Jones, D., and Romero, C. (1998). Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of operational research*, 111(3):569–581.

Tzeng, G.-H. and Huang, J.-J. (2012). *Multiple attribute decision making: Methods and appliations*. CRC Press.

Van Veldhuizen, D. A., Lamont, G. B., et al. (1998). Evolutionary computation and convergence to a pareto front. In *Late breaking papers at the genetic programming 1998 conference*, pages 221–228. Citeseer.

Vaquero, L. M., Rodero-Merino, L., Caceres, J., and Lindner, M. (2008). A break in the clouds. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39:50–55.

Von Winterfeldt, D. and Edwards, W. (1993). *Decision analysis and behavioral research*. Cambridge, MA (USA) Cambridge Univ. Press.

Watson, P., Lord, P., Gibson, F., Periorellis, P., and Pitsilis, G. (2008). Cloud computing for e-science with carmen. In *Proceedings of the 2nd Iberian Grid Infrastructure Conference Proceedings, Porto, Portugal*, pages 3–14. Citeseer.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3):338–353.

Zhang, Q., Cheng, L., and Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1:7–18.

Zheng, Z., Wu, X., Zhang, Y., Lyu, M. R., and Wang, J. (2013). Qos ranking prediction for cloud services. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 24(6):1213–1222.

Anexo A

Organizações de modelos de serviço de *cloud computing*

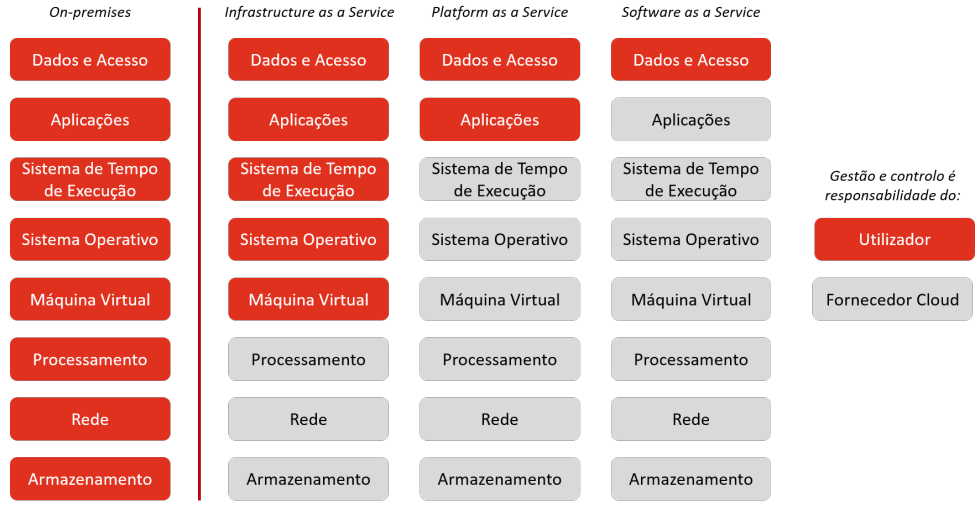


Figura A.1: Distribuição do controlo para os diferentes modelos de serviço. Traduzido e adaptado de Chen (2020).

Tabela A.1: Tabela traduzida dos modelos de disponibilização de *cloud computing* como sugerido por Miyachi (2018).

6	SaaS		Aplicações		Utilizador Final
5	Serviços de Aplicações	Aplicações na *cloud*	Aplicações de comunicação e redes sociais	*Data as a Service*	Qualquer Utilizador
4	PaaS Desenvolvido	*Business as a Process*	Social Media PaaS	*Data Analytics*	Programadores *Rapid*
3.5		Computação *Serverless*			Programadores Speed
3			PaaS		Programadores
2	PaaS Base	*Containers Aplicacionais*	Encaminhamento, Mensagens, Orquestração	Armazenamento de Objetos	DevOps
1	Definidos por *Software*	Máquinas Virtuais	Redes Definidas por *Software*	Armazenamento Definido por *Software*	Engenheiros de Infraestruturas
0	*Hardware*	*Servicers*	*Switchers, Routers*	*Hardware* de Armazenamento	
		Computação	**Comunicação**	**Armazenamento**	

Anexo B

Vantagens e desvantagens das plataformas de *cloud computing*

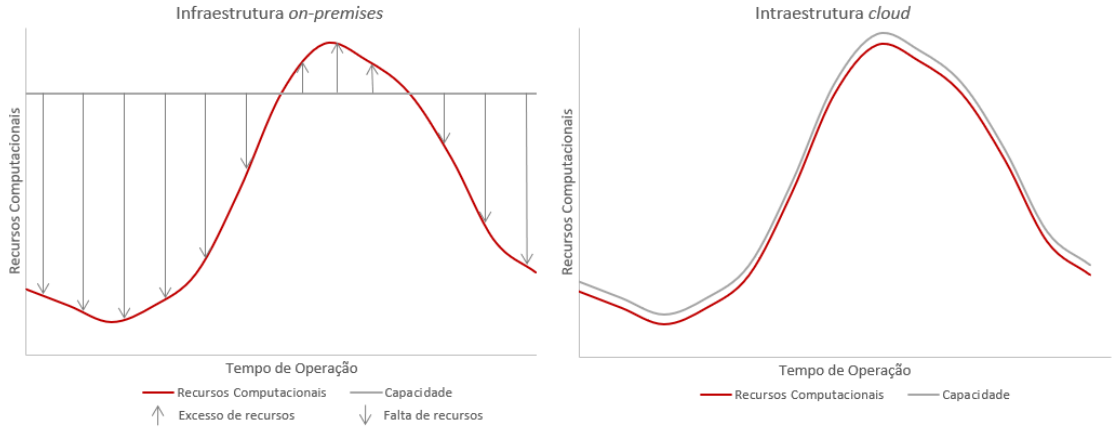


Figura B.1: Ilustração da elasticidade das plataformas *cloud* em comparação com as infraestruturas *on-premises*. Traduzido e adaptado de Suleiman et al. (2011).

Anexo C

Recursos e equações da metodologia AHP

Passos da aplicação da metodologia não descritos na revisão da literatura:

1. **Definição do problema e do conhecimento pretendido:** O primeiro passo desta metodologia deve passar pela definição do problema assim como daquilo que se pretende obter com aplicação desta metodologia. Para isso deve-se desenvolver uma hierarquia com o objetivo principal do problema, os critérios a serem utilizados e as alternativas a serem avaliadas. Isto é normalmente concebido numa forma gráfica, como representado na Figura C.1 do Anexo C.

5. **Continuar com as comparações no nível seguinte:** Em casos em que existe mais do que um nível, as comparações devem posteriormente ser efetuadas para os níveis mais a baixo, seguindo os passos mencionados anteriormente. Quando se obtém todos os pesos e preferências calculados pode-se proceder ao cálculo final de avaliação, que corresponde à preferência de cada um dos níveis mais baixos para o objetivo do nível mais a cima. Esta é obtida através da soma da preferência do elemento ponderada ao peso do nível a que essa preferência corresponde. Isto é, e seguindo o exemplo mencionado no primeiro passo, cada uma das alternativas será avaliada com a soma das suas preferências em cada um dos critérios, ponderada com o peso que esse critério tem no objetivo final.

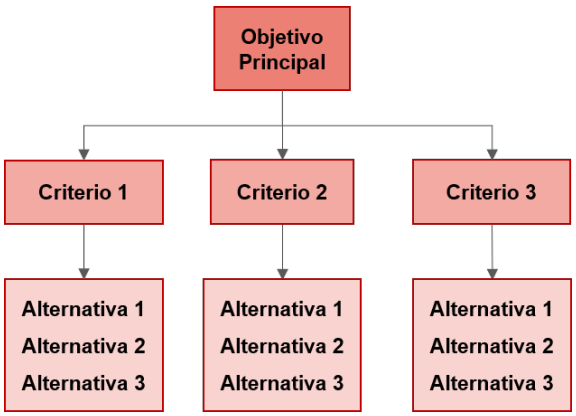


Figura C.1: Esquema de um problema típico de AHP.

Tabela C.1: Tabela da escala de importância e utilidade para o AHP. Traduzido de Anderson et al. (2015).

Classificação Numérica	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Julgamento Verbal	Extremamente mais		Muito fortemente mais		Fortemente mais		Moderadamente mais		Igualmente
Importância / Utilidade	Importante / Preferível								

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{anj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \forall i, j = 1, \dots, n \tag{C.1}$$

$$Aw = nw, w = \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \tag{C.2}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \cdot w_1 \\ \vdots \\ \lambda_i \cdot w_i \\ \vdots \\ \lambda_n \cdot w_n \end{bmatrix} = w_1 \times \begin{bmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{1j} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{bmatrix} + \dots + w_j \times \begin{bmatrix} a_{1j} \\ \vdots \\ a_{jj} \\ \vdots \\ a_{nj} \end{bmatrix} + \dots + w_n \times \begin{bmatrix} a_{1n} \\ \vdots \\ a_{jn} \\ \vdots \\ a_{nn} \end{bmatrix} \tag{C.3}$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}, \lambda_{max} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j}{n} \tag{C.4}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{C.5}$$

Tabela C.2: Tabela de níveis de consistência aleatória para diferentes n's. Calculado por Saaty (1981).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Anexo D

Fronteira de Pareto

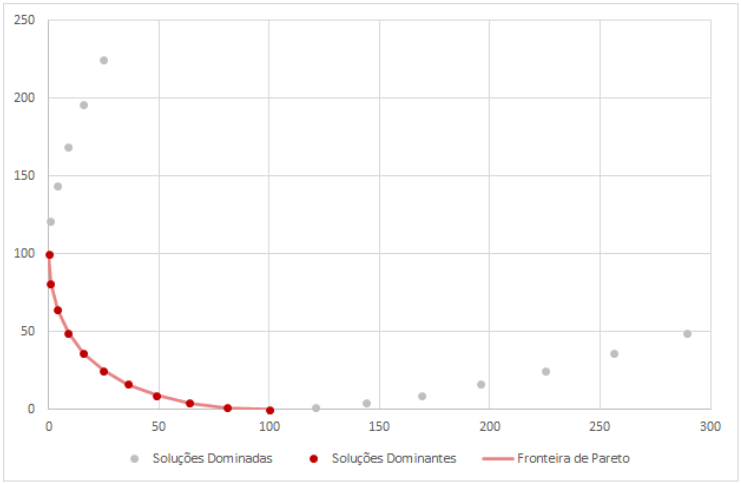


Figura D.1: Exemplo de uma fronteira de pareto de um problema MODM com dois objetivos a minimizar.

Anexo E

Metodologias de avaliação de CSPs da Forrester e Gartner

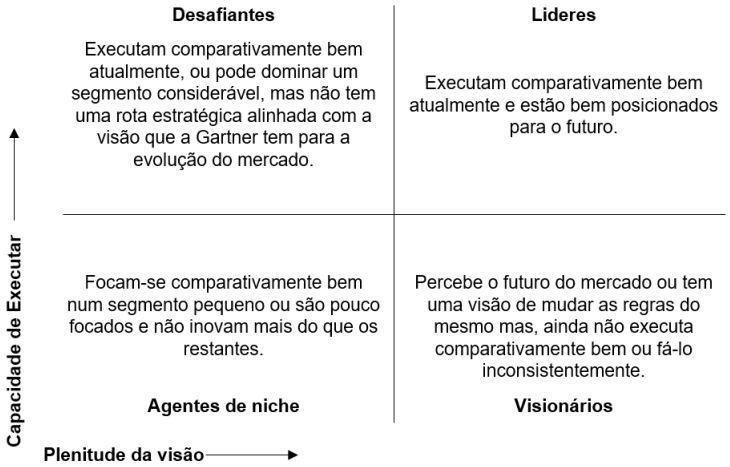


Figura E.1: Quadrante utilizado nas análises *Gartner Magic Quadrant*. Traduzido de Gartner, Inc. (2022c)

Tabela E.1: Critérios de avaliação da *Magic Quadrant for Cloud Infrastructure and Platform Services* . Traduzido e adaptado de Bala et al. (2021).

