



Universidade de Aveiro
Ano 2018

Departamento de Química

Marta Alexandra
Damião de Amorim

Contributos para a implementação do conceito de Laboratório Verde
no Instituto dos Vinhos do Douro e Porto



Universidade de Aveiro
Ano 2018

Departamento de Química

**Marta Alexandra
Damião de Amorim**

**Contributos para a implementação do conceito de Laboratório Verde
no Instituto dos Vinhos do Douro e Porto**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia Industrial e Ambiental, realizada sob a orientação científica da Doutora Sílvia M. Rocha, Professora Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro, e do Eng.º Tomás Simões do Instituto dos Vinhos do Douro e Porto, I.P.

O júri

Presidente

Professora Doutora Ivonne Delgadillo Giraldo
Professora Associada com Agregação no Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Marcela Alves Segundo
Professora Auxiliar no Departamento de Química da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto

Professora Doutora Sílvia Maria da Rocha Simões Carriço
Professora Auxiliar no Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

À Professora Doutora Sílvia Rocha, por toda a disponibilidade, confiança, motivação, e paciência demonstradas, e por todo o conhecimento transmitido enquanto professora e orientadora.

Ao Instituto dos Vinhos do Douro e Porto por esta oportunidade de estágio, e um especial agradecimento ao Eng.º Tomás Simões e à Eng.ª Natália Simões por toda a disponibilidade e orientação constantes.

A todos os colaboradores do laboratório e dos restantes departamentos do IVDP, por toda a simpatia e boa disposição. Um especial agradecimento ao Sr. Júlio e à Conceição Mota por terem sido incansáveis na transmissão do conhecimento sobre as atividades e funcionamento do laboratório.

A todos os meus amigos “aveirenses” que me acompanharam durante o meu percurso académico e tornaram esses anos os melhores da minha vida.

À Sara Martins, por termos vivido juntas esta aventura, e pela grande amizade que temos desde os primeiros passos na Universidade de Aveiro.

À Rute, por todas as horas de estudo em bibliotecas e cafés, pelo carinho e pelas palavras de motivação constantes.

Aos meus amigos, que me apoiam incondicionalmente, e que estão comigo nos bons e nos maus momentos. A vossa amizade é muito importante e foi vital para a conclusão deste trabalho.

Às duas pessoas mais importantes da minha vida, os meus pais, o meu pilar, por todo o apoio e amor incondicionais desde o momento em que nasci até aos dias de hoje. Sem vocês isto não seria possível. Obrigada por acreditarem em mim.

Palavras-chave

Diagnóstico Ambiental, Indicadores Ambientais, Laboratório Verde, Eco-Escala Analítica, Certificado Verde, Química Verde, Química Verde Analítica, Impacte Ambiental, IVDP, Avaliação Verde

Resumo

A presente dissertação foi realizada no âmbito do estágio curricular inserido no Mestrado de Biotecnologia Industrial e Ambiental da Universidade de Aveiro, decorrido no Instituto dos Vinhos do Porto e Douro, I.P., no Porto, com especial destaque o laboratório da organização.

Um dos principais objetivos deste trabalho foi a realização de uma Revisão de Literatura onde se fez uma pesquisa bibliográfica exaustiva de forma a reunir toda a informação científica relevante para o estudo, com especial incidência nos seguintes conceitos e na importância da sua aplicação na consecução de objetivos verdes e sustentáveis: Química Verde, Química Analítica Verde, e Laboratório Verde.

A segunda etapa consistiu num diagnóstico ambiental visando o estudo do desempenho ambiental do IVDP com o objetivo de compreender a situação atual no que concerne às questões ambientais, através da análise dos principais indicadores ambientais associados às práticas laboratoriais, tais como o consumo de água, o consumo de energia elétrica e respetivas emissões atmosféricas, geração de resíduos perigosos e não perigosos e o consumo de reagentes e solventes químicos. Apesar de não possuir certificado ambiental, está patente na conduta interna do IVDP a preocupação pelas questões ambientais.

Com a última fase do estudo pretendeu-se a identificação e avaliação do carácter verde dos principais métodos analíticos realizados nos quatro setores do SL com recurso a duas ferramentas no âmbito da Química Analítica Verde: a Eco-Escala Analítica e o Certificado Verde. Após a classificação dos métodos, concluiu-se que 27% dos métodos se inserem na categoria A, 51% na categoria B, 17% na categoria C e somente 5% na categoria D. Da mesma forma, observou-se que 90% dos métodos selecionados obtiveram uma pontuação superior a 75, ou seja, são considerados métodos verdes excelentes, o que comprova a adequabilidade desses métodos no respeito às boas práticas no laboratório e à manutenção da qualidade ambiental do laboratório.

Apesar do comportamento ambiental positivo da instituição, foram feitas recomendações na ótica da diminuição do impacte ambiental e da introdução do conceito de economia circular na gestão de resíduos da organização, dos quais se destacam a recuperação e reciclagem de solventes orgânicos e de sais inorgânicos de misturas de resíduos.

Keywords

Environmental Diagnosis, Environmental Indicators, Green Labs, Analytical Eco-Scale, Green Certificate, Green Chemistry, Green Analytical Chemistry, environmental impact, IVDP, Green Assessment

Abstract

The present dissertation was carried out in the scope of the curricular internship held at the Instituto of Wines of Porto and Douro, I.P, in Porto, with special emphasis on the organization's laboratory.

One of the main objectives of this work was to elaborate a Literature Review where an exhaustive bibliographical research was done in order to gather all the scientific information and concepts relevant for the study, focusing on the following concepts and their importance in achieving green and sustainable goals: Green Chemistry, Green Analytical Chemistry and Green Labs.

The second step of the work consisted of an environmental diagnosis aimed at studying the environmental performance of IVDP to comprehend the current situation regarding the environmental issues, by analyzing the main environmental indicators associated with laboratory practices, such as water consumption, consumption of electricity and respective atmospheric emissions, generation of hazardous and non-hazardous waste, and the consumption of chemical reagents and solvents. Although it does not yet have an environmental certification, it is evident in the internal conduct of IVDP the concern for environmental issues.

The last phase of the work was related to the identification and assessment of the green profiles of the main analytical methods performed in the four sectors of the laboratory of IVDP, using two tools widely used in the field of Green Analytical Chemistry: Eco-Scale and Green Certificate. After the classification of the methods, it was concluded that 27% of the methods fall into Category A, 51% in category B, 17% in Category C and only 5% in Category D. Similarly, it was observed that 90% of the selected methods obtain a score higher than 75, that is, they are considered as excellent green analytical methods, which proves the suitability of these methods in terms of the good laboratory practices and the maintenance of the environmental quality of the IVDP's laboratory.

Despite the positive environmental behavior of the institution, some recommendations were made foreseeing the reduction of the environmental impact and introduce the concept of Circular Economy in the IVDP's waste management, which includes the recovery and recycling of organic solvents and inorganic salts from waste mixtures.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento geral	1
1.2. Objetivos do estágio curricular	2
1.3. Contextualização	3
1.3.1. Origem do vinho	3
1.3.2. Região Demarcada do Douro	3
1.3.3. Apresentação da organização: Instituto dos Vinhos do Douro e Porto	5
1.3.3.1. Caracterização da Direção de Serviços Técnicos e de Certificação	7
1.3.3.1.1. Métodos Químicos - Análise Laboratorial.....	8
1.3.3.1.2. Câmara de Provedores – Análise Sensorial	8
1.3.3.1.3. Acreditação e Certificação.....	8
2. Revisão da Literatura	10
2.1. Alterações climáticas e sociais motivadoras da consciência verde	10
2.2. Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade	12
2.2.1. Introdução da economia circular na indústria química	13
2.2.2. Legislação Ambiental Europeia e Portuguesa.....	14
2.2.3. Sustentabilidade ambiental nos setores Industrial e Químico	15
2.2.3.1. Intensidade Energética e emissões de gases atmosféricos.....	16
2.2.3.2. Gestão de resíduos e Reciclagem	17
2.2.3.3. Consumo de água e Pegada Hídrica (PH)	20
2.3. Química Verde (QV).....	23
2.3.1. Os (Primeiros) Doze Princípios da Química Verde de Anastas e Warner	25
2.3.2. Os (Segundos) Doze Princípios da Química Verde de Winterton	26
2.3.3. Química Verde em Portugal.....	28
2.4. Química Analítica Verde (QAV)	29
2.4.1. Surgimento da QAV.....	29
2.4.2. Conceito	31
2.4.3. Reconhecimento da QAV no seio da comunidade científica	32
2.4.4. Métricas da QV e a sua aplicação no âmbito da QAV	32
2.4.4.1. Pictograma NEMI	35
2.4.4.2. Eco-Escala Analítica (EEA).....	39
2.4.4.3. <i>Green Certificate</i> (CV – Certificado Verde)	44
2.5. Laboratório Verde: <i>Green Labs</i>	45
2.5.1. Conceito	45
2.5.2. Principais focos e estratégias	46
2.5.2.1. Adoção de métodos alternativos na preparação de amostras	46
2.5.2.2. Utilização de solventes alternativos – <i>Green Solvents</i>	47
2.5.2.3. Minimização do consumo energético.....	48
2.5.2.4. Gestão de Resíduos	48

2.5.2.5. Segurança e Bem-Estar	50
2.5.3. Implementação dos <i>Green Labs</i> em instituições nacionais e internacionais.....	51
3. Caso de Estudo: Avaliação ambiental de quatro setores integrantes do Serviço de Laboratório do Instituto dos Vinhos do Douro e Porto no âmbito da Química Analítica Verde	53
3.1. Metodologias de pesquisa: recolha e análise dos dados	53
3.2. Caracterização do Serviço de Laboratório	53
3.2.1. Métodos Analíticos – métodos oficiais e métodos internos	55
3.3. Diagnóstico Ambiental: identificação e análise dos indicadores ambientais associados às atividades laboratoriais	59
3.3.1. Consumo de energia elétrica	60
3.3.2. Emissões atmosféricas associadas ao consumo de energia elétrica	62
3.3.3. Consumo de água	64
3.3.4. Reagentes e Solventes Químicos	66
3.3.5. Resíduos perigosos e resíduos não perigosos.....	68
3.3.5.1. Análise global.....	68
3.3.5.2. Caracterização dos resíduos perigosos gerados no laboratório	74
3.3.5.2.1. Setor Físico-Química	74
3.3.5.2.2. Setor Análise Mineral	75
3.3.5.2.3. Setor Cromatografia Líquida	75
3.3.5.2.4. Setor Cromatografia Gasosa	76
3.4. Aplicação da métrica da Química Analítica Verde: Eco-Escala Analítica	77
3.5. Proposta de medidas mitigadoras dos potenciais impactes ambientais que afetam a qualidade ambiental das atividades laboratoriais	84
3.5.1. Separação da água das outras substâncias químicas para posterior descarte	84
3.5.2. Recuperação e reutilização de acetona através de processos de destilação.....	85
3.5.3. Recuperação de nitrato de prata através de soluções de cloretos	86
3.5.4. Outras recomendações	87
4. Conclusão e Perspetivas para o Futuro.....	89
5. Referências Bibliográficas	93
6. Anexos	107