Escala	Critério de Avaliação	Peso
Capacidade de Executar	Produto ou Serviço	Alto
	Viabilidade Geral	Alto
	Execução das Vendas/Custos	Médio
	Capacidade de Resposta do Marketing	Alto
	Execução do Marketing	Médio
	Experiência de Cliente	Médio
	Operações	Médio
Plenitude de Visão	Compreensão do Mercado	Alto
	Estratégia de Marketing	Médio
	Estratégia de Vendas	Médio
	Estratégia da Oferta	Alto
	Modelo de Negócio	Médio
	Estratégia Vertical	Baixo
	Inovação	Alto
	Estratégia Geográfica	Baixo

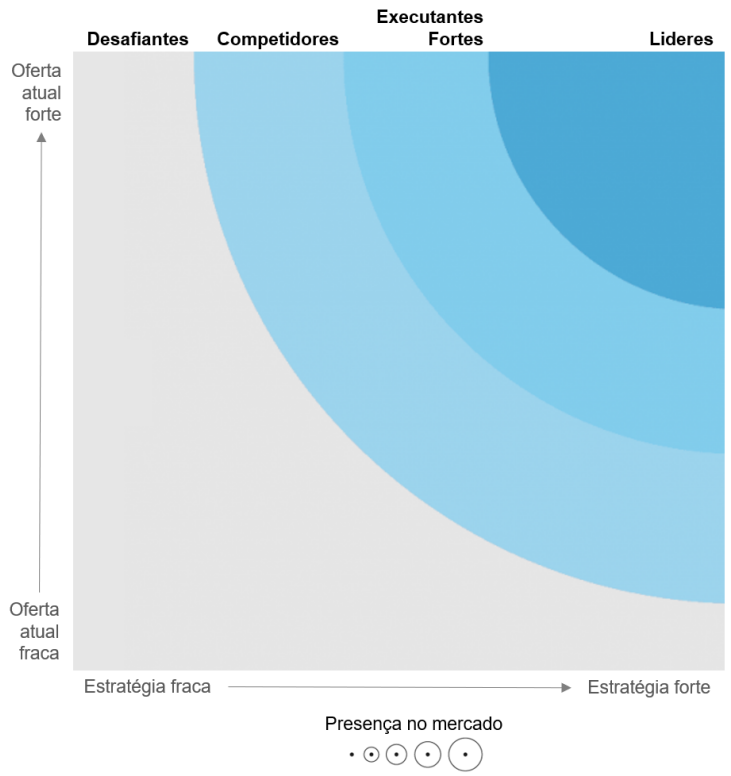


Figura E.2: As classificações e escalas utilizadas nas análises a mercados IT da Forrester. Traduzido e adaptado de Bartoletti and Rymer (2020)

Tabela E.2: Critérios de avaliação da *The Forrester Wave™: Public Cloud Development And Infrastructure Platforms*. Traduzido de Bartoletti and Rymer (2020).

Current offering	50%
Development experience	25%
Development and application services	25%
Platform operations	25%
Infrastructure services	25%
Strategy	50%
Pricing strategy	10%
Partner ecosystem	15%
Enterprise strategy	25%
Product roadmap and innovations	20%
Marketplace and community	15%
On-premises/hybrid cloud strategy	15%
Market presence	0%
Global data center coverage	5%
Number of customers	10%
Product revenue	80%
Revenue growth rate	5%

Anexo F

Esquematização da metodologia construída

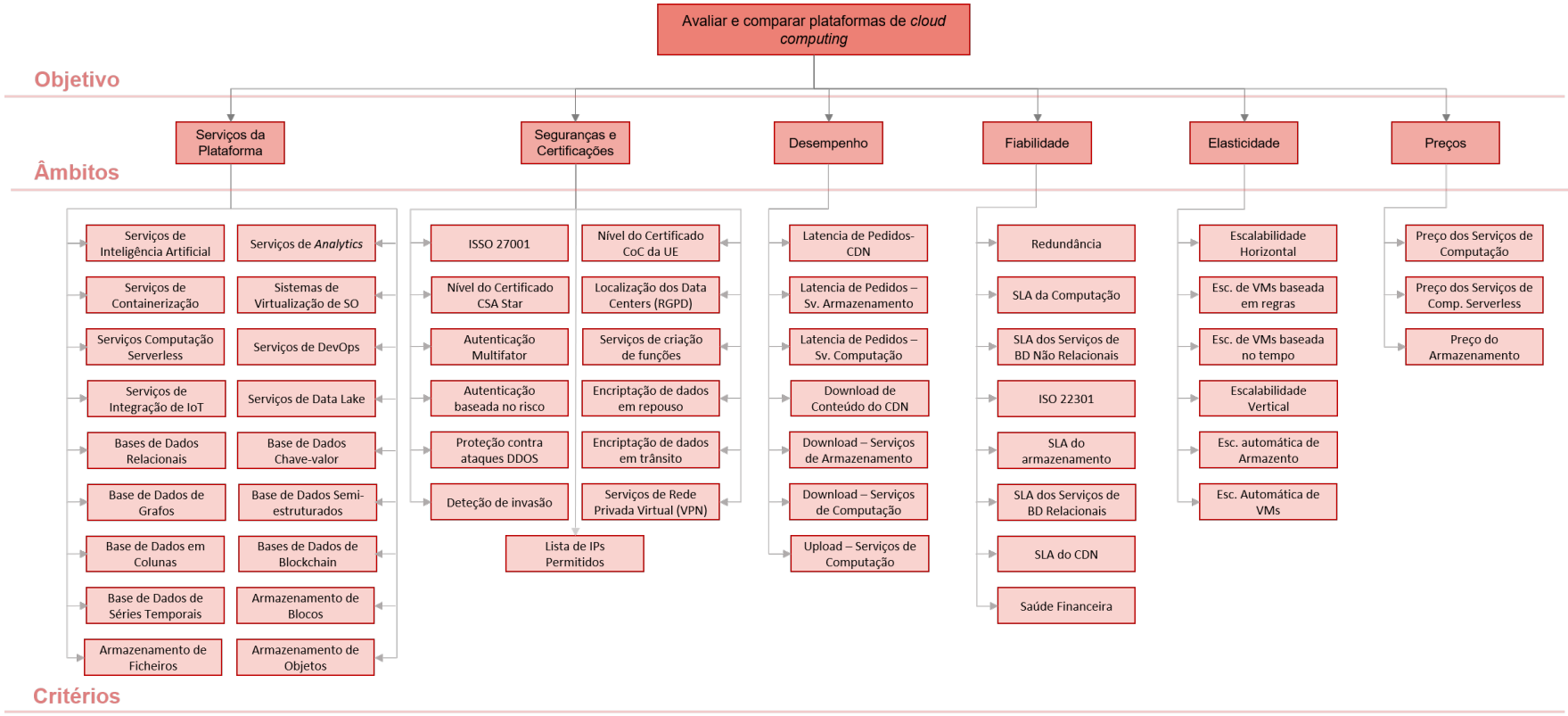


Figura F.1: Esquema hierárquico do objetivo, âmbitos e critérios da metodologia desenvolvida.

Anexo G

Arquitetura de dados do projeto

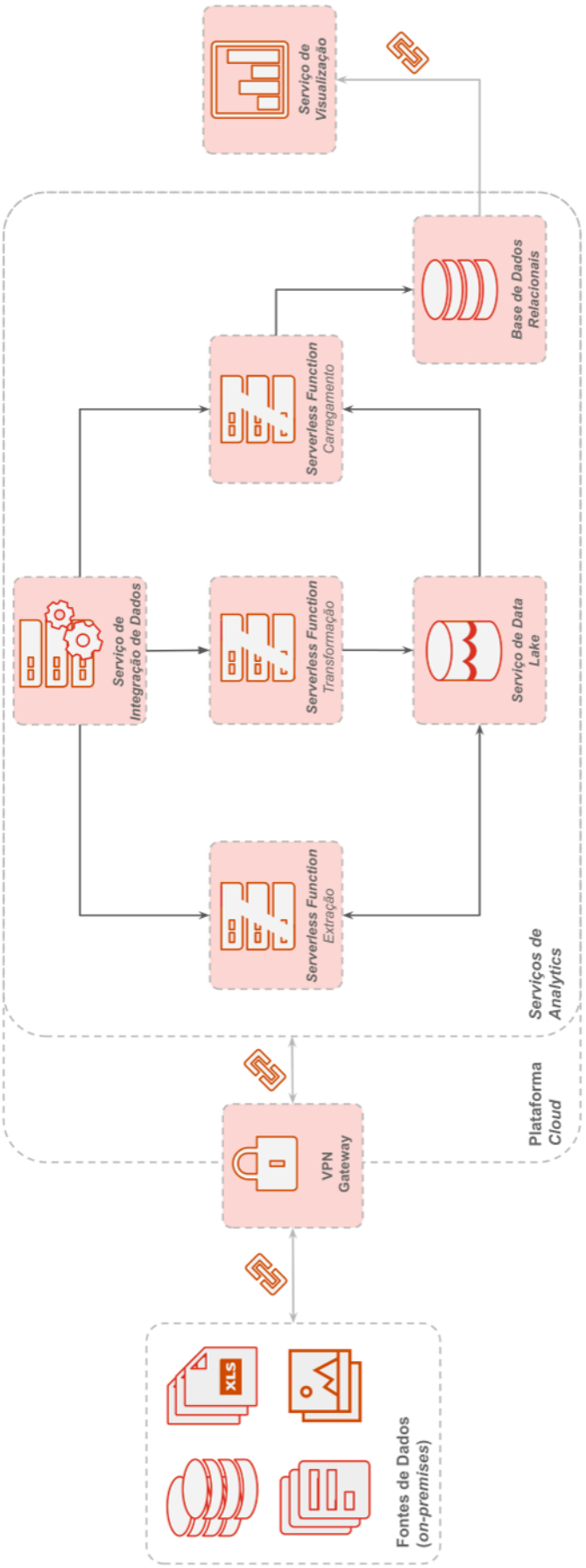


Figura G.1: Arquitetura de dados utilizada no projeto de consultoria em que a metodologia foi construída.

Anexo H

Dados utilizados na metodologia

Tabela H.1: Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Serviços da Plataforma.

Critérios	Azure	Exemplos	AWS	Exemplos	Observações	Fonte
Serviços de Inteligência Artificial	1	Azure Applied AI Services, Azure Machine Learning	1	AWS Rekognition, AWS SageMaker		https://azure.microsoft.com/en-us/overview/ai-platform/#overview https://aws.amazon.com/machine-learning/ai-services/
Serviços de Analytics	1	Azure Data Factory, Power BI	1	AWS Glue, Quiksight		https://azure.microsoft.com/en-us/products/category/analytics/ https://aws.amazon.com/glue/
Serviços de Virtualização de SO	1	Azure Virtual Machines	1	AWS EC2		https://azure.microsoft.com/en-us/services/virtual-machines/ https://aws.amazon.com/ec2/
Serviços de Containerização	1	Azure Docker, Managed Kubernetes Service	1	AWS Docker, Kubernetes on EC2		https://azure.microsoft.com/en-us/services/kubernetes-service/ https://aws.amazon.com/pt/docker/
Serviços de Computação Serverless	1	Azure Serverless Functions	1	AWS Lambda		https://azure.microsoft.com/en-us/services/functions/ https://aws.amazon.com/lambda/
Serviços de DevOps	1	Azure Repos, Azure Artifacts	1	AWS CodeBuild		https://azure.microsoft.com/en-us/services/devops/#overview https://aws.amazon.com/codebuild/
Serviços de Integração de IoT	1	Azure IoT	1	AWS FreeRTOS, IoT Core		https://azure.microsoft.com/en-us/overview/iot/ https://aws.amazon.com/iot/
Serviços de Data Lake	1	Azure Data Lake	0	-	O AWS não tem um serviço de Data Lake independente mas este pode ser construído com uma arquitetura de serviços.	https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-lake/ https://aws.amazon.com/solutions/implementations/data-lake-solution/
Bases de Dados em Colunas	1	Azure CosmosDB com Cassandra API	1	AWS Keyspaces		https://docs.microsoft.com/pt-pt/azure/cosmos-db/choose-api#cassandra-api https://aws.amazon.com/keyspaces/
Bases de Dados Semi-estruturados	1	Azure CosmosDB com MongoDB API	1	AWS MongoDB on AWS		https://docs.microsoft.com/pt-pt/azure/cosmos-db/choose-api#api-for-mongodb https://aws.amazon.com/quickstart/architecture/mongodb/
Base de Dados de Grafos	1	Azure CosmosDB com Gremlin API	1	Amazon Neptune		https://docs.microsoft.com/pt-pt/azure/ cosmos-db/choose-api#gremlin-api https://aws.amazon.com/neptune/
Bases de Dados Chave-Valor	1	Azure CosmosDB com Table API	1	Amazon DynamoDB		https://docs.microsoft.com/pt-pt/azure/ cosmos-db/choose-api#table-api https://aws.amazon.com/nosql/key-value/
Bases de Dados Relacionais	1	Azure SQL Database, Azure SQL Managed Instance	1	Amazon RDS		https://azure.microsoft.com/en-us/ products/azure-sql/database/ https://aws.amazon.com/rds/
Bases de dados de séries temporais	1	Azure Event Hubs, Kafka on HDInsight	1	Amazon Timestream		https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/data-guide/scenarios/time-series; https://aws.amazon.com/timestream/
Bases de dados de Blockchain	0	-	1	Amazon QLDB	O Azure descontinuou este serviço em 2021, o Azure oferece agora um plano de migração para um vendedor externo	https://www.infoq.com/news/2021/06/microsoft-drops-azure-blockchain/; https://aws.amazon.com/qldb/
Armazenamento de Blocos	1	Azure Disk Storage	1	AWS EBS		https://azure.microsoft.com/en-us/ services/storage/disks/; https://aws.amazon.com/ebs/
Armazenamento de ficheiros	1	Azure Files	1	AWS EFS		https://azure.microsoft.com/en-us/services/storage/files/; https://aws.amazon.com/efs/
Armazenamento de Objetos	1	Azure Blob Storage	1	Amazon S3		https://docs.microsoft.com/en-us/azure/storage/blobs/storage-blobs-introduction; https://aws.amazon.com/s3/

Tabela H.2: Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Segurança e Certificações.