Índice de Figuras

Figura 1: Vinha da região duriense ⁷	4
Figura 2: Ilustração da Região Demarcada do Douro (adaptado ¹¹).	4
Figura 3: IVDP – Delegação do Porto (Rua Ferreira Borges).	6
Figura 4: Organograma do IVDP ¹⁸	7
Figura 5: Representação cronológica dos principais eventos que contribuíram para o aumento da consciencialização ambiental (adaptado ³⁷).	11
Figura 6: Representação gráfica da estimativa do crescimento populacional e da produção química global desde 2000 até 2050 (adaptado ³⁷).	11
Figura 7: Ilustração do contraste entre a Economia Linear e a Economia Circular (adaptado ⁴⁶). ..	13
Figura 8: Representação gráfica da intensidade energética da atividade industrial total e a atividade da indústria química desde 1990 até 2014 (adaptado).	16
Figura 9: Emissões de gases atmosféricos (CO ₂ equiv.) total I referente à Indústria Química da União Europeia (EU28)	17
Figura 10: Representação gráfica das taxas de reciclagem municipais verificadas em 34 países europeus no ano de 2014 (adaptado ⁵²).	19
Figura 11: Consumo de água (%) por setor de atividade (adaptado ⁵⁵).	20
Figura 12: Ilustração da estimativa da Pegada Hídrica Total do consumo durante o período de 1996-2005 (m ³ /ano/per capita) (adaptada ⁵⁶).	21
Figura 13: Pegada Hídrica (m ³ /ano/per capita) de consumo dos países europeus entre 1996 e 2005 (adaptado ⁵⁵).	22
Figura 14: Representação gráfica da evolução da QV em Portugal (2001-2009) ⁷⁵	28
Figura 15: Esquema representativo de todas as etapas que compõem um processo analítico ⁸³	30
Figura 16: Os três vértices componentes da QAV (adaptada ⁸⁸).	31
Figura 17: Esquemática do diagrama de Ishikawa, no qual se apresentam todos os fatores que influenciam um método generalizado de cromatografia líquida (1), bem como todos os impactes ambientais associados ao mesmo (2) (adaptada ⁸⁴).	34
Figura 18: Exemplo de um pictograma de NEMI. Cada um dos campos do círculo representa um dos quatro critérios estabelecidos. Cada campo é preenchido a verde quando os respetivos critérios são cumpridos: PBT (se são utilizados ou não substâncias com as seguintes características: persistência, bioacumulação e toxicidade), P (Perigosidade - se é ou não uma substância perigosa segundo a RCRA), C (Corrosividade – um procedimento analítico é considerado corrosivo se o pH do mesmo for inferior a 2 ou superior a 12), e R (Resíduos – a análise é considerada verde se a produção de resíduos for inferior a 50 gramas).	36
Figura 19: Proposta de pictograma adicional desenvolvido por De La Guardia e Armenta (adaptada ¹⁰⁷).	39
Figura 20: Avaliação dos perfis verdes das metodologias analíticas segundo a classificação CV (adaptada ¹¹⁰).	45
Figura 21: Organograma do Serviço de Laboratório do IVDP.	54
Figura 22: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor FQ (FQI).	57
Figura 23: Representação gráfica da média anual de análises realizada no setor FQ (FQII).	57

Figura 24: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor CG.	58
Figura 25: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor CL.....	59
Figura 26: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor AM. ...	59
Figura 27: Representação gráfica da evolução do consumo total de energia elétrica no IVDP (2014-2016).	60
Figura 28: Representação gráfica dos valores estimados do consumo de energia elétrica dos quatro setores do SL, do consumo total do SL e do consumo total do edifício do IVDP.	61
Figura 29: Taxas de consumo de energia elétrica de cada setor do SL do IVDP.	62
Figura 30: Volume (m ³) de água consumido entre 2014 e 2016 no IVDP	64
Figura 31: Quantidade percentual da quantidade de água lida em cada um dos contadores existentes no IVDP, identificados como Ferreira Borges Maior e Ferreira Borges menor.	65
Figura 32: Volume (L) dos principais reagentes e solventes químicos líquidos gastos por cada um dos setores do SL.	66
Figura 33: Quantidade (%) de reagentes e solventes químicos no estado líquido e no estado sólido por categoria de perigo sistema GHS utilizados no SL.	68
Figura 34: Representação gráfica da evolução da produção de resíduos no IVDP, I.P. desde 2014 até 2016.....	69
Figura 35: Quantidade (em Kg) dos resíduos considerados perigosos produzidos pelo IVDP entre 2014 e 2016.....	72
Figura 36: Quantidade (em Kg) dos resíduos considerados não perigosos produzidos pelo IVDP entre 2014 e 2016.....	73
Figura 37: Quantidade (Kg) de resíduos de vidro produzidos no IVDP entre 2014 e 2016.	73
Figura 38: Representação gráfica da quantidade (percentual) dos resíduos perigosos e dos resíduos não perigosos produzidos pelo IVDP entre 2014 e 2016.....	74
Figura 39: Esquematização do método MIVDP 17. Este método quantifica a acidez volátil em vinhos Porto e Douro, através de volumetria e potenciometria iodométrica.	78
Figura 40: Resultados Eco-Escala Analítica (EEA) dos principais métodos praticados no SL do IVDP.	81
Figura 41: Análise do perfil de verdura segundo a classificação CV dos principais métodos analíticos praticados no laboratório do IVDP.	83
Figura 42: Principais constituintes dos resíduos líquidos perigosos gerados pelo setor CL.....	84
Figura 43: Planta dos dois laboratórios que integram o Setor Físico-Química (FQI e FQII).	111
Figura 44: Planta do Setor Análise Mineral (AMI e AMII).	111
Figura 45: Planta dos laboratórios que integram o Setor Cromatografia Líquida (CLI e CLII)...	112
Figura 46: Planta do laboratório do Setor Cromatografia Gasosa.	112

Índice de Tabelas

Tabela 1: Os Doze Princípios da Química Verde de Anastas e Warner ⁷¹	25
Tabela 2: Os Doze Princípios da Química Verde de Winterton ^{69,73}	27
Tabela 3: Os 12 princípios da QAV de Gałuszka ⁹⁰	32
Tabela 4: Exemplos de algumas métricas da QV.....	33
Tabela 5: Comparação dos perfis verdes de alguns métodos analíticos através da ferramenta NEMI ¹⁰⁵	37
Tabela 6: Pictogramas e classes de perigo do sistema GHS usados para classificar a perigosidade das substâncias químicas na avaliação EEA. ^{108,109}	41
Tabela 7: Pontos de penalização (PPs) atribuídos a cada critério para o cálculo da EEA (adaptada ⁸⁵).....	43
Tabela 8: Estratégias para a minimização do consumo energético nos laboratórios de análise.....	48
Tabela 9: Universidades internacionais que já contemplam a visão Laboratório Verde e as respetivas medidas implementadas.....	51
Tabela 10: Métodos analíticos e respetivos parâmetros analisados de cada um dos setores do SL.....	56
Tabela 11: Valores do consumo energético do IVDP, dos fatores de emissão e emissões totais de CO ₂ , e de toneladas equivalentes de petróleo concernentes à faturação de energia elétrica consumida pelo IVDP em 2014, 2015 e 2016.	63
Tabela 12: MIRR de 2016 do IVDP, I.P.	70
Tabela 13: Pontos de penalização (PPs) do método MIVDP 17, relativo à determinação da Acidez Volátil em vinhos tranquilos e licorosos através de Iodometria.	78
Tabela 14: Ações recomendadas para a melhoria do desempenho ambiental do IVDP.	87
Tabela 15: Evolução da legislação ambiental portuguesa desde os anos 80 até à atualidade (adaptada ⁴⁸).....	107
Tabela 16: Principais parâmetros analisados no Setor FQ (FQI, FII, ISO).....	113
Tabela 17: Principais parâmetros analisados no setor AM (AMI e AMII).	114
Tabela 18: Principais parâmetros analisados no setor CL (CLI e CLII).	114
Tabela 19: Principais parâmetros analisados no setor CG.	114
Tabela 20: Finalidades dos serviços prestados pelo IVDP e a tipologia dos produtos passíveis de serem analisados pelo IVDP.....	115
Tabela 21: Formulário MIRR dos resíduos do IVDP referentes a 2014.	116
Tabela 22: Formulário MIRR dos resíduos do IVDP referentes a 2015.	117
Tabela 23: Pontos de penalização atribuídos a cada um dos métodos dos setores do SL em cada uma das categorias: reagentes/solventes, energia, perigo ocupacional e resíduos, Resultados EEA e respetiva letra e cor da classificação CV.	118

Símbolos e Abreviaturas

AE	<i>Atom Economy</i> – Economia Atómica
AM	Análise Mineral
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CEE	Comunidade Económica Europeia
CV	Certificado Verde
DO	Denominação de Origem
DOP	Denominação de Origem Protegida (Douro e Porto)
DSTC	Direção de Serviços Técnicos e de Certificação
EC	Economia Circular
EEA	Eco-Escala Analítica
EE	Eco-Escala
EQV	Engenharia Química Verde
EU	União Europeia
FE	Fator de emissão
FTIR	<i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i>
GCI	<i>Green Chemistry Institute</i>
GHS	<i>Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals</i>
HPLC	<i>High Performance Liquid Chromatography</i> – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
IG	Indicação Geográfica
IVDP	Instituto dos Vinhos do Douro e Porto
IVP	Instituto do Vinho do Porto
LER	Lista Europeia de Resíduos
LV	Laboratório Verde
MIVDP	Método interno do Instituto dos Vinho do Douro e Porto
MIRR	Mapa Integrado de Registo de Resíduos
NEMI	National Environmental Methods Index
OIV	<i>Organisation Internationale de la Vigne et du Vin</i>
PBT	Persistência, Bioacumulação e Toxicidade
QA	Química Analítica
QAV	Química Analítica Verde
QV	Química Verde
RDD	Região Demarcada do Douro
RME	Reaction Mass Efficiency

1. Introdução

1.1. Enquadramento geral

A ameaça global das alterações climáticas evidencia-se como uma das principais preocupações do século XXI, sendo frequentemente relacionada com o aumento da população mundial e das pressões energéticas, dos recursos naturais e do meio ambiente. O uso intensivo de recursos naturais, cuja taxa de formação é bastante inferior à taxa de consumo, os grandes gastos energéticos, e a libertação de um elevado volume de gases de efeito de estufa para a atmosfera, são exemplos de fatores contribuintes para o agravamento das questões climáticas.