Critério	Azure	AWS	Fonte
ISO 27001	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/compliance/offerings/offering-iso-27001 https://d1.awsstatic.com/certifications/iso_27001_global_certification.pdf
Nivel do certificado Cloud CoC da EU	0.85	0	https://eucoc.cloud/fileadmin/cloud-coc/files/reports/202105_ReportVerificationDoA_Microsoft_2021LVL02SCOPE116.pdf https://eucoc.cloud/en/public-register/list-of-adherent-services
Nivel do certificado CSA Star	1	1	https://cloudsecurityalliance.org/star/registry/microsoft/services/microsoft-azure/ https://cloudsecurityalliance.org/star/registry/amazon/services/amazon-web-services/
Data Center numa localização que cumpra o RGPD	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/availability-zones/az-overview https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/using-regions-availability-zones.html
Serviços de criação de funções	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/role-based-access-control/custom-roles https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/id_roles_create.html
Autenticação Multifator	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/active-directory/authentication/concept-mfa-howitworks https://aws.amazon.com/iam/features/mfa/
Autenticação baseada em risco	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/active-directory/authentication/tutorial-risk-based-sspr-mfa https://docs.aws.amazon.com/cognito/latest/developerguide/cognito-user-pool-settings-adaptive-authentication.html
Encriptação de dados em repouso	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/security/fundamentals/encryption-overview https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/logical-separation/encrypting-data-at-rest-and–in-transit.html
Encriptação de dados em trânsito	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/security/fundamentals/encryption-overview https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/logical-separation/encrypting-data-at-rest-and–in-transit.html
Proteção para ataques DDOS	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/ddos-protection/ddos-protection-overview https://aws.amazon.com/shield/
Serviços de Rede Privada Virtual (VPN)	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/vpn-gateway/vpn-gateway-about-vpngateways https://aws.amazon.com/vpn/
Lista de IPs permitidos	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/firewall/features https://aws.amazon.com/blogs/storage/use-ip-whitelisting-to-secure-your-aws-transfer-for-sftp-servers/
Deteção de invasão	1	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/firewall/premium-features https://aws.amazon.com/mp/scenarios/security/ids/

Tabela H.3: Resultados da recolha de dados para o âmbito de Desempenho.

Critério	Máximo	Mínimo	Azure Pontuação Bruta	Azure Pontuação Normalizada	AWS Pontuação Bruta	AWS Pontuação Normalizada
Latencia de Pedidos à Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	49	235	50.5	0.991935484	73	0.870967742
Download de Conteúdo da Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	75.71	251.77	231.86	0.886913552	216.39	0.79904578
Latencia de Pedidos aos Serviços de Armazenamento	50	76.5	50	1	58	0.698113208
Download de Conteúdo dos Serviços de Armazenamento	66.11	233.44	165.44	0.593617403	183.77	0.703161418
Latencia de Pedidos aos Serviços de Computação	47	54	54	0	52	0.285714286
Download de Conteúdo dos Serviços de Computação	68.37	200.41	174.15	0.801120872	129.66	0.464177522
Upload de Conteúdo para os Serviços de Computação	52.55	94.63	65.97	0.31891635	73.09	0.488117871

Tabela H.4: SLAs dos diferentes fornecedores considerados.

Fornecedor	SLA do Armazenamento	SLA da Computação	SLA dos Serviços de Bases de Dados Relacionais	SLA dos Serviços de Bases de Dados Não Relacionais	SLA da Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)
Alibaba Cloud	99.9	99.995	99.95	99.95	99.9
Amazon Web Services	99.9	99.99	99.99	99.99	99.9
CenturyLink Cloud	99.9	99.99	99.9	-	99.99
DigitalOcean	99.99	99.99	99.99	99.99	-
Exoscale	99.99	99.95	99.99	99.99	100
Google Cloud Platform	99.95	99.99	99.95	99.9	99.95
IBM Cloud	99.95	99.99	99.9	99.9	100
Microsoft Azure	99.9	99.95	99.99	99.99	99.9
Oracle Cloud Infrastructure	99.9	99.99	99.9	99.995	-
Tencent Cloud	99.95	99.95	99.95	99.95	99.9
Máximo	99.99	99.995	99.99	99.995	100
Mínimo	99.9	99.95	99.9	99.9	99.9

Tabela H.5: Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Fiabilidade.

Critério	Azure Pontuação Bruta	Azure Pontuação Normalizada	AWS Pontuação Bruta	AWS Pontuação Normalizada	Fonte
Redundância	Redundância numa região secundária	1	Redundância numa região secundária	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/availability-zones/cross-region-replication-azure https://aws.amazon.com/solutions/implementations/multi-region-application-architecture/
SLA do armazenamento	99.9	0	99.9	0	https://cloudharmony.com/cloudsquare
SLA da Computação	99.95	0	99.99	0.888888889	https://cloudharmony.com/cloudsquare
SLA dos Serviços de Bases de Dados Relacionais	99.99	1	99.99	1	https://cloudharmony.com/cloudsquare
SLA dos Serviços de Bases de Dados Não Relacionais	99.99	0.947368421	99.99	0.947368421	https://cloudharmony.com/cloudsquare
SLA da Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	99.9	0	99.9	0	https://cloudharmony.com/cloudsquare
ISO 22301	Certificado	1	Certificado	1	https://docs.microsoft.com/en-us/compliance/regulatory/offering-iso-22301 https://aws.amazon.com/compliance/iso-22301-faqs/
Saúde Financeira	Endividamento Global =1.13	1	Endividamento Global =2.07	0	https://www.microsoft.com/en-us/investor/earnings/fy-2022-q2 https://ir.aboutamazon.com/quarterly-results/default.aspx

Tabela H.6: Resultados e Fonte da recolha de dados para o âmbito de Elasticidade.

Critério	Azure Pontuação	Fonte	AWS Pontuação	Fonte
Escalabilidade Horizontal	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-monitor/autoscale /autoscale-overview#horizontal-vs-vertical-scaling	1	https://aws.amazon.com/blogs/architecture/ architecting-for-reliable-scalability/
Escalabilidade Vertical	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-monitor /autoscale/autoscale-overview#horizontal-vs-vertical-scaling	1	https://aws.amazon.com/blogs/architecture/ aws-ops-automator-v2-features-vertical-scaling-preview/
Escalabilidade automática de Armazenamento	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/storage/ common/storage-introduction	1	https://aws.amazon.com/s3/pricing/
Escalabilidade de VMs baseada em regras	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-monitor /autoscale/autoscale-overview#rules	1	https://docs.aws.amazon.com/gamelift/latest/ developerguide/fleets-autoscaling-rule.html
Escalabilidade de VMs baseada no tempo	1	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-monitor/ autoscale/autoscale-overview#time	1	https://docs.aws.amazon.com/autoscaling/ec2/ userguide/ec2-auto-scaling-scheduled-scaling.html
Escalabilidade automática de VMs	0	https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-monitor/autoscale/ autoscale-overview#what-is-autoscale	1	https://aws.amazon.com/autoscaling/

Tabela H.7: Dados e pontuações para o âmbito de Preços.

Critério	Máximo	Mínimo	Azure Pontuação Bruta	Azure Pontuação Normalizada	AWS Pontuação Bruta	AWS Pontuação Normalizada
Preço de Computação (EUR/mês)	169.68	50.424	141.7740	0.2340	86.759404	0.6953
Preços de Computação Serverless (EUR/mês)	41.6290145	19.2575625	33.33309	0.3708	33.491819	0.3637
Preço de Armazenamento (€/GiB.mês)	0.037348	0.0130718	0.01746019	0.8192	0.0224088	0.6154

Anexo I

Resultados dos testes de desempenho

Tabela I.1: Tabela dos resultados do teste à latência dos CDNs.

				Latency (ms)									
Provider	Status	Tests Performed	Tests Successful	Median	Mean	Fastest	Slowest	90th Percentile	75th Percentile	25th Percentile	10th Percentile	Standard Deviation	Data Transferred
Tencent Cloud CDN Acceleration	Success	12	12	50	50.17	49	51	49.5	50	51	51	0.69	72 B
Google Cloud CDN	Success	12	12	49.5	50.58	48	60	49	49	51	52	3.07	72 B
Level 3 CDN	Success	12	12	59	58.75	58	61	58	58	59	59	0.83	72 B
Fastly CDN	Success	12	12	49	49.5	48	52	48	48	51	51	1.38	72 B
Amazon CloudFront	Success	12	12	73	74.08	72	86	72	72	73.5	75	3.75	72 B
Incapsula	Success	12	12	57	58.58	55	71	56	56	59.5	61	4.23	72 B
CDN77	Success	12	12	73.5	74.25	72	82	73	73	74.5	75	2.49	72 B
Azure CDN from Verizon	Success	12	12	45	45.33	43	50	44	44	45.5	47	1.84	72 B
CloudFlare	Success	12	12	235	222.33	143	305	147	191.5	245	259	48.44	72 B
CDNsun	Success	12	12	73	73.5	72	79	72	72	74	74	1.85	72 B
Akamai CDN	Success	12	12	82	82.42	81	87	81	81	83.5	84	1.75	72 B
CacheFly CDN	Success	12	12	52.5	53.92	49	66	49.5	50	56	58.5	4.84	72 B
SwiftServe CDN								72 B					
Azure CDN from Akamai	Success	12	12	84	85.17	82	95	82.5	83.5	85.5	88	3.51	72 B
IBM Cloud CDN - Akamai	Success	12	12	79	78.92	78	80	78	78.5	79	79.5	0.64	72 B
KeyCDN	Success	12	12	64	68.33	60	98	60	60.5	67.5	79.5	11.91	72 B
Limelight CDN	Success	12	12	75.5	80.67	73	119	73.5	74	77.5	88	13.26	72 B

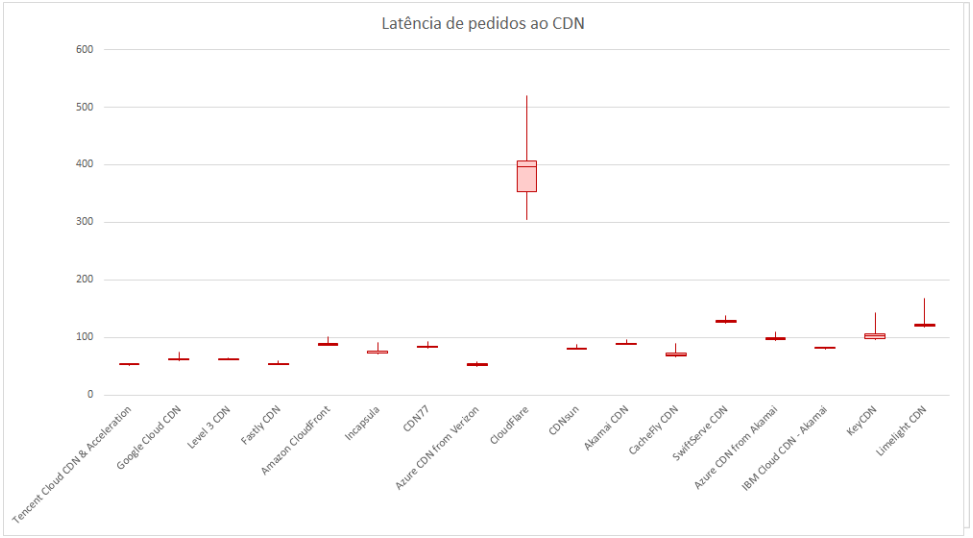


Figura I.1: Gráficos de caixa dos resultados dos testes à latência dos CDNs.

Tabela I.2: Tabela dos resultados do teste ao *download* dos CDNs.