A superação das alterações globais debate-se com conceitos idênticos aos da sustentabilidade ambiental, no sentido da prevenção da poluição atmosférica, com a redução da libertação de gases tóxicos relacionados com o efeito de estufa e com o buraco de ozono, da minimização ou eliminação de substâncias perigosas e da sua libertação para o meio ambiente, da gestão racional dos recursos, como o caso da água, do papel e do plástico, com taxas de consumo anuais astronómicas.

As práticas sustentáveis permitem diminuir os impactes ambientais nocivos, e com uma boa gestão associada é possível manter a eficiência e até incrementar a mesma, traduzindo-se numa mudança vantajosa para as empresas e para as instituições públicas, e de igual forma para a sociedade, onde se identifica o primeiro foco de ação na implementação da consciência sustentável. A sensibilização social é um dos fatores mais importantes no contexto das questões ambientais, pois apenas um esforço global determina a possibilidade do combate do aquecimento global e a sua mitigação, lado a lado com estratégias sustentáveis e exequíveis. Mundialmente, o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade já se encontram integrados nas políticas ambientais e económicas de inúmeros países tanto em entidades institucionais como em entidades municipais, pois a implementação e prática destes conceitos são benéficas tanto para a economia como para os negócios e empresas de cada país, viabilizando o seu crescimento económico e da mesma forma reduzir o impacte ambiental.

Com o desenvolvimento tecnológico, a sociedade tem acesso ao conhecimento e torna-se cada vez mais consciente da situação global atual. Este avanço permitiu a sensibilização da sociedade, e as empresas estão cada vez mais interessadas na diminuição dos impactes ambientais inerentes aos seus serviços, querendo fazer a diferença, dando o seu contributo

para a preservação ambiental. Neste sentido, devido ao seu contato direto com as pessoas, cabe às empresas a inclusão de medidas ambientais nos seus serviços, operações, e instalações, de modo a contribuírem positivamente para o tão importante “impacte verde”.

Os laboratórios consomem grandes volumes de recursos e ao mesmo tempo geram grandes volumes de resíduos, aumentando os impactes ambientais negativos, interferindo com o equilíbrio dos ecossistemas. É necessário então que haja uma boa gestão associada a todos os fluxos de entrada e de saída de todas as atividades do laboratório, de modo a que sejam, sempre que possível, minimizados os impactes ambientais. Esta preocupação ambiental associada aos laboratórios é cada vez mais notória, sendo mais evidente nos laboratórios das universidades americanas, mas a ganhar terreno nas universidades europeias, o que promove a elaboração de planos e programas sustentáveis específicos para as atividades laboratoriais. Este movimento define-se por Laboratório Verde que visa a implementação de práticas no âmbito da sustentabilidade ambiental e da química verde/química analítica verde, e que minimizem os impactes ambientais negativos, e, se possível, proceder à sua eliminação.

1.2. Objetivos do estágio curricular

O estágio curricular no Instituto do Vinhos do Porto e Douro surge de uma proposta apresentada pela própria organização, situada na cidade do Porto, e enquadra-se na unidade curricular “Dissertação/Projeto/Estágio” do Mestrado em Biotecnologia Industrial e Ambiental da Universidade de Aveiro, sendo que o presente documento constitui um Relatório de Estágio realizado no laboratório do IVDP.

Os objetivos do presente trabalho são os seguintes:

- a elaboração de uma Revisão da Literatura onde se pretende reunir todos os referenciais teóricos e outras pesquisas importantes com o intuito de possibilitar uma melhor compreensão da relevância dos conceitos pertinentes ao estudo e a relação entre os mesmos;
- a realização de um diagnóstico ambiental, através do levantamento da situação atual dos vários departamentos do laboratório que têm influência direta ou indireta nos impactes ambientais: energia elétrica, recursos hídricos, reagentes e solventes químicos, resíduos e emissões atmosféricas; enquadrar o estado atual do laboratório do IVDP no contexto da visão do Laboratório Verde;

- aplicação de ferramentas de análise no âmbito da Química Analítica Verde, nomeadamente a Eco-Escala e o Certificado Verde, com o objetivo de traçar o perfil verde dos métodos analíticos e conhecer o seu desempenho ambiental;
- de acordo com os resultados obtidos, pretende-se a apresentação de medidas que permitam melhorar o comportamento ambiental da instituição e que, ao mesmo tempo, sejam exequíveis e viáveis no contexto do laboratório do IVDP;
- demonstração da importância da prevenção de resíduos e da preservação dos recursos disponíveis, no âmbito da Química Verde e da Sustentabilidade;
- a obtenção de experiência profissional, com o desenvolvimento de competências sociais, pessoais e profissionais, relevantes para uma boa integração no seio empresarial;
- o desenvolvimento do espírito crítico e de análise de situações reais e específicas.

1.3. Contextualização

1.3.1. Origem do vinho

A data específica da origem do vinho é desconhecida, mas pensa-se que terá surgido durante o período Paleolítico, com a própria civilização, apesar das evidências mais substanciais pertencerem ao período do neolítico ¹. como recipientes de vinho e uma prensa que foram encontrados no decurso de investigações em grutas localizadas na cidade de Areni, na Roménia, com datação de 4100 anos a.C. ², e na presença de ânforas, peças de barro ou cobre que serviam para conter bebidas líquidas, como o vinho, em túmulos gregos, egípcios e romanos, respeitando as tradições da época, onde acreditavam que, após a morte, os defuntos reunir-se-iam com os deuses ³.

Os avanços tecnológicos vieram permitir uma análise mais pormenorizada das origens da vinicultura, através de diversas técnicas modernas das áreas da Arqueologia, Arqueobotânica e Paleontologia, nomeadamente a datação de carbono, microscopia de alta resolução, e através da análise de ácido desoxirribonucleico (DNA) ^{4,5}.

1.3.2. Região Demarcada do Douro

A Região Demarcada do Douro (RDD), classificada em 2001 como Património Mundial pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), foi a primeira Região Demarcada e Reconhecida do Mundo, graças à sua variedade de heranças que fortalecem a identidade singular do território e da paisagem do Douro⁶.



Figura 1: Vinha da região duriense ⁷.

Em 1619 surgia o nome “Porto” na individualização de vinhos, sendo que, 80 anos depois, foi introduzida a denominação de “Vinho do Porto” (ou *Wine Port*), e em 1713 estabelecia-se a “marca do Porto” ⁸.

Esta região, também conhecida como “País Vinhateiro”, foi criada por Sebastião José de Carvalho e Melo, que viria a ser mais tarde nomeado Primeiro-Ministro e Marquês de Pombal, através da Lei de 1756, conduzindo ao surgimento da primeira “Denominação de Origem” (DO) através da criação da Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto Douro ⁹.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 7934, a Lei, apesar da sua instituição, só viria a ser confirmada em 1921 ⁸, com a definição da RDD em 4 distritos (Vila Real, Viseu, Bragança e Guarda), 21 concelhos e 172 freguesias, havendo um agrupamento das mesmas em 3 sub-regiões geográficas distintas, com índices climáticos e socioeconómicos igualmente distintos. As três regiões denominam-se por Baixo Corgo, Cima Corgo e Douro Superior ¹⁰, ilustradas na **Figura 2**.

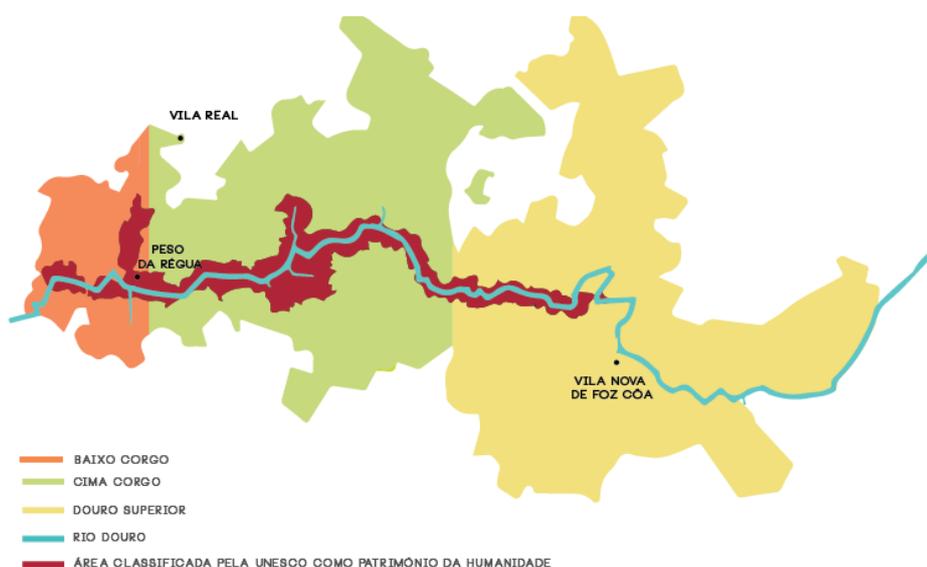


Figura 2: Ilustração da Região Demarcada do Douro (adaptado ¹¹).

A zona do **Baixo-Corgo** localiza-se na margem direita do Rio Douro, desde a freguesia de Barqueiros até ao Rio Corgo, na Régua, e na margem esquerda, de Barrô até ao Rio Temi-Lobos, próximo de Vila Pouca de Armamar. O **Cima-Corgo** prolonga-se desde a fronteira da sub-região anterior até ao Cachão da Valeira. O **Douro Superior** estende-se desde a última até à fronteira com Espanha¹².

A DO “Porto” traduz-se numa caracterização de elevados prestígio e qualidade, exigindo assim uma regulamentação rigorosa que acompanhe a produção e o engarrafamento do vinho⁸.

Durante a primeira metade da década 20, assistiu-se a um enorme crescimento da produção de vinho do Porto e da sua exportação. De modo a sustentar esta ideia, foi criado em 1926 um Entrepósito único e exclusivo em Vila Nova de Gaia, uma vez que era nesta cidade que se localizava o terminal do circuito do vinho do Porto antes de ser exportado para o estrangeiro. Ficou assim estabelecido, através de inúmeros Decretos-Lei, que esta entidade fiscal ficaria responsável por todas as empresas de vinho do Porto, de todo o território Duriense, com o objetivo de garantir a produção de produtos puros e genuínos e evitar fraudes e falsificações, protegendo o prestígio de todas as valências envolvidas na DO “Porto”¹³, comumente conhecida no seio da comunidade enológica como DOP.

A DO “Douro” (DOD) surge oficialmente em 1907, mas só em 1982 é completada a sua regulamentação. Esta denominação está associada a um grande prestígio e é reconhecida e valorizada nacional e internacionalmente devido à excelente qualidade dos vinhos⁸.

1.3.3. Apresentação da organização: Instituto dos Vinhos do Douro e Porto

Antes do surgimento do IVP (que mais tarde se torna IVDP), os comerciantes do setor do vinho do Porto eram representados pela seção de vinhos da Associação Comercial do Porto. A 10 de Abril de 1933, o Governo introduzia o Grémio dos Exportadores do Vinho do Porto (GEVP), justificando-o com a necessidade de contornar as lacunas inerentes à exportação do produto.



Figura 3: IVDP – Delegação do Porto (Rua Ferreira Borges).

Nesse mesmo ano, com a publicação do Decreto nº 22461 no *Diário do Governo*, foi criado o IVP, autoridade responsável pela coordenação e monitorização do sector do vinho do Porto, mais concretamente no controlo da qualidade e certificação do produto, na fiscalização rigorosa do circuito do vinho, e também na promoção da imagem do vinho do Porto. As atividades da Casa do Douro - encarregue de proteger e impor disciplina na produção do vinho – e do GEVP passaram a ser orientadas pelo IVP, com a finalidade de controlar a qualidade da produção e do produto e a sua promoção¹⁴.

O IVDP, surge da aliança entre o IVP e a CIRDD (Comissão Interprofissional da Região Demarcada do Douro), em 2003, detendo toda a autoridade no controlo, certificação, promoção e proteção das DO “Porto” e DO “Douro”, bem como da Indicação Geográfica (IG) “Duriense”. O IVDP, participa também na regulamentação da cultura da vinha (o instituto assegura que as condições do solo e as condições climatéricas, por exemplo, são respeitadas, e se estão em consonância com as condições exigidas pela DO), e incentiva as boas práticas culturais e ambientais por parte dos produtores⁸. Esta é a principal missão desta instituição pública, que protege e promove concomitantemente a imagem prestigiosa da RDD e dos seus produtos, com as respetivas DO e IG, tanto a nível nacional como internacional, enaltecendo o seu valor junto dos produtores e consumidores, sustentado na diferenciação das diferentes DO e do seu “*terroir*”¹⁵.

O IVDP, sediado no Peso da Régua, é constituído por quatro órgãos: o Conselho Diretivo, constituído por um presidente e um vice-presidente; o Conselho Interprofissional, onde estão representados todos os agentes económicos relacionados com a produção e comércio dos vinhos do Porto e do Douro (órgão que faz a gestão das DO e da IG); o Conselho Consultivo, responsável pela consulta, apoio e definição dos procedimentos exercidos pelo IVDP; e o

Fiscal Único, cujas competências estão consagradas nos termos da Lei n.º 3/2004, de 15 de janeiro^{16,17}.

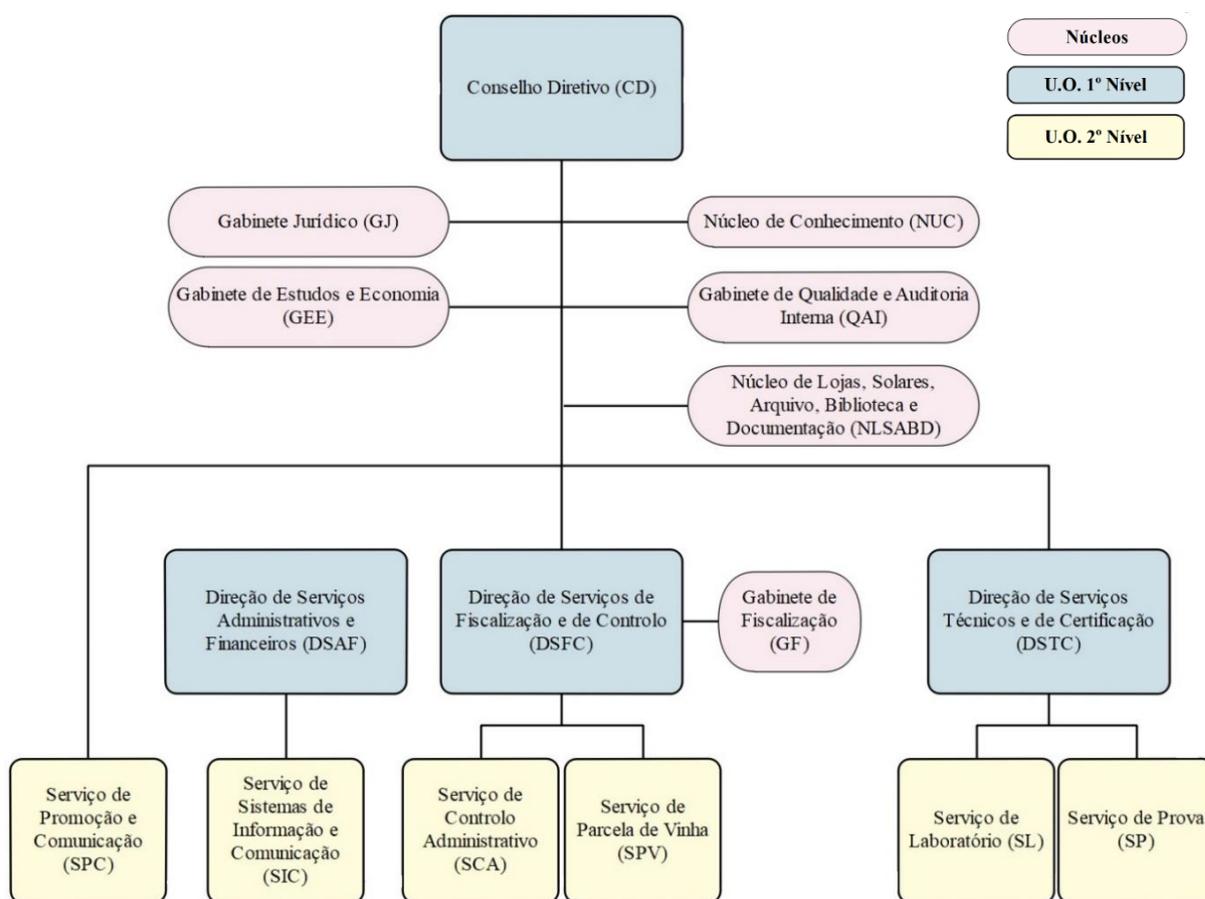


Figura 4: Organograma do IVDP¹⁸.

1.3.3.1. Caracterização da Direção de Serviços Técnicos e de Certificação

É na cidade do Porto que se situa o laboratório do IVDP, mesmo no centro histórico da cidade. O IVDP oferece serviços de certificação principalmente de vinhos e aguardentes víquicas do Porto e Douro, mas também presta assistência a outro tipo de bebidas. As análises laboratoriais e sensoriais destas bebidas são realizadas nestas instalações. A Direção de Serviços Técnicos e de Certificação (DSTC) integra o Serviço de Laboratório (SL) e o Serviço de Prova (SP), inseridos em espaços distintos com estruturas e equipamentos específicos, de forma a garantir a qualidade dos serviços prestados. O IVDP do Porto engloba também a Direção dos Serviços Administrativos, Financeiros e Recursos Humanos, e os Serviços de Apoio à Presidência¹⁹.

1.3.3.1.1. Métodos Químicos - Análise Laboratorial

O IVDP integra um laboratório moderno onde são analisados os parâmetros específicos de cada tipo de vinho, tranquilos e licorosos, aguardentes víquicas e bebidas espirituosas, dependendo da finalidade da análise e/ou dos pedidos dos clientes. Este laboratório assegura as análises físico-químicas, estando equipados com instrumentos e aparelhos modernos, incluindo também profissionais altamente competentes. O laboratório divide-se em diversos setores, nomeadamente o setor Físico-Química, Análise Mineral, Cromatografia Gasosa, Cromatografia Líquida, e Microbiologia.

As análises químicas são efetuadas recorrendo a métodos desenvolvidos pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (*Organisation Internationale de la Vigne et du Vin* – OIV) integrados no Compêndio dos Métodos Internacionais de Análise dos Vinhos (*Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins*)²⁰. Estes métodos reconhecidos mundialmente sofreram adaptações e avaliações de modo a possibilitar a sua aplicação aos vinhos licorosos, constituindo assim os métodos internos dos laboratórios do IVDP, designados através da sigla MIVDP²¹.

1.3.3.1.2. Câmara de Provedores – Análise Sensorial

O prestígio da Câmara de Provedores do IVDP deve-se ao grande reconhecimento internacional inerente, uma vez que foi a primeira câmara de provedores acreditada mundialmente e hoje em dia certifica todos os géneros de vinhos²².