Downlink [256KB - 10MB / 2 threads] (Mb/s)													
Provider	Status	Tests Performed	Tests Successful	Median	Mean	Fastest	Slowest	90th Percentile	75th Percentile	25th Percentile	10th Percentile	Standard Deviation	Data Transferred
Tencent Cloud CDN Acceleration	Success	6	6	198.37	181.7	215.29	112.06	214.39	211.8	169.64	132.36	38	124.3 MB
Google Cloud CDN	Success	6	6	214.04	234.95	317.1	174.91	314.84	280.69	178.17	175.99	61.94	148.58 MB
Level 3 CDN	Success	6	6	251.77	242.32	277.56	165.73	271.45	260.78	244.52	203.75	36.19	136.59 MB
Fastly CDN	Success	6	6	186.89	185.55	294.13	79.11	280.45	266.51	103.51	89.3	91.03	118.58 MB
Amazon CloudFront	Success	6	6	216.39	225.4	289.78	199.98	258.25	226.57	204.74	201.55	30.69	142.58 MB
Incapsula	Success	6	6	185.33	193.15	251.57	142.76	231.45	198.34	183.96	162.69	32.95	140.59 MB
CDN77	Success	6	6	197.42	192.77	233.36	158.67	217.89	200.73	181.56	163.01	24.49	132.59 MB
Azure CDN from Verizon	Success	6	6	231.86	230.32	321.65	160.28	281.79	239.48	210.51	177.3	49.56	160.59 MB
CloudFlare	Success	6	6	113.56	108.31	134.96	78.09	131.18	123.88	94.54	80.2	21.65	136.59 MB
CDNsun	Success	6	6	223.52	221.62	235.62	199.78	234.32	230.8	216.37	207.03	12.35	146.58 MB
Akamai CDN	Success	6	6	211.83	213.02	224.6	200.46	222.41	216.44	210.11	204.83	7.77	126.4 MB
CacheFly CDN	Success	6	6	184.86	182.52	234.08	129.45	228	209.44	156.36	134.7	39.03	160.59 MB
SwiftServe CDN								Failed					
Azure CDN from Akamai	Success	6	6	231.95	222.83	243.62	172.26	242.61	236.81	223.76	193.95	24.36	130.58 MB
IBM Cloud CDN - Akamai	Success	6	6	223.56	199.31	234.54	131.62	233.46	228.49	186.35	140.9	41.85	140.58 MB
KeyCDN	Success	6	6	75.71	91.7	162.15	50.24	148.72	110.2	58.72	50.69	42.65	144.59 MB
Limelight CDN	Success	6	6	242.31	223.37	255.88	153.64	253.22	250.05	215.32	174.6	37.09	148.59 MB

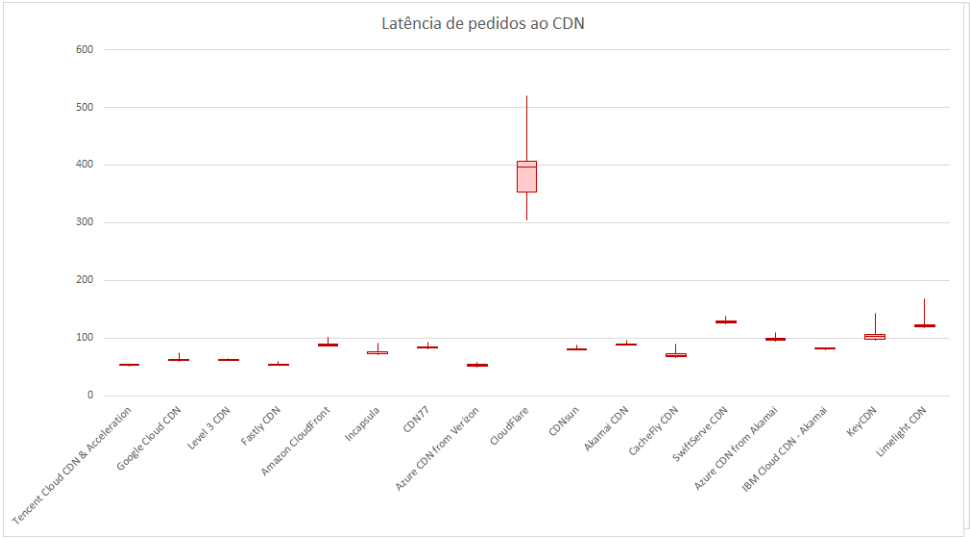


Figura I.2: Gráficos de caixas dos resultados dos testes ao *download* de conteúdo dos CDNs.

Tabela I.3: Tabela dos resultados do teste à latência dos serviços de computação. * - Região fora da UE.

						Latência (ms)									
	Provider	Region	Status	Tests Performed	Tests Successful	Median	Mean	Fastest	Slowest	90th Percentile	75th Percentile	25th Percentile	10th Percentile	Standard Deviation	Data Transferred
1	Alibaba Cloud Object Storage	eu-west-1*	Success	12	12	68	67.92	65	71	65.5	66	69.5	70.5	2.06	72 B
2	Alibaba Cloud Object Storage	eu-central-1a	Success	12	12	50	51	49	59	49	49	51.5	52.5	2.71	72 B
3	Amazon EC2	eu-central-1	Success	12	12	52	53.5	51	59	51	51.5	55	56.5	2.63	72 B
4	Amazon EC2	eu-north-1	Success	12	12	75	75.83	74	81	74	74	77	78	2.15	72 B
5	Amazon EC2	eu-south-1c	Success	12	12	60.5	61.08	58	67	59	59.5	62	63.5	2.4	72 B
6	Amazon EC2	eu-west-1	Success	12	12	73	74.58	72	85	72	72.5	74.5	78	3.82	72 B
7	Amazon EC2	eu-west-2*	Success	12	12	65	66.17	62	80	62.5	63	66	69.5	5.01	72 B
8	Amazon EC2	eu-west-3	Success	12	12	59	60.17	58	68	58.5	59	60	61.5	2.67	72 B
9	CenturyLink Cloud Servers	DE1	Success	12	12	51	51.58	50	55	51	51	52	52.5	1.26	72 B
10	CenturyLink Cloud Servers	DE3	Success	12	12	52	54.17	51	67	51	51.5	55.5	56	4.3	72 B
11	CenturyLink Cloud Servers	GB1*	Success	12	12	67	67.42	66	69	67	67	68	68.5	0.86	72 B
12	CenturyLink Cloud Servers	GB3*	Success	12	12	67	67.5	64	74	64.5	65	69.5	71	3.12	72 B
13	DigitalOcean	ams3	Success	12	12	64.5	68.67	57	83	57.5	58	80.5	81.5	10.93	72 B
14	DigitalOcean	fra1	Success	12	12	50	50.83	47	58	49	49.5	51.5	53	2.7	72 B
15	DigitalOcean	lon1*	Success	12	12	63	63.08	61	67	62	63	63	63.5	1.44	72 B
16	Google Compute Engine	europe-north1-a	Success	12	12	81	82.08	79	94	79	79	83	83.5	4.03	72 B
17	Google Compute Engine	europe-west1-c	Success	12	12	54	54.33	53	56	53	53.5	55	55.5	1.03	72 B
18	Google Compute Engine	europe-west3-a	Success	12	12	47.5	51.5	47	80	47	47	51	55	9.09	72 B
19	Google Compute Engine	europe-west3-c	Success	12	12	47	47.58	47	49	47	47	48	48.5	0.76	72 B
20	Google Compute Engine	europe-west4-b	Success	12	12	56	56.67	54	62	55.5	56	57	57.5	1.89	72 B
21	Google Compute Engine	europe-west6-b*	Success	12	12	57.5	58.67	54	70	54.5	55.5	60	62.5	4.53	72 B
22	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-1	Success	12	12	51.5	53.5	49	65	50	50.5	55.5	56.5	4.29	72 B
23	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-2	Success	12	12	59	59.33	57	62	58	58	60.5	61	1.43	72 B
24	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-3	Success	12	12	49.5	49.75	48	51	49	49	51	51	1.01	72 B
25	IBM Virtual Private Cloud	eu-gb-1*	Success	12	12	64	64.42	63	67	63.5	64	65	65.5	1.11	72 B
26	IBM Virtual Private Cloud	eu-gb-2*	Success	12	12	65	67.08	61	81	62.5	63	69	74	5.94	72 B
27	IBM Virtual Private Cloud	eu-gb-3*	Success	12	12	62	65.42	59	90	60.5	61	65	71	8.56	72 B
28	Microsoft Azure Virtual Machines	eu-north	Success	12	12	70	70.58	69	74	69	69.5	71	72.5	1.66	72 B
29	Microsoft Azure Virtual Machines	eu-west	Success	12	12	60	66.92	57	94	57.5	58	75	82	12.41	72 B
30	Microsoft Azure Virtual Machines	france-central	Success	12	12	63	64.58	63	71	63	63	65	67	2.56	72 B
31	Microsoft Azure Virtual Machines	france-south	Success	12	12	67.5	68.92	66	81	66	66.5	69	71	4.09	72 B
32	Microsoft Azure Virtual Machines	germany-north	Success	12	12	61.5	65.5	60	103	60.5	61	63.5	65.5	11.46	72 B
33	Microsoft Azure Virtual Machines	germany-westcentral	Success	12	12	54	54.58	52	58	53	53.5	55.5	56.5	1.66	72 B
34	Microsoft Azure Virtual Machines	norway-east*	Success	12	12	81.5	87	79	126	81	81	86.5	91.5	12.48	72 B
35	Microsoft Azure Virtual Machines	norway-west*	Success	12	12	75	79.25	73	120	73	73.5	78	80.5	12.55	72 B
36	Microsoft Azure Virtual Machines	switzerland-north*	Success	12	12	57	59.42	57	76	57	57	59	61	5.22	72 B
37	Microsoft Azure Virtual Machines	switzerland-west*	Success	12	12	59	60.33	58	65	58	58.5	62.5	64.5	2.62	72 B
38	Microsoft Azure Virtual Machines	uk-south*	Success	12	12	66	66.58	64	69	65	65.5	68	68.5	1.55	72 B
39	Microsoft Azure Virtual Machines	uk-west*	Success	12	12	66.5	66.58	65	68	66	66	67	67.5	0.86	72 B
40	Oracle Cloud Compute	EU-AMSTERDAM-1-AD-1	Success	12	12	61	61.75	58	70	59	59.5	62	65.5	3.49	72 B
41	Oracle Cloud Compute	EU-FRANKFURT-AD-1	Success	12	12	52.5	52.92	50	57	51	51	54.5	55	2.02	72 B
42	Oracle Cloud Compute	EU-ZURICH-1-AD-1*	Success	12	12	73.5	73.67	72	76	73	73	74	74.5	1.03	72 B
43	Oracle Cloud Compute	UK-CARDIFF-1-AD-1*	Success	12	12	68	69.92	67	83	67	67.5	70.5	72.5	4.41	72 B
44	Oracle Cloud Compute	UK-LONDON-1-AD-1	Success	12	12	75	76	73	82	74	74	77	80	2.94	72 B
45	Tencent Cloud Virtual Machine	eu-frankfurt-1	Success	12	12	51	52.75	49	73	49	49.5	53	54	6.33	72 B

Tabela I.4: Tabela dos resultados do teste ao *download* dos serviços de computação. * - Região fora da UE.