A Câmara de Provedores integra o Serviço de Prova do IVDP, onde enólogos certificados avaliam as amostras segundo as suas características olfativas, visuais e gustativas. Os vinhos do Porto e os vinhos do Douro transmitem sensações e características particulares da Região Duriense, e esta análise de prova possibilita explorar a identidade única dos vinhos e o reconhecimento efetivo da sua excelência e avaliação da sua qualidade. Deste modo, a análise das qualidades organoléticas do vinho consiste assim numa análise complementar da análise laboratorial, conduzindo no final ao perfil qualitativo dos vinhos analisados.

1.3.3.1.3. Acreditação e Certificação

Para uma instituição, de modo a garantir a credibilidade dos seus serviços e produtos junto do seu público-alvo e a abertura de portas para o comércio internacional, é vital a sua acreditação através de certificações que validem a fiabilidade não só dos serviços e produtos

da própria, mas também as competências técnicas e interprofissionais dos seus colaboradores nos serviços prestados.

Estes dois conceitos são bastante distintos entre si relativamente aos respetivos objetivos e referenciais²³. De acordo com a norma ISO/IEC 17000, a certificação – de sistemas de gestão, de produtos, serviços, ou até mesmo de pessoas – é uma das atividades de avaliação de conformidade, que se baseia num processo que demonstra aos clientes empresariais, aos consumidores, e principalmente às autoridades públicas que efetivamente a empresa em questão cumpre os requisitos estipulados, nomeadamente de normas, regulamentos e outras especificações, correspondendo às expectativas da qualidade, ecologia, segurança, economia, confiabilidade, compatibilidade, interoperabilidade, eficiência e eficácia dos serviços prestados e dos produtos disponibilizados^{23,24}.

A acreditação traduz-se na formalização do reconhecimento das competências técnicas de uma entidade na execução das atividades a que se propõe na avaliação da conformidade, nomeadamente calibrações, ensaios, inspeções, certificações, verificações, entre outros²⁵, de modo a transparecer e garantir a existência do nível mínimo de competência técnica, exigido pela regulamentação e reconhecido internacionalmente²⁵. A acreditação segundo a norma ISO/IEC 17025 é considerada por diversos autores como sendo o reconhecimento mais valorizado aquando da acreditação de laboratórios de metrologia²³.

Em 1994, o laboratório do IVDP foi integrado no Sistema Português de Qualidade e acreditado por uma entidade acreditadora em Portugal, o IPAC (Instituto Português de Acreditação, I.P.), através da atribuição do Certificado de Acreditação n.º L0115 para 12 ensaios a vários tipos de produtos, e atualmente cumpre os critérios de certificação segundo a norma NP EN ISO/IEC 17025:2005; em 1999, a Câmara de Provedores do IVDP foi a primeira a ser acreditada a nível mundial, através do Certificado de Acreditação n.º L0235, atualmente acreditada segundo a norma anteriormente referida. Mais recentemente, em 2010, houve uma complementação de certificações, e desde esse ano o IVDP é acreditado como Organismo de Certificação de produtos segundo a norma NP EN ISO/IEC 17065:2014²², detendo no total 62 ensaios acreditados²⁶.

2. Revisão da Literatura

2.1. Alterações climáticas e sociais motivadoras da consciência verde

Nas últimas décadas, a população mundial tem vindo a aumentar consideravelmente e, por conseguinte, a sua necessidade de consumo, aumentando a procura de recursos. Surge assim uma pressão por parte das indústrias na expansão sua atividade, de modo a sustentar as exigências do aumento demográfico²⁷. O desenvolvimento industrial e tecnológico potenciam os efeitos antropogénicos, exercendo impactos negativos tanto no meio ambiente como na sociedade e saúde humana²⁸.

Em meados dos anos 60, denotou-se um grande nível de preocupação sobre os efeitos nefastos (tóxicos e poluentes) para o meio ambiente e para a saúde humana, através da publicação de Rachel Carson designada *Silent Spring*, conseguindo captar a atenção do público para os efeitos negativos do pesticida DDT (diclorodifeniltricloroetano) na população dos pássaros²⁹, mais propriamente ao nível do sistema reprodutor, tais como a má formação dos seus ovos, que desenvolviam cascas moles, inviabilizando o desenvolvimento das crias, esterilidade, e a morte de embriões de variadas espécies de pássaros, o que proporcionou um forte declínio da população de aves³⁰. Foi, e atualmente ainda é, considerada a grande impulsionadora do movimento da consciência ecológica e do movimento *verde* moderno³¹.

No final da década de 60, em maio de 1969, o Secretário-Geral das Nações Unidas (UN–*United Nations*), U Thant, publicou um relatório onde expressava a sua preocupação relativamente às mudanças ambientais e o seu impacto nos ecossistemas, culminando na criação de um comité ambiental integrado na OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) em 1970^{32,33}. Dois anos mais tarde ocorre a Conferência da UN sobre o Meio Ambiente Humano (*United Nations Conference on the Human Environment*), realizada em Estocolmo, capital sueca, cujo foco residiu na constante ameaça ao meio ambiente³⁴. Neste evento foram apresentados os vários problemas associados à destabilização dos ecossistemas e o ressentimento da humanidade face a esses malefícios, culminando na elaboração da Declaração de Estocolmo, sustentada com princípios que favorecem a proteção ambiental³⁵. Deste modo, surge o primeiro compromisso ambiental por parte da UN através da criação do seu Programa Ambiental (*United Nations Environment Programme*), onde todas as nações acordaram numa aliança global nos trabalhos associados às questões ambientais, de modo a garantir um suporte mais coeso na resolução de

problemas, nomeadamente na poluição ambiental e ameaça da biodiversidade³⁶. Estas ações resultantes da Conferência de Estocolmo consistiram então na primeira estratégia internacional para a proteção ambiental³⁴.

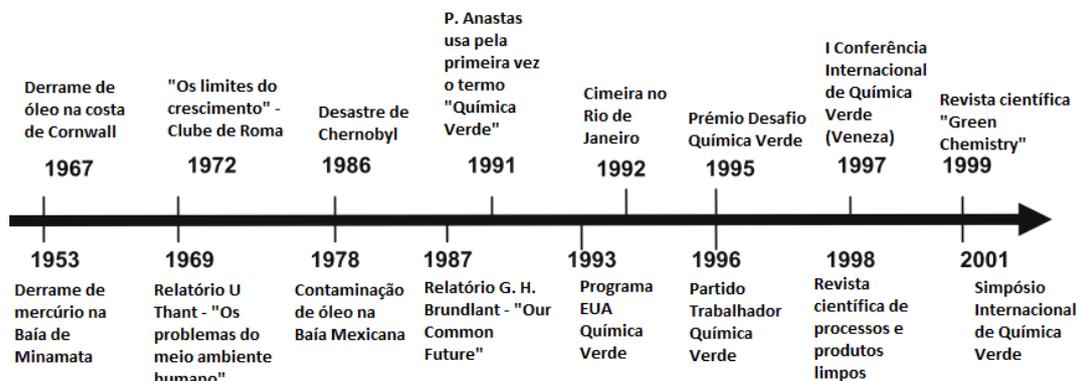


Figura 5: Representação cronológica dos principais eventos que contribuíram para o aumento da consciencialização ambiental (adaptado³⁷).

Os membros do Clube de Roma, um grupo de profissionais de várias áreas científicas, reuniam-se frequentemente de forma a debaterem os mais diversos assuntos, na sua maioria de índole ambiental. Em 1972, os mesmos publicaram um relatório denominado “Os Limites do Crescimento”, com o apoio de investigadores do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), onde apresentavam uma simulação das relações entre os recursos do planeta e a população humana³⁸, segundo a projeção de cinco variáveis: o crescimento rápido da população; a industrialização excessiva; o aumento da poluição; elevada produção de alimento; e o esgotamento de recursos; foi possível conjecturar o aumento da população de 2000 até 2050 (47%) e do aumento da produção química global no mesmo espaço temporal (330%), aumentando assim o potencial de poluição química³⁷.

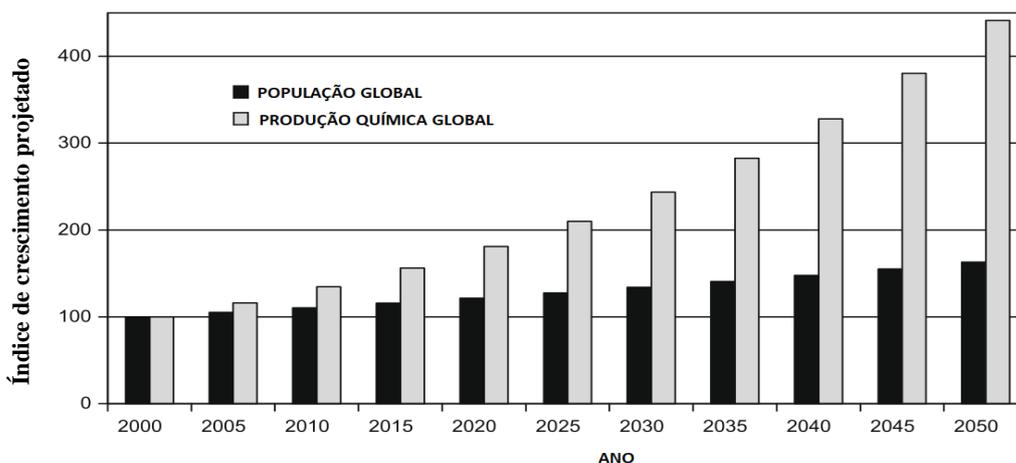


Figura 6: Representação gráfica da estimativa do crescimento populacional e da produção química global desde 2000 até 2050 (adaptado³⁷).

Os autores defendiam a tese de que a taxa de consumo dos recursos verificada até à data era insustentável, iniciando-se o debate sobre a temática da sustentabilidade e da preocupação em garantir a mesma para as gerações futuras³⁸.

No ano de 1992, no Rio de Janeiro, ocorre a Conferência da UN sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a ECO92, na qual se reuniram 179 países. Foi então definida a Agenda 21, onde foi estabelecido o compromisso por parte de todas as nações participantes no zelo pelo desenvolvimento sustentável, através da adoção de políticas e estratégias de gestão sustentadas na integridade ambiental, equidade social e eficiência económica, os três pilares da sustentabilidade³⁹.

2.2. Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade

Em 2007, Johnston estimou a existência de aproximadamente trezentas definições para o conceito de “sustentabilidade”⁴⁰. Contudo, a compreensão moderna do mesmo vigora com a publicação do relatório *Our Common Future*, conhecido também como *Brundtland Report*, em 1987, realizado pela *United Nations World Commission on Environment and Development* (Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento), criada pela ONU.⁴¹ Neste documento consagrou-se o conceito de desenvolvimento sustentável, estabelecido como o “desenvolvimento que vai de encontro às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprir as suas próprias necessidades”. Com o intuito de envolver a natureza holística, flexível e adaptativa deste termo, surge uma nova definição como *a integração equilibrada e sistémica do desempenho intra e intergeracional económico, social e ambiental*⁴².

Sendo este conceito dotado de grande complexidade, o mesmo serviu de inspiração a Elkington, em 1998, quando desenvolveu o termo *triple bottom line*, de forma a tornar o conceito “desenvolvimento sustentável” mais palatável na comunidade empresarial, permeabilizando a ideia de que este seria uma extensão lógica do foco tradicional no desenvolvimento económico. Sublinhou também a importância da correlação entre aspetos ambientais, sociais e económicos da sociedade humana e global, de forma a clarificar a sustentabilidade^{41,43}, havendo um equilíbrio entre estes três fatores, para que todos os aspetos sejam otimizados, não contemplando avaliações erróneas que por consequência fazem com que uns fatores sejam levados em consideração em detrimento dos outros. A sustentabilidade implica um processo de aprendizagem e treino contínuos e com aplicação direta nas três dimensões referidas; é o objetivo final do processo do desenvolvimento sustentável⁴⁴.

A reputação das empresas geralmente é avaliada consoante o seu desempenho no âmbito da sustentabilidade, desde a sustentabilidade ambiental, filantropia, consciencialização social, até à sustentabilidade financeira, governo, e qualidade do produto. O termo também abrange uma abertura na comunicação e um comportamento honesto, atitudes essenciais que demonstram respeito pelos outros e permitem atingir os requisitos para a responsabilidade social⁴⁵. Algumas empresas adotam medidas sustentáveis de forma a renovar a sua imagem, a torná-la mais segura, mais verde e amiga do ambiente, de modo a cativar o público, que cada vez mais se interessa pelas questões ambientais e na eliminação dos impactes ambientais⁴⁵.

2.2.1. Introdução da economia circular na indústria química

A economia circular, um conceito que se traduz numa abordagem estratégica para as empresas, tornou-se relevante no final da década de 70, com a introdução da sua definição por parte de Pearce e Turner, através da publicação do livro *Economics of Natural Resources and the Environment*, em 1989, onde apresentam uma descrição sobre a influência dos recursos naturais na economia global⁴².

Em 2017, Geissdoerfer et al. criaram a sua própria definição de EC baseada em relatos de outros autores, como *um sistema regenerativo em que as entradas de recursos e os resíduos, emissões, e o vazamento de energia são minimizados através de fluxos de materiais e energia lentos, fechados e estreitos, sendo que podem ser alcançados através da projeção, manutenção, reparação, reutilização, remanufatura, renovação e reciclagem a longo prazo*⁴².



Figura 7: Ilustração do contraste entre a Economia Linear e a Economia Circular (adaptado⁴⁶).

A EC está cada vez intrínseca nas estratégias e modelos de negócio de muitas empresas nacionais e internacionais, influenciando também governos e agências governamentais, que

cada vez mais demonstram a sua preocupação e interesse nestas estratégias de prevenção e remediação de poluição. A Alemanha foi o país pioneiro na inclusão da EC no seu sistema legislativo, em 1996, através do decreto “*Closed Substance Cycle and Waste Management Act*”; seguiu-se o Japão, em 2002, com a implementação da lei “*Basic Law for establishing a Recycling-Based Society*”, e em 2009 a China cria uma lei promotora da Economia Circular (“*Circular Economy Promotion Law of the People’s Republic of China*”). Em 2015, a União Europeia (UE) incorpora a filosofia com a criação da “Estratégia da Economia Circular”.

A adoção desta abordagem na indústria química torna-se uma oportunidade na redução da sua pegada ambiental com a introdução de práticas de reciclagem e a criação de novos cenários que incluem a reciclagem dos produtos gerados na síntese química, de forma a minimizar o volume de resíduos, tornando-os em matérias-primas para novas sínteses.

Outro aspeto que aponta a magnitude da reciclagem na indústria química é a recuperação e reutilização de solventes em processos químicos onde o uso de solventes é exigente, reduzindo a necessidade dos mesmos nos processos químicos. Das muitas metodologias já investigadas para tal, a destilação representa o procedimento mais viável para esta estratégia. Apesar de exigir uma grande quantidade de energia elétrica e representar 10-15% do consumo de energia mundial, diversos autores investigaram os benefícios ambientais associados aos processos de recuperação de solventes e à incineração dos solventes como destino final através de análise do ciclo de vida (*Life Cycle Analysis - LCA*), concluindo-se que o afastamento da destilação como processo de recuperação de solventes não é ambientalmente sustentável uma vez que a não realização da reciclagem demonstra-se mais prejudicial para a saúde humana e para os ecossistemas⁴⁷.

2.2.2. Legislação Ambiental Europeia e Portuguesa

A adesão de Portugal à UE, em 1986, permitiu que a regulamentação ambiental em Portugal começasse efetivamente a ser valorizada e cumprida, uma vez que a Comunidade Económica Europeia (CEE) já havia criado legislação e institutos especializados na promoção da consciencialização ambiental com vista à proteção dos cidadãos e do meio ambiente. Primeiramente foi criado o Comité Europeu de Peritos para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais, em 1962. Em 1967 dava-se a aprovação da Diretiva Europeia relativa à classificação da rotulagem de substâncias perigosas. No ano seguinte criava-se o Comité para a Poluição das Águas, no seguimento da proclamação da Carta Europeia da Água pelo Conselho Europeu. Em 1970 verificou-se a aprovação das diretivas

relativas ao nível sonoro e às emissões de veículos a motor; um ano mais tarde, Portugal dava os primeiros passos em matéria de proteção ambiental, participando na Conferência de Estocolmo com a comunicação da Comissão Nacional de Ambiente (CNA), e em 1974 cria a Secretaria de Estado do Ambiente (SEA). Uns anos mais tarde, em 1995, surgem alterações no código penal português, através da inclusão dos artigos 278º, 279º e 280º, que consideram crime os “danos contra a natureza”, a poluição” e a “poluição com perigo comum”, respetivamente.

Durante o período do Estado Novo, devido ao regime político vigente da época, não se verificou uma evolução significativa nas ações protecionistas ambientais, porventura devido à inquietação política e social que se vivia na época. Após o 25 de Abril, e com a entrada de Portugal na antiga CEE, em 1986, houve um aumento da preocupação ambiental, não só por influência das entidades reguladoras europeias, mas também com o intuito de colocar Portugal ao nível dos restantes integrantes da UE⁴⁸. Assim, foi criada a Lei de Bases (Lei nº 11/87, de 7 de abril), que ainda hoje é considerada a lei mais importante de índole ambiental que vigora no sistema português. De fato, esta lei consagra a necessidade de licenças para a utilização dos recursos naturais, os princípios de poluidor-pagador, melhoramentos no que diz respeito ao ordenamento de território, meios de combate ao ruído e poluição, entre outras medidas relevantes para uma gestão ambiental sustentável.

Apesar de a maioria das leis advirem de imposições europeias, Portugal tem vindo a desenvolver cada vez mais políticas e legislação pertinentes no âmbito da proteção ambiental, no sentido de tornar o país cada vez mais sustentável e de atingir as metas e os objetivos propostos, tanto a nível nacional como mundial. A evolução da legislação ambiental em Portugal encontra-se representada na seção Anexos na página 107.

2.2.3. Sustentabilidade ambiental nos setores Industrial e Químico

Os hábitos da população seguem tendências cada vez mais nefastas para o meio ambiente, pois apesar dos esforços para a sensibilização da população, estes ainda não são suficientemente eficazes na consciencialização da sociedade no respeitante à proteção ambiental. As alterações climáticas são diariamente tema de destaque nos diversos meios de comunicação, cada vez mais potenciada pelos hábitos de consumo da população, aumentando o número anual de desastres ambientais. Deste modo, urge a mudança de estilos de vida, políticas empresariais e leis governamentais que viabilizem a minimização do impacto ambiental das atividades antropogénicas e aumentem os níveis de sustentabilidade.

2.2.3.1. Intensidade Energética e emissões de gases atmosféricos

O nível do uso energético deve ser diminuído, pois a libertação de dióxido de carbono (transportes e setor industrial) cada vez mais atinge valores preocupantes. Contudo, a intensidade energética na Indústria Química tem vindo a diminuir desde 1990, sendo que atinge valores inferiores dos da atividade industrial total. Essa comparação entre esta última e a indústria química encontra-se ilustrada na **Figura 8**.