	Downlink [256KB - 10MB / 2 threads] (Mb/s)														
	Provider	Region	Status	Tests Performed	Tests Successful	Median	Mean	Fastest	Slowest	90th Percentile	75th Percentile	25th Percentile	10th Percentile	Standard Deviation	Data Transferred
1	Alibaba Elastic Compute Service	eu-west-1b*	Success	6	6	94.81	95.87	111.33	80.76	109.53	102.32	89.23	83.26	10.97	134.21 MB
2	Alibaba Elastic Compute Service	eu-central-1a	Success	6	6	96.09	89.9	124.16	46.76	121.32	112.81	71.41	52.28	29.45	160.59 MB
3	Amazon EC2	eu-west-3	Success	6	6	124.51	122.42	136.84	105.6	133.84	129.42	116.62	108.92	10.79	144.59 MB
4	Amazon EC2	eu-north-1	Success	6	6	90.09	88.15	106.24	64.62	99.84	91.99	87.03	74.52	12.45	142.59 MB
5	Amazon EC2	eu-west-2*	Success	6	6	115.81	112.71	125.69	95.57	123.19	118.46	109.05	99.14	10.37	144.59 MB
6	Amazon EC2	eu-west-1	Success	6	6	110.58	110.09	115	104.08	113.38	111.63	109.12	106.32	3.35	144.59 MB
7	Amazon EC2	eu-south-1c	Success	6	6	129.66	126.97	138.33	112.48	135.54	132.68	122.84	115.73	8.83	138.58 MB
8	Amazon EC2	eu-central-1	Success	6	6	70.5	88.43	162.46	40.66	143.14	99.19	64.54	51.65	41.55	160.59 MB
9	DigitalOcean	fra1	Success	6	6	200.41	191.83	215.37	131.37	212.63	208.06	194.06	162.45	28.15	160.59 MB
10	DigitalOcean	lon1*	Success	6	6	154.51	153.2	177.49	127.94	175.11	168.24	138.64	129.96	19.29	156.59 MB
11	DigitalOcean	ams3	Success	6	6	128.58	128.75	142.49	107.44	139.93	133.08	128.21	117.74	10.94	138.58 MB
12	Google Compute Engine	europe-west3-a	Success	6	6	58.7	55.3	65.56	41.2	65.48	64.58	47.95	41.73	10.41	144.59 MB
13	Google Compute Engine	europe-north1-a	Success	6	6	114.65	110.05	148.43	67.08	138.03	125.44	96.95	77.46	26.81	150.58 MB
14	Google Compute Engine	europe-west6-b*	Success	6	6	233.72	229.37	260.24	186.75	254.51	246.35	218.27	199.89	24.7	144.59 MB
15	Google Compute Engine	europe-west3-c	Success	6	6	80.9	73.74	94.1	44.39	93.57	92.15	59.83	46.75	20.7	158.59 MB
16	Google Compute Engine	europe-west4-b	Success	6	6	94.62	77.71	112.67	17.35	108.7	103.08	65.05	29.82	35.39	84.56 MB
17	Google Compute Engine	europe-west1-c	Success	6	6	152.61	143.97	173.93	102.26	164.29	153.86	139.95	115.02	22.96	144.59 MB
18	IBM Bluemix	eu-de	Success	6	6	68.37	78.82	110.8	59.17	105.73	84.87	66.6	62.36	19.5	134.21 MB
19	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-1	Success	6	6	106.57	106.46	127.01	75.47	124.06	115.7	102.44	88.76	16.55	144.59 MB
20	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-3	Success	6	6	107.75	105.75	120.86	89.24	119.89	118.21	94.01	89.62	13.66	160.59 MB
21	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-2	Success	6	6	108.26	103.58	111.89	78.83	111.3	110.66	104.73	91.2	11.45	136.58 MB
22	Microsoft Azure Virtual Machines	switzerland-west*	Success	6	6	124.18	124.04	129.63	118.19	128.75	127.51	120.71	119.2	4.33	134.59 MB
23	Microsoft Azure Virtual Machines	germany-westcentral	Success	6	6	174.15	173.99	228.26	129.98	211.34	184.9	157.95	136.48	32.31	144.59 MB
24	Microsoft Azure Virtual Machines	germany-north	Success	6	6	113.09	109.33	126.23	88.64	124.99	123.29	97.26	89.91	15.65	160.59 MB
25	Microsoft Azure Virtual Machines	france-south	Success	6	6	101.31	102.22	117.41	91.69	111.32	103.42	98.7	94.04	8.03	136.58 MB
26	Microsoft Azure Virtual Machines	eu-west	Success	6	6	120.15	116.91	140.35	85.72	131.29	121.95	115.76	99.31	16.29	136.59 MB
27	Microsoft Azure Virtual Machines	eu-north	Success	6	6	107.66	107.17	118.13	92.2	116.7	111.48	104.85	97.14	8.53	154.58 MB
28	Microsoft Azure Virtual Machines	norway-west*	Success	6	6	103.36	99.11	109.21	82.87	106.53	103.67	97.61	87.44	8.9	132.59 MB
29	Microsoft Azure Virtual Machines	uk-south*	Success	6	6	121.41	116.52	129.44	84	129.42	126.42	116.43	98.75	15.57	144.59 MB
30	Microsoft Azure Virtual Machines	switzerland-north*	Success	6	6	106.44	105.81	144.81	64.37	138.62	132.3	80.55	72.38	31.41	144.59 MB
31	Microsoft Azure Virtual Machines	uk-west*	Success	6	6	94.7	92.92	107.24	77.51	106.12	104.07	82.31	77.94	12.58	144.59 MB
32	Microsoft Azure Virtual Machines	norway-east*	Partial	7	5	57.97	50.41	71.52	9.1	68.87	66.22	47.26	28.18	22.22	120.59 MB
33	Microsoft Azure Virtual Machines	france-central	Success	6	6	59.51	67.28	99.65	53.06	89.27	70.11	55.38	53.08	16.9	152.58 MB
34	Tencent Cloud Virtual Machine	eu-frankfurt-1	Success	6	6	119.21	123.44	147.86	103.26	146.71	138.26	106.52	104.42	18.81	133.83 MB

Tabela I.5: Tabela dos resultados do teste ao *upload* dos serviços de computação. * - Região fora da UE.

Uplink [256KB - 10MB / 2 threads]															
	Provider	Region	Status	Tests Performed	Tests Successful	Median	Mean	Fastest	Slowest	90th Percentile	75th Percentile	25th Percentile	10th Percentile	Standard Deviation	Data Transferred
1	Alibaba Elastic Compute Service	eu-west-1b*	Partial	7	6	44.56	47.92	62.62	35.65	60.94	53.13	41.51	38.28	9.82	126.96 MB
2	Alibaba Elastic Compute Service	eu-central-1a	Success	6	6	68.11	65.67	91.07	38.8	84.07	75.04	57.04	44.83	17.21	132.76 MB
3	Amazon EC2	eu-north-1	Success	6	6	38.46	37.9	51.57	23.12	49.66	43.47	32.89	25.59	10.01	76.65 MB
4	Amazon EC2	eu-central-1	Success	6	6	73.09	66.7	81.53	34.64	79.36	75.15	66.88	47.67	15.68	104.74 MB
5	Amazon EC2	eu-south-1c	Success	6	6	42	45.34	58.6	32.6	58.4	50.66	39.77	35.63	9.77	148.54 MB
6	Amazon EC2	eu-west-1	Success	6	6	48.68	46.99	53.89	33.43	52.22	50.23	47.09	40.08	6.49	150.03 MB
7	Amazon EC2	eu-west-2*	Success	6	6	56.02	55.21	70.04	32.3	67.2	61.26	53.21	42.42	11.88	137.4 MB
8	Amazon EC2	eu-west-3	Success	6	6	60.16	62.4	82.32	39.88	78.15	67.82	58.3	48.91	13.37	138.02 MB
9	DigitalOcean	fra1	Success	6	6	44.68	47.41	78.26	21.66	72.75	62.2	30.06	24.8	21.27	147.6 MB
10	DigitalOcean	lon1*	Partial	7	6	43.79	45.93	60.71	32.32	59.37	53.18	38.09	34.64	10.66	114.16 MB
11	DigitalOcean	ams3	Success	6	6	55.05	50.88	60.8	34.67	58.56	56.25	48.67	39.05	8.98	93.77 MB
12	Google Compute Engine	europe-west4-b	Success	6	6	71.63	78.96	112.18	64.66	98.99	78.88	69.59	66.27	16.25	131.27 MB
13	Google Compute Engine	europe-west1-c	Success	6	6	74.17	71.57	88.46	44.12	85.79	79.56	68.87	54.76	14.32	122.6 MB
14	Google Compute Engine	europe-west3-a	Success	6	6	67.86	66.49	83.11	44.41	76.79	70.28	65.44	54.84	11.51	147.88 MB
15	Google Compute Engine	europe-north1-a	Success	6	6	70.81	66.8	74.36	49.31	73.65	72.34	66.22	55.94	8.68	128.76 MB
16	Google Compute Engine	europe-west6-b*	Success	6	6	82.19	79	97.74	55.03	94.9	90	70.62	59.91	15.19	149.67 MB
17	Google Compute Engine	europe-west3-c	Success	6	6	94.63	95.88	116.71	73.14	111.75	101.66	91.06	81.28	13.68	151.85 MB
18	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-3	Success	6	6	57.47	53.71	76.16	35.52	67.27	58.35	46.95	36.4	13.88	137.07 MB
19	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-2	Success	6	6	58.25	55.18	73.5	31.72	67.33	60.11	52.82	39.97	12.85	137.51 MB
20	IBM Virtual Private Cloud	eu-de-1	Success	6	6	57.86	55.66	69.56	35.13	65.25	59.85	54.79	43.87	10.51	137.09 MB
21	Microsoft Azure Virtual Machines	switzerland-north*	Success	6	6	23.43	24.96	43.94	10.58	40.58	31.45	16.19	10.88	12.4	83.47 MB
22	Microsoft Azure Virtual Machines	germany-westcentral	Partial	7	5	26.59	38.47	63.55	21.42	59.79	56.03	24.74	10.88	17.65	113.88 MB
23	Microsoft Azure Virtual Machines	uk-west*	Success	6	6	54.1	50.94	72.26	27.67	69.64	63.17	39.7	29.09	17.06	141.39 MB
24	Microsoft Azure Virtual Machines	france-south	Success	6	6	52.57	50.97	61.62	34.94	61.54	58.65	45.99	38.82	9.79	125.13 MB
25	Microsoft Azure Virtual Machines	germany-north	Success	6	6	57.31	57.03	70.7	42.5	66.62	61.25	53.26	47.18	8.84	125.88 MB
26	Microsoft Azure Virtual Machines	eu-north	Success	6	6	42.84	43.5	59.54	24.47	56.21	49.82	38.68	31.45	11.29	63.73 MB
27	Microsoft Azure Virtual Machines	france-central	Success	6	6	52.04	51.49	68.64	31.18	61.78	53.67	50.89	40.66	10.96	135.19 MB
28	Microsoft Azure Virtual Machines	uk-south*	Success	6	6	60.02	56.36	70.64	32.58	68.52	64.79	52.69	40.55	12.77	127.22 MB
29	Microsoft Azure Virtual Machines	norway-east*	Success	6	6	50.19	48.74	66.21	32.75	61.75	53.97	42.77	34.28	11.59	150.37 MB
30	Microsoft Azure Virtual Machines	eu-west	Partial	7	6	41.81	41.64	69.04	16.31	61.6	49.36	32.9	21.53	17.25	93.53 MB
31	Microsoft Azure Virtual Machines	norway-west*	Success	6	6	50.54	51.05	60.6	38.9	59.79	54.95	48.45	42.83	7.31	120.75 MB
32	Microsoft Azure Virtual Machines	switzerland-west*	Success	6	6	65.97	61.92	76.91	42.64	76.24	71.68	54.3	43.55	13.71	147.81 MB
33	Tencent Cloud Virtual Machine	eu-frankfurt-1	Success	6	6	52.55	51.01	68.24	32.89	63.32	57.54	44.92	37.15	11.62	134.29 MB

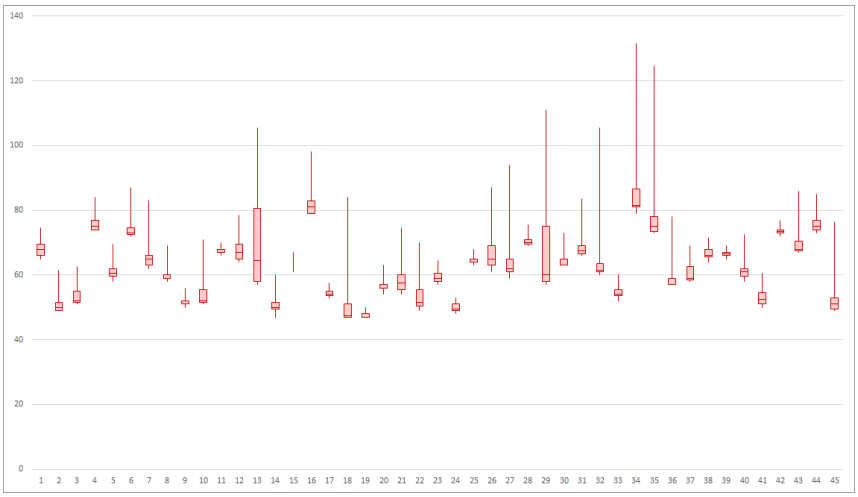


Figura I.3: Gráficos de caixas dos resultados dos testes à latência dos serviços de computação

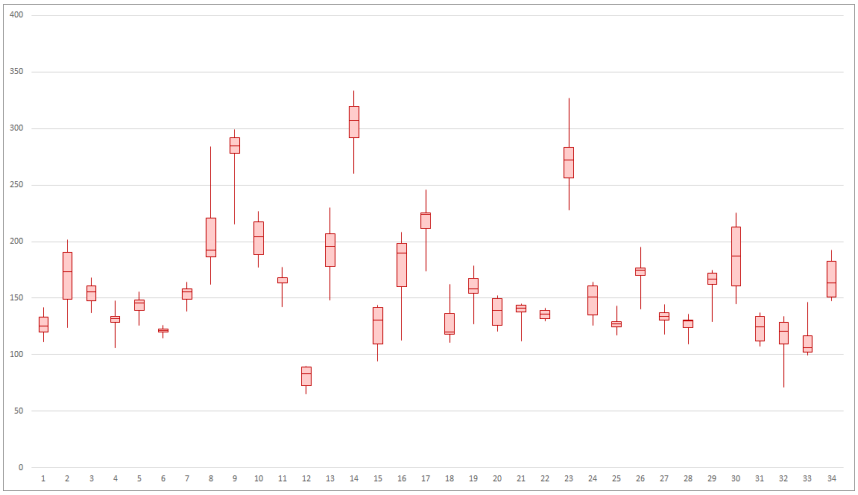


Figura I.4: Gráficos de caixas dos resultados dos testes ao *download* dos serviços de computação

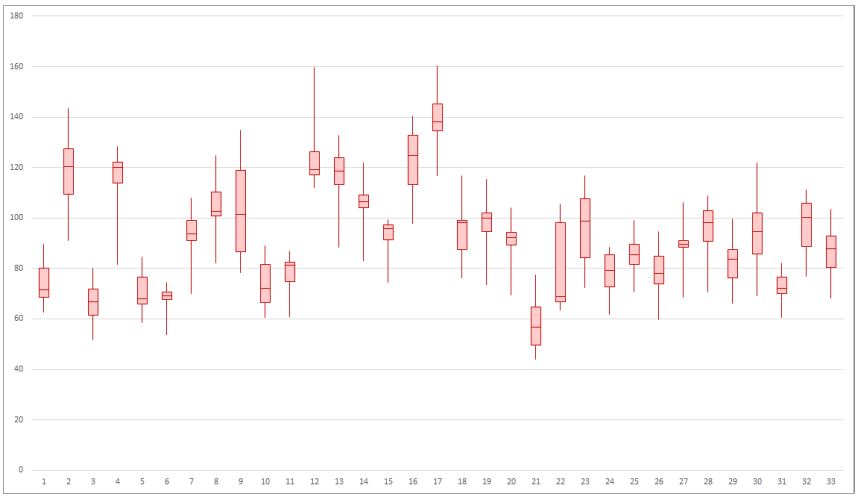


Figura I.5: Gráficos de caixas dos resultados dos testes ao *upload* dos serviços de computação

Tabela I.6: Tabela dos resultados do teste à latência dos serviços de armazenamento. * - Região fora da UE.