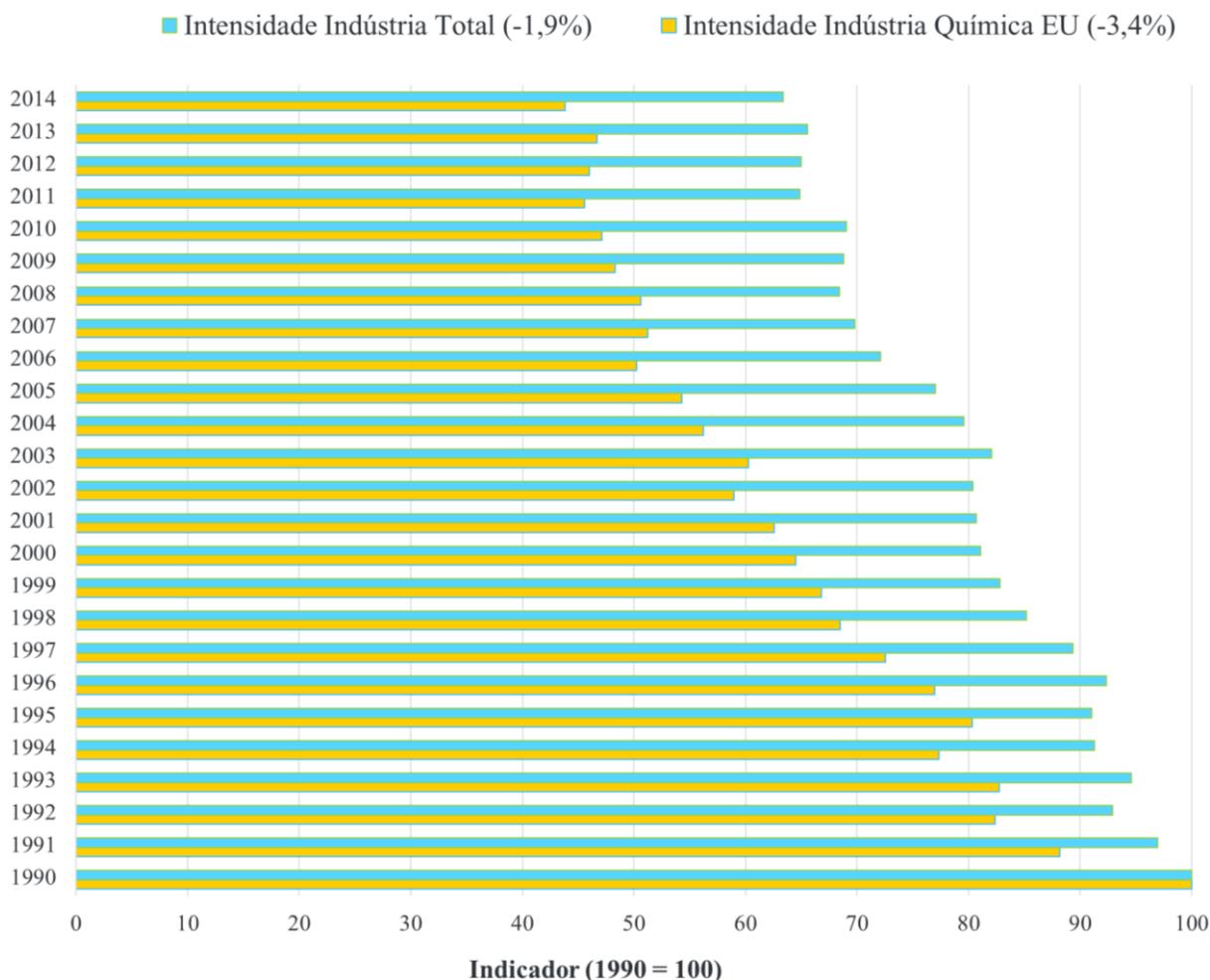


Figura 8: Representação gráfica da intensidade energética da atividade industrial total e a atividade da indústria química desde 1990 até 2014 (adaptado).
(Fonte: The European Chemical Industry Council ⁴⁹)

A Indústria Química (IQ) é um dos setores com maior contribuição para a poluição ambiental, uma vez que são grandes produtores de resíduos perigosos (milhões de toneladas anuais), e atingem anualmente valores elevados de emissões atmosféricas de gases tóxicos com forte contributo para o efeito de estufa, potenciando as alterações climáticas⁵⁰. Contudo, dados referentes a 2014 indicam que a IQ se encontra cada vez mais envolvida no

desenvolvimento sustentável, verificando-se uma diminuição de 40% desde 1990 nas emissões de gases com efeito de estufa (**Figura 9**).

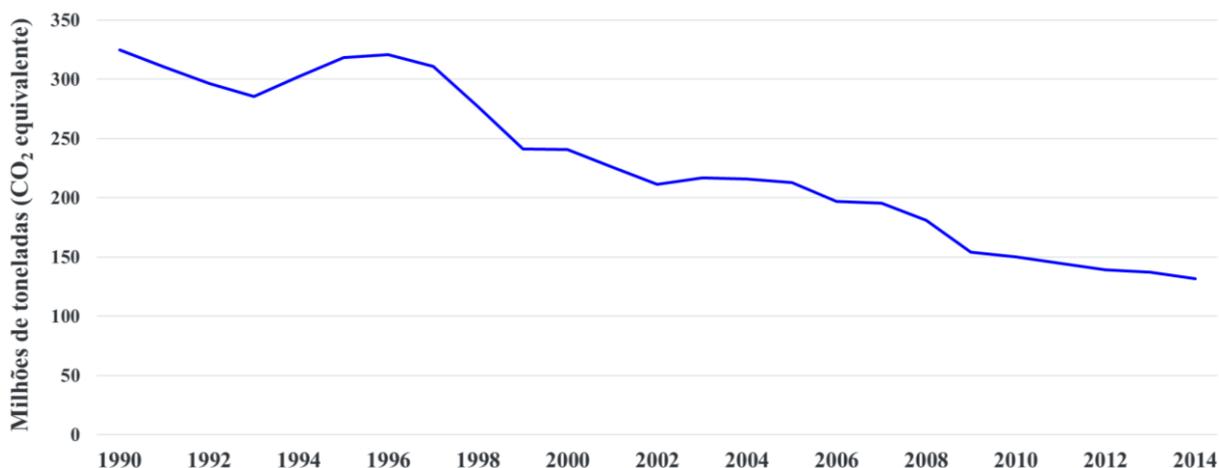


Figura 9: Emissões de gases atmosféricos (CO₂ equiv.) total I referente à Indústria Química da União Europeia (EU28)

(Fonte: The European Chemical Industry Council ⁴⁹)

Segundo os dados estatísticos de 2014 referentes a Portugal, o setor da IQ consiste no terceiro setor industrial com maior consumo energético (2,4%), precedido pelo setor da produção de manufatura e o setor de minerais não metálicos (14,9% e 7,4%, respetivamente)⁵¹.

2.2.3.2. Gestão de resíduos e Reciclagem

A gestão dos resíduos é fulcral para se atingir a sustentabilidade ambiental, pois o uso excessivo de terrenos para depósito de lixo promove a contaminação dos solos (provoca interferências ao nível do metabolismo dos organismos existentes e das cadeias alimentares onde se inserem). Estes resíduos representam uma ameaça à sustentabilidade ambiental, pois não só a sua produção pode induzir repercussões deletérias no meio ambiente, mas também a sua gestão e eliminação, se não efetuada de forma consciente e benigna. Para além das contaminações, os aterros ocupam grandes áreas e são potenciais poluidores atmosféricos, sendo que a incineração também consiste num forte contribuidor de emissões de gases perigosos. Do mesmo modo, os meios aquáticos sofrem alterações na sua estrutura biológica e química devido à libertação de resíduos químicos e tóxicos nos rios e nos oceanos, afetando as comunidades marinhas nas suas capacidades reprodutiva e de sobrevivência. Assim, no âmbito da proteção ambiental, da saúde humana e da biodiversidade, é mandatário a existência de regulamentação adequada que possibilite uma boa gestão dos resíduos e um

melhoramento da eficiência dos recursos naturais e não naturais. A UE inclui na sua legislação políticas de gestão de resíduos, visando a mitigação dos impactos dos mesmos no ambiente e na saúde humana e a redução a longo prazo da quantidade de resíduos produzidos. Quando esta produção for inevitável, a Comissão Europeia defende a reutilização desse recurso e promove a reciclagem desses resíduos, transformando-os em novos produtos ou até mesmo atribuir-lhe outra finalidade/funcionalidade.

Em 2013, a taxa média de reciclagem verificada nos países da UE rondava os 39%. Os últimos dados referentes a 2014 indicam que a média aumentou para 44%, o que comprova o compromisso dos países europeus no desenvolvimento sustentável. Países como Alemanha, Áustria, Bélgica, Suíça, Países Baixos e Suécia reciclam no mínimo 50% do seu lixo municipal. A Agência Europeia do Ambiente (*Environmental European Agency – EEA*) afirma que o aumento das taxas de reciclagem provoca uma diminuição do número de aterros, e, por conseguinte, a taxa de poluição que advém da eliminação dos resíduos. Em Portugal, a prática da reciclagem tem registado resultados favoráveis e otimistas, apesar de ainda serem baixos relativamente à média europeia e dos países da UE. Em 2004, verificou-se uma taxa de reciclagem de 13%, sendo que dez anos mais tarde esta taxa superou os 30%. Não obstante, o valor desta taxa ainda se encontra abaixo do valor da taxa de eliminação de resíduos em aterros, que ronda os 50%. Apesar da evolução, urge a necessidade de implementação de novas medidas e políticas de sustentabilidade na área da reciclagem, uma vez que 15 em 32 países europeus já apresentam atualmente taxas de reciclagem superiores à taxa de eliminação de resíduos em aterros (Áustria, Bélgica, Dinamarca, Estónia, Finlândia, França, Alemanha, Itália, Luxemburgo, Países Baixos, Noruega, Eslovénia, Suécia, Suíça e Reino Unido)⁵². Na **Figura 10** encontram-se representadas as taxas de reciclagem registadas em 2004 e em 2014 de 34 países da Europa.