				Latência (ms)											
	Provider	Region	Status	Tests Performed	Tests Successful	Median	Mean	Fastest	Slowest	90th Percentile	75th Percentile	25th Percentile	10th Percentile	Standard Deviation	Data Transferred
1	Alibaba Cloud Object Storage	eu-central-1	Success	12	12	50.5	52.08	50	64	50	50	51.5	54	3.95	72 B
2	Alibaba Cloud Object Storage	eu-west-1*	Success	12	12	63	63.83	62	66	63	63	65	66	1.34	72 B
3	Amazon S3	eu-south-1	Success	12	12	66.5	71.83	65	129	65	65	68.5	69	17.3	72 B
4	Amazon S3	eu-west-3	Success	12	12	58	57.83	56	59	56.5	57.5	58.5	59	0.99	72 B
5	Amazon S3	eu-central-1	Success	12	12	60	60.42	58	66	58	58.5	61.5	62.5	2.29	72 B
6	Amazon S3	eu-north-1	Success	12	12	83	86	78	126	79.5	81.5	84.5	85	12.27	72 B
7	Amazon S3	eu-west-1	Success	12	12	80	80.33	79	83	79	79	81	81.5	1.25	72 B
8	Amazon S3	eu-west-2*	Success	12	12	73	72.83	70	75	71	71.5	74	74.5	1.52	72 B
9	CenturyLink Cloud Object Storage	germany	Success	12	12	352	353.08	350	364	351	351.5	353	353.5	3.45	72 B
10	DigitalOcean Spaces	ams3	Success	12	12	62	61.92	61	63	61	61	63	63	0.86	72 B
11	Google Cloud Storage	europe-west2	Success	12	12	76.5	81.42	70	139	73	74.5	78	81	17.68	72 B
12	Google Cloud Storage	europe-north1	Success	12	12	124.5	134.83	112	275	115	116	129.5	131.5	42.79	72 B
13	Google Cloud Storage	europe-west6*	Success	12	12	92.5	94.5	85	111	89.5	91	96.5	102.5	7.1	72 B
14	Google Cloud Storage	europe-west4	Success	12	12	92	94	84	109	85	86.5	101.5	107.5	8.86	72 B
15	Google Cloud Storage	europe-west1	Success	12	12	98.5	105.67	79	196	86	89	105.5	119	29.85	72 B
16	Google Cloud Storage	europe-west3	Success	12	12	82.5	84.67	80	98	80.5	81.5	87	89.5	5.06	72 B
17	Microsoft Azure Cloud Storage	germany-westcentral	Success	12	12	50	50.75	49	56	49	49.5	51	52	1.92	72 B
18	Microsoft Azure Cloud Storage	germany-north	Success	12	12	57	56.58	55	58	56	56	57	57	0.76	72 B
19	Microsoft Azure Cloud Storage	uk-south*	Success	12	12	63	62.75	61	65	62	62	63	63.5	1.01	72 B
20	Microsoft Azure Cloud Storage	france-central	Success	12	12	64.5	68.92	63	110	63	63.5	68	68.5	12.55	72 B
21	Microsoft Azure Cloud Storage	france-south	Success	12	12	65	66	64	72	64.5	65	66.5	67.5	2.12	72 B
22	Microsoft Azure Cloud Storage	norway-east*	Success	12	12	79	79.75	78	82	79	79	81	81	1.16	72 B
23	Microsoft Azure Cloud Storage	uk-west*	Success	12	12	65	64.67	63	67	64	64	65	65	0.94	72 B
24	Microsoft Azure Cloud Storage	eu-north	Success	12	12	69	69.5	68	75	68	68	70	71	2.02	72 B
25	Microsoft Azure Cloud Storage	norway-west*	Success	12	12	68.5	68.67	67	70	68	68	69.5	70	0.94	72 B
26	Microsoft Azure Cloud Storage	switzerland-west*	Success	12	12	60	60	59	63	59	59	60.5	61	1.15	72 B
27	Microsoft Azure Cloud Storage	eu-west	Success	12	12	58.5	59.42	56	70	57.5	58	59.5	60.5	3.43	72 B
28	Microsoft Azure Cloud Storage	switzerland-north*	Success	12	12	56	80.92	53	334	54	54.5	57.5	70.5	76.7	72 B
29	Oracle Cloud Object Storage	eu-amsterdam-1	Success	12	12	61	67.92	60	122	60	60	63	72.5	17.32	72 B
30	Oracle Cloud Object Storage	eu-zurich-1*	Success	12	12	70.5	73.58	68	107	68.5	69	73	73.5	10.27	72 B
31	Oracle Cloud Object Storage	uk-london-1*	Success	12	12	66.5	67.75	65	72	66	66	70	71	2.31	72 B
32	Oracle Cloud Object Storage	uk-cardiff-1*	Success	12	12	72	79.33	69	160	70.5	71	74	75	24.38	72 B
33	Oracle Cloud Object Storage	eu-frankfurt-1	Success	12	12	55.5	84.67	54	321	54.5	55	60	97	74.35	72 B
34	Tencent Cloud Object Storage	eu-frankfurt	Success	12	12	61	64.17	55	88	58	59	67	73	9.02	72 B

Tabela I.7: Tabela dos resultados do teste ao *download* dos serviços de armazenamento. * - Região fora da UE.

						Latency									
	Provider	Region	Status	Tests Performed	Tests Successful	Median	Mean	Fastest	Slowest	90th Percentile	75th Percentile	25th Percentile	10th Percentile	Standard Deviation	Data Transferred
1	Alibaba Cloud Object Storage	eu-central-1	Success	6	6	66.11	67.57	113.76	42.27	92.64	69.35	55.33	43.95	23.37	158.59 MB
2	Alibaba Cloud Object Storage	eu-west-1*	Success	6	6	66.81	63.96	74.27	44.97	73.35	71.19	61.08	51.72	10.04	152.59 MB
3	Amazon S3	eu-south-1	Success	6	6	123.67	119.16	126.83	93.03	126.71	125.55	121.99	107.09	11.85	156.59 MB
4	Amazon S3	eu-west-3	Success	6	6	129.29	123.21	137.67	91.66	134.1	130.16	124.81	106.25	14.93	154.58 MB
5	Amazon S3	eu-central-1	Success	6	6	183.77	175.02	192.77	139.23	189.29	185.29	173.78	152.02	18.13	142.59 MB
6	Amazon S3	eu-north-1	Success	6	6	91.09	90.22	104.61	75.02	101.31	96.71	84.14	78.27	10.11	134.59 MB
7	Amazon S3	eu-west-1	Success	6	6	102.26	98.53	110.16	82.86	109.77	107.14	91.95	83.58	11.13	142.59 MB
8	Amazon S3	eu-west-2*	Success	6	6	98.22	96.46	113.95	70.76	108.12	100.86	96.15	83.03	12.98	140.57 MB
9	CenturyLink Cloud Object Storage	germany	Success	6	6	102.28	95.37	118.43	68.82	112.67	106.12	86.37	71.16	18.08	146.58 MB
10	DigitalOcean Spaces	ams3	Success	6	6	105.09	101.55	180.49	48.62	149.56	116.43	73.66	49.99	44.79	148.58 MB
11	Google Cloud Storage	europe-west2	Success	6	6	233.44	229.26	241.54	208.38	238.35	234.51	228.32	216	10.71	146.58 MB
12	Google Cloud Storage	europe-north1	Success	6	6	217.93	211.61	228.9	186.76	227.31	222.41	204.58	189.58	16.16	148.58 MB
13	Google Cloud Storage	europe-west6*	Success	6	6	206.32	202.59	221.59	184.19	217.05	209.77	195.09	184.39	13.85	150.58 MB
14	Google Cloud Storage	europe-west4	Success	6	6	198.93	194.42	208.56	177.57	204.87	200.71	189.5	179.48	11.13	136.59 MB
15	Google Cloud Storage	europe-west1	Success	6	6	193.46	191.58	204.73	170.25	203.56	198.4	188.85	177.72	11.51	148.58 MB
16	Google Cloud Storage	europe-west3	Success	6	6	178.93	178.11	183.27	168.12	182.04	179.99	178.65	173.37	4.75	128.39 MB
17	Microsoft Azure Cloud Storage	germany-westcentral	Success	6	6	52.9	51.39	56.24	41.1	56.08	55.72	49.78	45.19	5.36	158.59 MB
18	Microsoft Azure Cloud Storage	germany-north	Success	6	6	146.18	130.52	180.61	55.3	177	169.37	104.24	68.4	47.67	158.59 MB
19	Microsoft Azure Cloud Storage	uk-south*	Success	6	6	64.36	66.95	93.61	54.09	82.18	70.12	56.88	54.32	13.61	156.59 MB
20	Microsoft Azure Cloud Storage	france-central	Success	6	6	104.96	107.82	155.63	80.96	134.39	111.43	93.72	84.1	24.22	144.59 MB
21	Microsoft Azure Cloud Storage	france-south	Success	6	6	47.15	47.2	56.87	39.71	54.42	49.69	43.64	40.05	6.04	156.59 MB
22	Microsoft Azure Cloud Storage	norway-east*	Success	6	6	32.56	34.73	41.43	28.63	41.22	36.89	32.28	30.43	4.78	134.6 MB
23	Microsoft Azure Cloud Storage	uk-west*	Success	6	6	51.83	51.71	59.15	40.96	58.71	56.85	48.22	44.58	6.48	156.59 MB
24	Microsoft Azure Cloud Storage	eu-north	Success	6	6	92.32	97.78	140.75	67.06	125.13	100.92	88.53	75.91	22.94	156.59 MB
25	Microsoft Azure Cloud Storage	norway-west*	Success	6	6	112.36	132.11	183.96	98.04	182.51	147.45	107.9	101.48	35.98	133.73 MB
26	Microsoft Azure Cloud Storage	switzerland-west*	Success	6	6	165.44	157.16	177.93	127.82	176.96	172.49	146.13	129.1	20.52	156.59 MB
27	Microsoft Azure Cloud Storage	eu-west	Success	6	6	85.6	77.62	107.82	43.14	101.54	91.97	65.4	45.71	23.87	158.59 MB
28	Microsoft Azure Cloud Storage	switzerland-north*	Success	6	6	91.28	87.82	126.54	55.03	114.91	102.74	69.93	57.28	25.42	144.59 MB
29	Oracle Cloud Object Storage	eu-amsterdam-1	Success	6	6	100.09	102.02	140.28	76.01	124.89	104.93	92.99	81.08	20.23	108.78 MB
30	Oracle Cloud Object Storage	eu-zurich-1*	Success	6	6	77.58	71.06	92.82	38.96	88.27	83.47	63.83	47.35	18.47	150.58 MB
31	Oracle Cloud Object Storage	uk-london-1*	Success	6	6	95.88	92.18	101.66	70.1	100.7	99.28	91.37	79.96	10.68	156.59 MB
32	Oracle Cloud Object Storage	uk-cardiff-1*	Success	6	6	90.73	87.28	102.4	56.8	99.72	94.53	87.71	71.4	14.61	146.58 MB
33	Oracle Cloud Object Storage	eu-frankfurt-1	Success	6	6	131.11	118.86	136.57	89.7	134.93	132.76	110.67	90.54	20.12	150.59 MB
34	Tencent Cloud Object Storage	eu-frankfurt	Success	6	6	197.76	199.54	214.32	178.84	213.99	206.27	195.78	186.87	12.09	160.59 MB

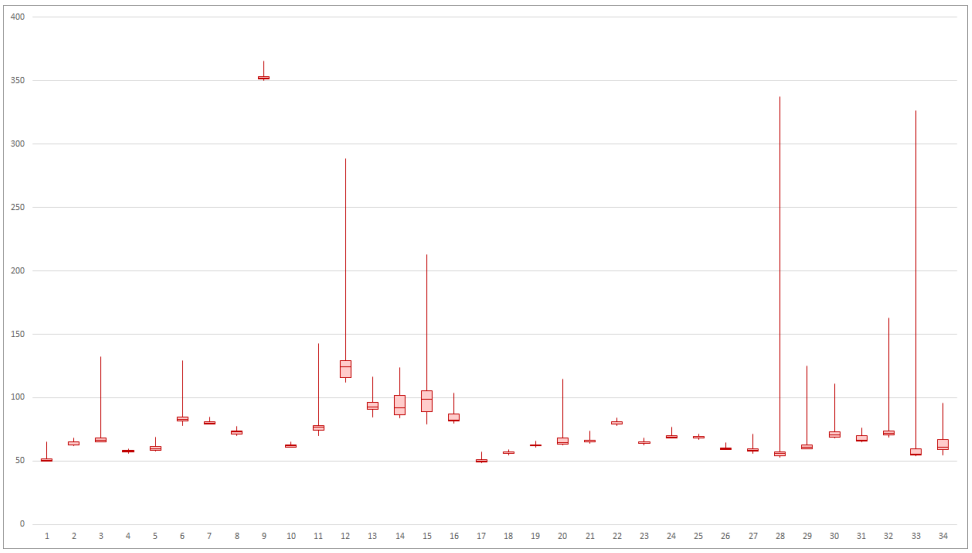


Figura I.6: Gráficos de caixas dos resultados dos testes à latência dos serviços de armazenamento.

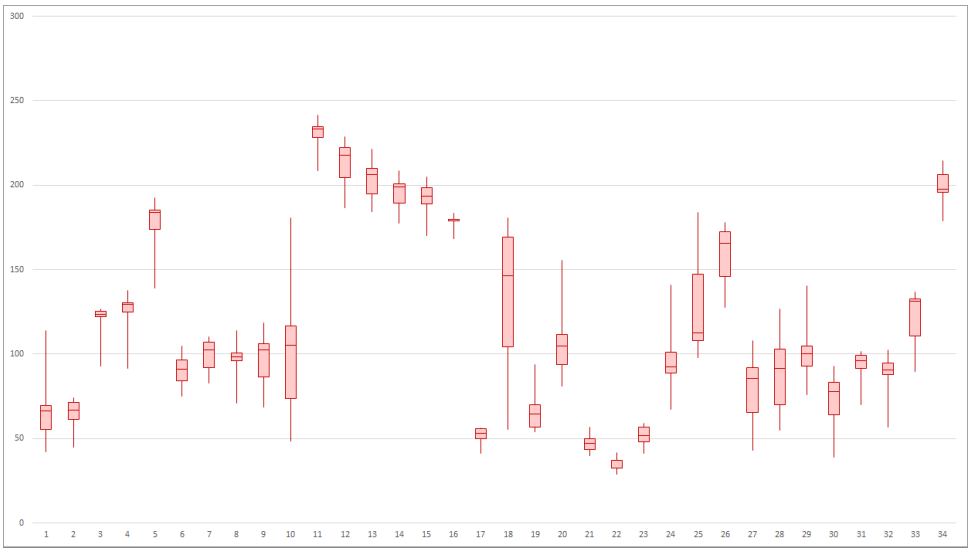


Figura I.7: Gráficos de caixas dos resultados dos testes à latência dos serviços de armazenamento.



Figura I.8: Gráficos de caixas dos resultados dos testes aos CDNs do Azure e AWS.

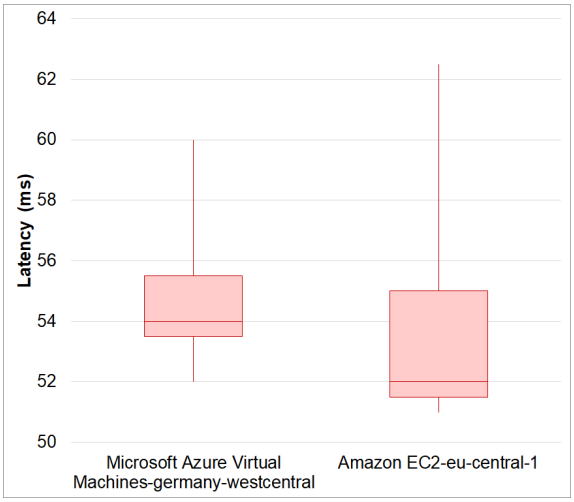


Figura I.9: Gráficos de caixas dos resultados dos testes de latência aos serviços de computação do Azure e AWS.

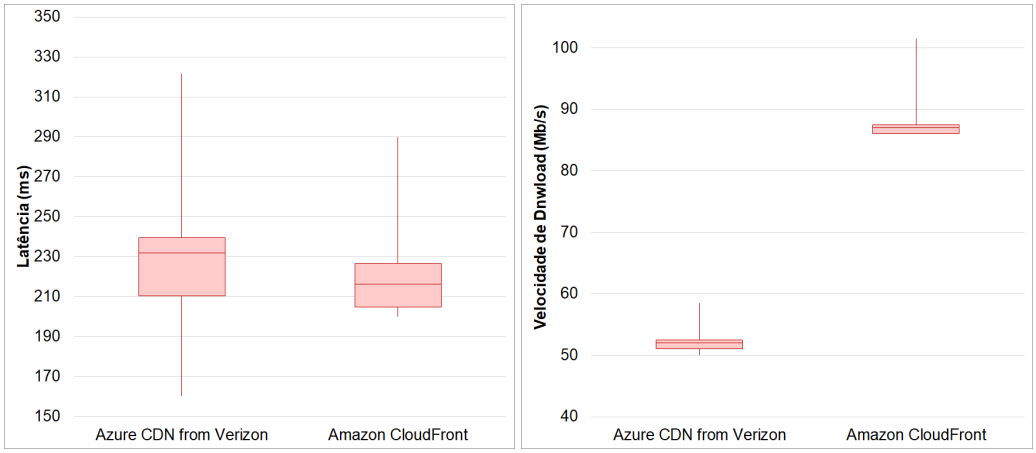


Figura I.10: Gráficos de caixas dos resultados dos testes de *download* e *upload* aos CDNs do Azure e AWS.

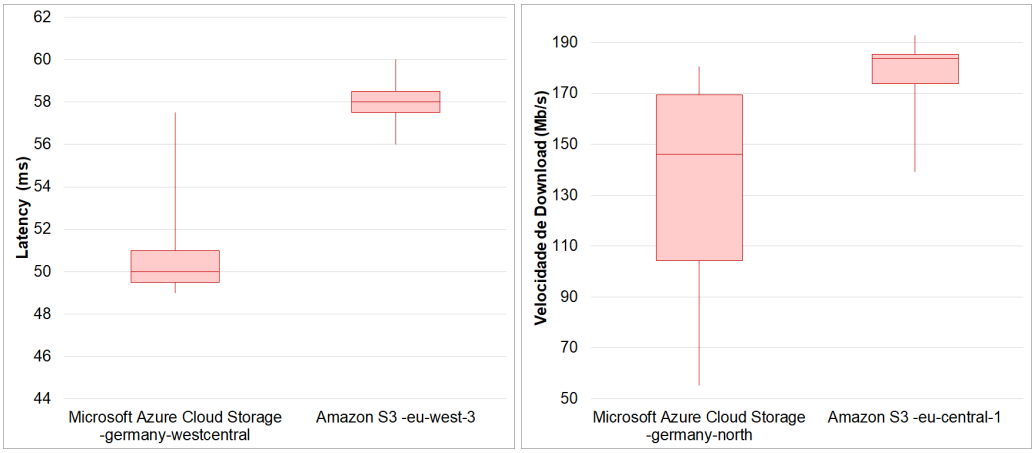


Figura I.11: Gráficos de caixas dos resultados dos testes aos CDNs do Azure e AWS.

Anexo J

Dados de preços

Tabela J.1: Preços dos serviços de computação.

Fornecedor	Instância	Núcleos	RAM (GB)	Armazenamento Temporário (GB)	Preço (€/month)	Fonte
Alibaba Elastic Compute Service	t6-c1m4.xlarge	4	16	32	86.759404	https://www.alibabacloud.com/product/ecs
Amazon Web Services	t4g.xlarge	4	16	30	101.1085056	https://aws.amazon.com/ec2/pricing/on-demand/
CenturyLink Cloud	-	4	16	-	169.6800	https://www.ctl.io/pricing/
DigitalOcean	-	4	16	50	117.6462	https://www.digitalocean.com/pricing/droplets
Google Cloud Platform	Custom	4	16	32	120.083157	https://cloud.google.com/compute/all-pricing
IBM Cloud	bx2d-4x16	4	16	150	139.830912	https://www.ibm.com/cloud/vpc/pricing
Microsoft Azure	B4ms	4	16	32	141.7740	https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/virtual-machines/windows/
Oracle Cloud Infrastructure	E4 - OCPU	4	16	32	50.424	https://www.oracle.com/cloud/storage/pricing/
Tencent Cloud	Standard SA2	4	16	32	105.1420896	https://intl.cloud.tencent.com/pricing/cvm?regionId=17zoneId=170001

Tabela J.2: Preços dos serviços de computação *serverless*.

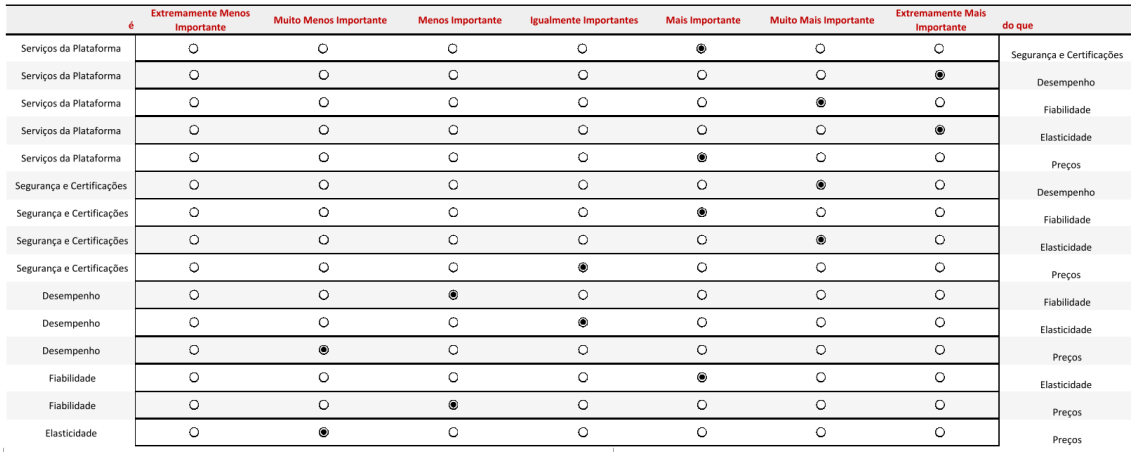
Fornecedor	Nº Execuções	Memória Consumida (GB)	Tempo de Execução (s)	Oferta Execuções (M)	Oferta Memória (GB-s)	Preço Execução (EUR/M)	Preço Recursos (EUR/GB-s)	Preço (EUR/Mês)
Alibaba Cloud Function Compute	5000000	0.5	1	1000000	400000	0.186740000	0.0000153518	32.98
AWS Lambda	5000000	0.5	1	1000000	400000	0.186740000	0.0000155928	33.49
DigitalOcean Functions	5000000	0.5	1		90000		0.0000172735	41.62
Google Cloud Functions	5000000	0.5	1	2000000	400000	0.373480000	0.0000086367	19.25
IBM Cloud Functions	5000000	0.5	1		400000		0.0000170000	33.33
Microsoft Azure Functions	5000000	0.5	1	1000000	400000	0.174601900	0.0000140055	30.10
Oracle Cloud Functions	5000000	0.5	1	2000000	400000	0.0000001867	0.0000141700	29.75

Tabela J.3: Preços dos serviços de armazenamento.

Fornecedor	Preço (EUR/GB.mes)
Alibaba Cloud	0.0130718
Amazon Web Services	0.0224088
CenturyLink Cloud	0.037348
DigitalOcean	0.018674
Exoscale	0.0168066
Google Cloud Platform	0.0242762
IBM Cloud	0.02222206
Microsoft Azure	0.01746019
Oracle Cloud Infrastructure	0.02372
Tencent Cloud	0.018674

Anexo K

Definição dos pesos dos âmbitos de avaliação



	é	Extremamente Menos Importante	Muito Menos Importante	Menos Importante	Igualmente Importantes	Mais Importante	Muito Mais Importante	Extremamente Mais Importante	do que
Serviços da Plataforma		○	○	○	○	◉	○	○	Segurança e Certificações
Serviços da Plataforma		○	○	○	○	○	○	◉	Desempenho
Serviços da Plataforma		○	○	○	○	○	◉	○	Fiabilidade
Serviços da Plataforma		○	○	○	○	○	○	◉	Elasticidade
Serviços da Plataforma		○	○	○	○	◉	○	○	Preços
Segurança e Certificações		○	○	○	○	○	◉	○	Desempenho
Segurança e Certificações		○	○	○	○	◉	○	○	Fiabilidade
Segurança e Certificações		○	○	○	○	○	◉	○	Elasticidade
Segurança e Certificações		○	○	○	◉	○	○	○	Preços
Desempenho		○	○	◉	○	○	○	○	Fiabilidade
Desempenho		○	○	○	◉	○	○	○	Elasticidade
Desempenho		○	◉	○	○	○	○	○	Preços
Fiabilidade		○	○	○	○	◉	○	○	Elasticidade
Fiabilidade		○	○	◉	○	○	○	○	Preços
Elasticidade		○	◉	○	○	○	○	○	Preços

Figura K.1: Comparações par a par dos âmbitos de avaliação para o contexto do projeto.

Tabela K.1: Matriz de comparação par a par dos âmbitos de avaliação.

Matriz	1	2	3	4	5	6
Serviços da Plataforma 1	1.000	3.000	9.000	6.000	9.000	3.000
Segurança e Certificações 2	0.333	1.000	6.000	3.000	6.000	1.000
Desempenho 3	0.111	0.167	1.000	0.333	1.000	0.167
Fiabilidade 4	0.167	0.333	3.000	1.000	3.000	0.333
Elasticidade 5	0.111	0.167	1.000	0.333	1.000	0.167
Preços 6	0.333	1.000	6.000	3.000	6.000	1.000

Anexo L

Definição dos pesos dos critérios

Tabela L.1: Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Serviços da Plataforma.

Âmbito de Avaliação	Critério	Nível de Importância	Peso Ajustado
Serviços da Plataforma	Serviços de Inteligência Artificial	Importância Normal	5.83%
	Serviços de Analytics	Bastante Importante	11.67%
	Serviços de Virtualização de Sistema Operativo	Importância Normal	5.83%
	Serviços de Containerização	Importância Normal	5.83%
	Serviços de Computação Serverless	Bastante Importante	11.67%
	Serviços de DevOps	Importância Normal	5.83%
	Serviços de Integração de IoT	Não Considerar	0.00%
	Serviços de Data Lake	Muito Importante	10.00%
	Bases de Dados em Colunas	Pouco Importante	1.25%
	Bases de Dados Semi-estruturados	Pouco Importante	1.25%
	Base de Dados de Grafos	Não Considerar	0.00%
	Bases de Dados Chave-Valor	Importância Normal	5.83%
	Bases de Dados Relacionais	Bastante Importante	11.67%
	Bases de dados de séries temporais	Importância Normal	5.83%
	Bases de dados de Blockchain	Não Considerar	0.00%
	Armazenamento de Blocos	Importância Normal	5.83%
	Armazenamento de ficheiros	Importância Normal	5.83%
	Armazenamento de Objetos	Importância Normal	5.83%

Tabela L.2: Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Seguranças e Certificações.

Âmbito de Avaliação	Critério	Nível de Importância	Peso Ajustado
Segurança e Certificações:	ISO 27001	Importância Normal	6.59%
	Nivel do certificado Cloud CoC da EU	Bastante Importante	13.74%
	Nivel do certificado CSA Star	Importância Normal	6.59%
	Data Center numa localização que cumpra o RGPD	Bastante Importante	13.74%
	Serviços de criação de funções	Importância Normal	6.59%
	Autenticação Multifator	Importância Normal	6.59%
	Autenticação baseada no risco	Importância Normal	6.59%
	Encriptação de dados em repouso	Importância Normal	6.59%
	Enncriptação de dados em trânsito	Importância Normal	6.59%
	Proteção para ataques DDOS	Importância Normal	6.59%
	Serviços de Rede Privada Virtual (VPN)	Importância Normal	6.59%
	Lista de IPs permitidos	Importância Normal	6.59%
	Deteção de invasão	Importância Normal	6.59%

Tabela L.3: Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Desempenho.

Âmbito de Avaliação	Critério	Nível de Importância	Peso Ajustado
Desempenho:	Latencia de Pedidos à Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	Muito Importante	19.64%
	Download de Conteúdo da Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	Muito Importante	19.64%
	Latencia de Pedidos aos Serviços de Armazenamento	Importância Normal	12.50%
	Download de Conteúdo dos Serviços de Armazenamento	Pouco Importante	5.36%
	Latencia de Pedidos aos Serviços de Computação	Importância Normal	12.50%
	Download de Conteúdo dos Serviços de Computação	Pouco Importante	5.36%
	Upload de Conteúdo para os Serviços de Computação	Bastante Importante	25.00%

Tabela L.4: Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Fiabilidade.

Âmbito de Avaliação	Critério	Nível de Importância	Peso Ajustado
Fiabilidade:	Redundância	Bastante Importante	18.06%
	SLA do Armazenamento	Bastante Importante	18.06%
	SLA da Computação	Importância Normal	6.94%
	SLA dos Serviços de Bases de Dados Relacionais	Bastante Importante	18.06%
	SLA dos Serviços de Bases de Dados Não Relacionais	Importância Normal	6.94%
	SLA da Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	Bastante Importante	18.06%
	ISO 22301	Importância Normal	6.94%
	Saúde Financeira	Importância Normal	6.94%

Tabela L.5: Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Elasticidade.

Âmbito de Avaliação	Critério	Nível de Importância	Peso Ajustado
Elasticidade:	Escalabilidade Horizontal	Pouco Importante	7.14%
	Escalabilidade Vertical	Pouco Importante	7.14%
	Escalabilidade automática de Armazenamento	Bastante Importante	28.57%
	Escalabilidade de Máqunas Virtuais baseada em regras	Importância Normal	19.05%
	Escalabilidade de Máquinas Virtuais baseada no tempo	Importância Normal	19.05%
	Escalabilidade automática de Máquinas Virtuais	Importância Normal	19.05%

Tabela L.6: Importâncias e pesos dos critérios do âmbito de Custos.

Âmbito de Avaliação	Critério	Nível de Importância	Peso Ajustado
Preços:	Preço de Computação (EUR/mês)	Pouco Importante	16.67%
	Preços de Computação Serverless (EUR/mês)	Muito Importante	41.67%
	Preço de Armazenamento (€/GiB.mês)	Muito Importante	41.67%

Anexo M

Resultado da aplicação da metodologia

Tabela M.1: Matriz com o resultado da utilização da metodologia no contexto do projeto.

Âmbito de Avaliação	Critérios	Peso do Macrocritério	Peso do Microcritério	Azure - Pontuação Bruta	Azure - Prontuação Normalizada	Azure - Pontuação Ponderada	AWS - Pontuação Bruta	Azure - Prontuação Normalizada	AWS - Prontuação Ponderada
Serviços da Plataforma:	Serviços de Inteligência Artificial	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Serviços de Analytics	44.61%	11.67%	1	1	0.052045819	1	1	0.052045819
	Serviços de Virtualização de Sistema Operativo	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Serviços de Containerização	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Serviços de Computação Serverless	44.61%	11.67%	1	1	0.052045819	1	1	0.052045819
	Serviços de DevOps	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Serviços de Integração de IoT	44.61%	0.00%	1	1	0	1	1	0
	Serviços de Data Lake	44.61%	10.00%	1	1	0.044610702	0	0	0
	Bases de Dados em Colunas	44.61%	1.25%	1	1	0.005576338	1	1	0.005576338
	Bases de Dados Semi-estruturados	44.61%	1.25%	1	1	0.005576338	1	1	0.005576338
	Base de Dados de Grafos	44.61%	0.00%	1	1	0	1	1	0
	Bases de Dados Chave-Valor	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Bases de Dados Relacionais	44.61%	11.67%	1	1	0.052045819	1	1	0.052045819
	Bases de dados de séries temporais	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Bases de dados de Blockchain	44.61%	0.00%	0	0	0	1	1	0
	Armazenamento de Blocos	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Armazenamento de ficheiros	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
	Armazenamento de Objetos	44.61%	5.83%	1	1	0.026022909	1	1	0.026022909
Segurança e Certificações:	ISO 27001	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Nivel do certificado Cloud CoC da EU	19.94%	13.74%	0.85	0.85	0.023276806	0	0	0
	Nivel do certificado CSA Star	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Data Center numa localização que cumpra o RGPD	19.94%	13.74%	1	1	0.027384478	1	1	0.027384478
	Serviços de criação de funções	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Autenticação Multifator	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Autenticação baseada no risco	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Encriptação de dados em repouso	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Enncriptação de dados em trânsito	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Proteção para ataques DDOS	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Serviços de Rede Privada Virtual (VPN)	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Lista de IPs permitidos	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
	Deteção de invasão	19.94%	6.59%	1	1	0.013144549	1	1	0.013144549
Desempenho	Latencia de Pedidos à Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	3.57%	19.64%	50.5	0.991935484	0.006955652	73	0.870967742	0.006107402
	Download de Conteúdo da Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	3.57%	19.64%	231.86	0.886913552	0.006219217	216.39	0.79904578	0.005603071
	Latencia de Pedidos aos Serviços de Armazenamento	3.57%	12.50%	50	1	0.004462311	58	0.698113208	0.003115198
	Download de Conteúdo dos Serviços de Armazenamento	3.57%	5.36%	165.44	0.593617403	0.001135245	183.77	0.703161418	0.001344739
	Latencia de Pedidos aos Serviços de Computação	3.57%	12.50%	54	0	0	52	0.285714286	0.001274946
	Download de Conteúdo dos Serviços de Computação	3.57%	5.36%	174.15	0.801120872	0.001532079	129.66	0.464177522	0.000887702
	Upload de Conteúdo para os Serviços de Computação	3.57%	25.00%	65.97	0.31891635	0.002846208	73.09	0.488117871	0.004356267
Fiabilidade:	Redundância	8.38%	18.06%	1	1	0.015126586	1	1	0.015126586
	SLA do armazenamento	8.38%	18.06%	99.9	0	0	99.9	0	0
	SLA da Computação	8.38%	6.94%	99.95	0	0	99.99	0.888888889	0.005171483
	SLA dos Serviços de Bases de Dados Relacionais	8.38%	18.06%	99.99	1	0.015126586	99.99	1	0.015126586
	SLA dos Serviços de Bases de Dados Não Relacionais	8.38%	6.94%	99.99	0.947368421	0.005511712	99.99	0.947368421	0.005511712
	SLA da Rede de Fornecimento de Conteúdo (CDN)	8.38%	18.06%	99.9	0	0	99.9	0	0
	ISO 22301	8.38%	6.94%	1	1	0.005817918	1	1	0.005817918
	Saúde Financeira	8.38%	6.94%	Endividamento Global = 1.13	1	0.005817918	Endividamento Global = 2.07	0	0
Elasticidade:	Escalabilidade Horizontal	3.57%	7.14%	1	1	0.002549892	1	1	0.002549892
	Escalabilidade Vertical	3.57%	7.14%	1	1	0.002549892	1	1	0.002549892
	Escalabilidade automática de Armazenamento	3.57%	28.57%	1	1	0.010199567	1	1	0.010199567
	Escalabilidade de Máquinas Virtuais baseada em regras	3.57%	19.05%	1	1	0.006799711	1	1	0.006799711
	Escalabilidade de Máquinas Virtuais baseada no tempo	3.57%	19.05%	1	1	0.006799711	1	1	0.006799711
	Escalabilidade automática de Máquinas Virtuais	3.57%	19.05%	0	0	0	1	1	0.006799711
Preços:	Preço de Computação (EUR/mês)	19.94%	16.67%	141.7740	0.2340	0.007775028	86.759404	0.6953	0.023102915
	Preços de Computação Serverless (EUR/mês)	19.94%	41.67%	33.33309	0.3708	0.030803156	33.491819	0.3637	0.030213788
	Preço de Armazenamento (€/GiB.mês)	19.94%	41.67%	0.01746019	0.8192	0.068050428	0.0224088	0.6154	0.051117692
					Total	**84.74%**		**Total**	**78.30%**