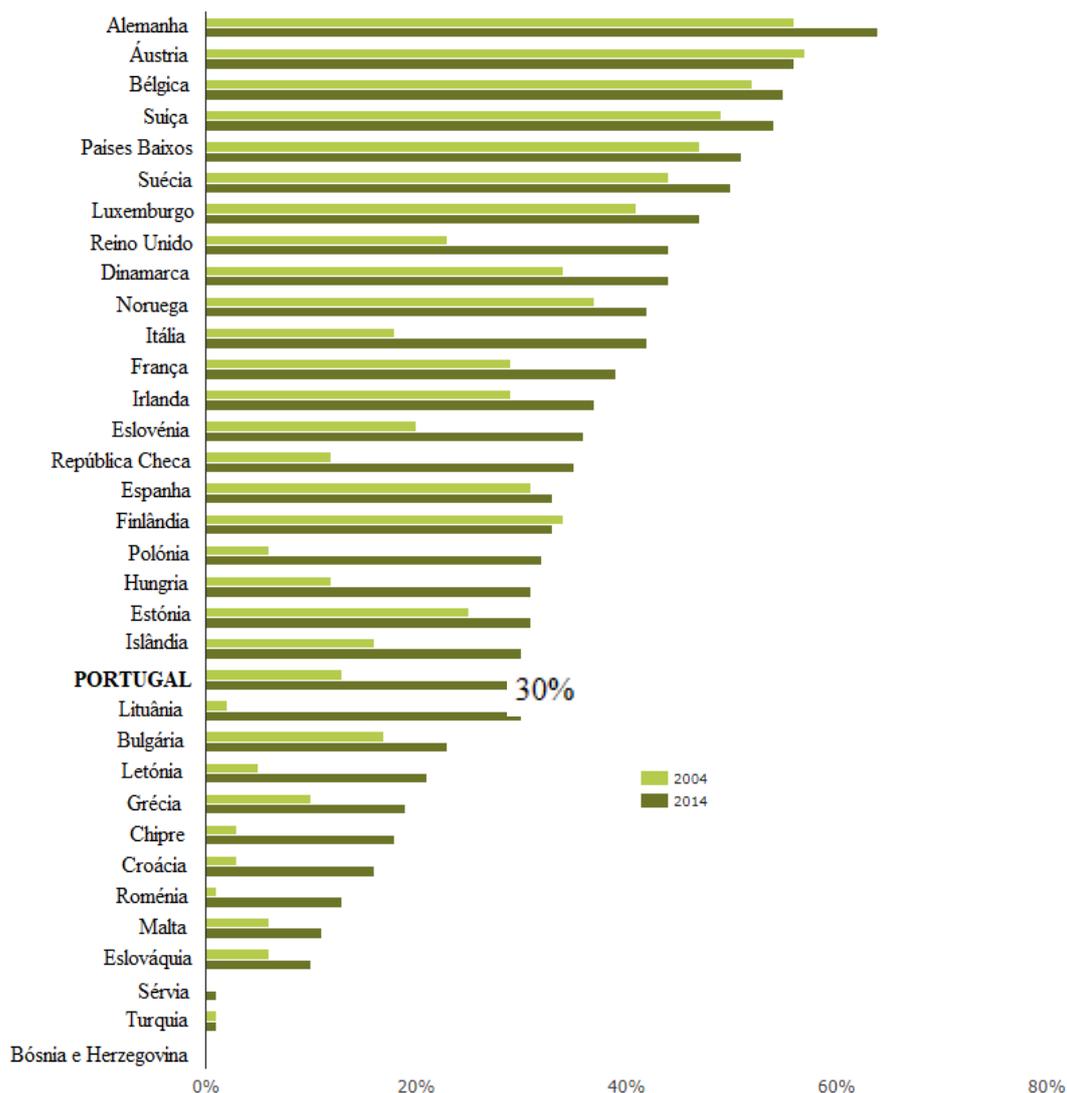


Figura 10: Representação gráfica das taxas de reciclagem municipais verificadas em 34 países europeus no ano de 2014 (adaptado⁵²)

(Fonte: EUROSTAT⁵³)

O aumento constante da pressão sobre os recursos hídricos traduz-se também num dos fatores que poderá causar desequilíbrios na sustentabilidade ambiental. A água, um dos recursos mais valiosos para o ser humano, é também um dos mais limitados, e a sua escassez torna-se cada vez mais evidente em virtude do crescimento demográfico, urbanização e industrialização. Estas mudanças provocam a carência de água, também provocada pelo aumento da sua poluição proveniente das atividades antropogénicas. Por esta razão, a quantidade de água potável disponível para consumo humano e animal diminui, e a deterioração da água impõe tratamentos mais prolongados e dispendiosos de modo a manter a sua qualidade, tendo mais tarde um impacto económico e ambiental para os consumidores e para o meio ambiente.

2.2.3.3. Consumo de água e Pegada Hídrica (PH)

A superfície da Terra encontra-se coberta por 70% de água, perfazendo um volume de aproximadamente 1386×10^6 milhões de metros cúbicos (m^3). Não obstante, 97,5% desse volume corresponde a água salgada (maioritariamente nos oceanos), restando apenas 2,5% de água doce, a única própria para consumo humano. A maioria desta água doce (1,8% dos 2,5%) encontra-se no estado sólido, retida em glaciares, na Antártida e no Ártico, ou seja, não se encontra disponível para consumo. Restam assim 0,7% de água (aproximadamente $9,7 \times 10^6$ milhões de m^3) que satisfazem as necessidades básicas da população mundial, que atualmente ronda os 7500 milhões de habitantes⁵⁴.

A nível mundial, o consumo de água distribui-se pelos três setores de atividade principais, nomeadamente o setor agrícola, o setor industrial e o setor doméstico/urbano. A agricultura é a atividade que mais água consome, devido ao uso intensivo de água nas irrigações de terrenos, verificando-se um consumo exaustivo nos meses correspondentes à época de verão. A este setor está associada uma taxa de consumo global de água na ordem dos 70%, e os 30% restantes estão relacionados com as atividades industriais (20%) e as atividades domésticas/urbanas (10%). Estas taxas encontram-se representadas na **Figura 11**.

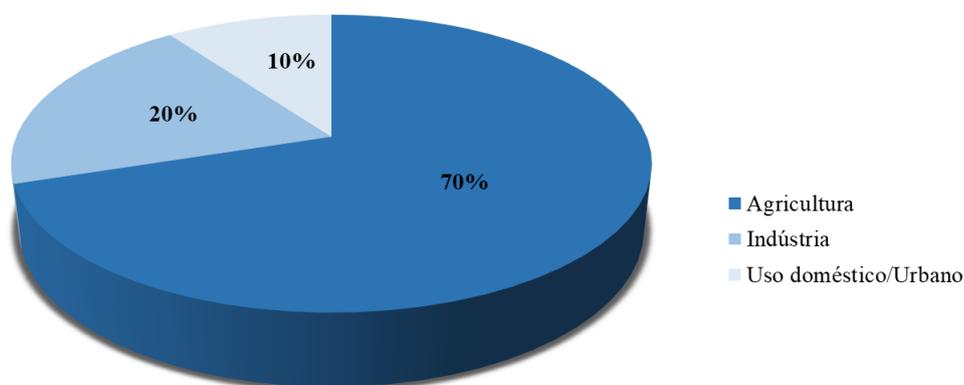


Figura 11: Consumo de água (%) por setor de atividade (adaptado⁵⁵).

Com o intuito de facilitar a leitura dos consumos de água e a sua caracterização a nível mundial, desenvolveram-se indicadores indispensáveis para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A título de exemplo, e por ser o mais utilizado na caracterização do uso de água tanto para produção como para consumo, foi introduzido o conceito de Pegada de Água ou Pegada Hídrica (PH), que demonstra o volume necessário de água para sustentar uma determinada população. A nível mundial, e segundo dados referentes a 2012, estima-se que a PH média corresponde $1385 m^3/ano/per\ capita$ ⁵⁶. A **Figura 12** ilustra a PH Total do consumo mundial por país ($m^3/ano/per\ capita$), estimada durante o período de 1996 a 2005.

Os países assinalados com a cor verde apresentam valores de PH inferiores aos valores da média global; os países que se encontram com a restante escala de cores, amarelo e vermelho, têm uma PH superior relativamente à PH média global⁵⁶. É de notar os valores de Portugal, compreendidos entre 2500 e 3000 m³/ano/*per capita*, indicativos de um grande consumo de água por parte da população portuguesa.

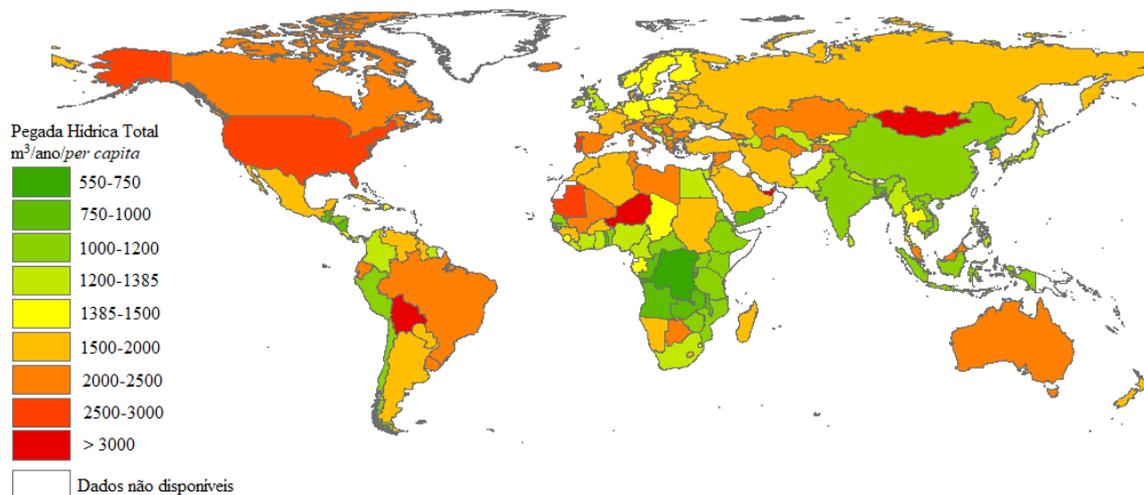


Figura 12: Ilustração da estimativa da Pegada Hídrica Total do consumo durante o período de 1996-2005 (m³/ano/*per capita*) (adaptada⁵⁶)

Segundo o relatório *Water Footprint in Portugal*, divulgado em 2010 pela organização *World Wildlife Fun*, é também no setor agrícola que se verifica um maior consumo de água (78%), ocupando a sexta posição no *ranking* dos países europeus (num conjunto de 140 países analisados) com maior captação de água para fins agrícolas (880 m³/*per capita*). O mesmo estudo revela a PH verificada em Portugal em 2010, equivalente a 2264 m³/ano/*per capita*⁵⁷. Portugal é dos países com maior PH, juntamente com outros países da zona mediterrânica, nomeadamente Grécia, Itália, Espanha e Chipre, muito provavelmente devido à sua localização geográfica e às respetivas características climáticas, onde se verificam períodos de altas temperaturas e baixa humidade no verão, juntamente com um regime de precipitação variável, onde os períodos de chuvas torrenciais ocorrem alternadamente com os períodos de seca prolongada. Outras razões justificativas da elevada PH consistem na ineficiência do setor agrícola nacional, na dependência da importação de bens agrícolas (maioritariamente espanhóis), e as diferenças geográficas internas, com as discrepâncias na acessibilidade e disponibilidade dos recursos hídricos entre norte e sul^{58,59}.

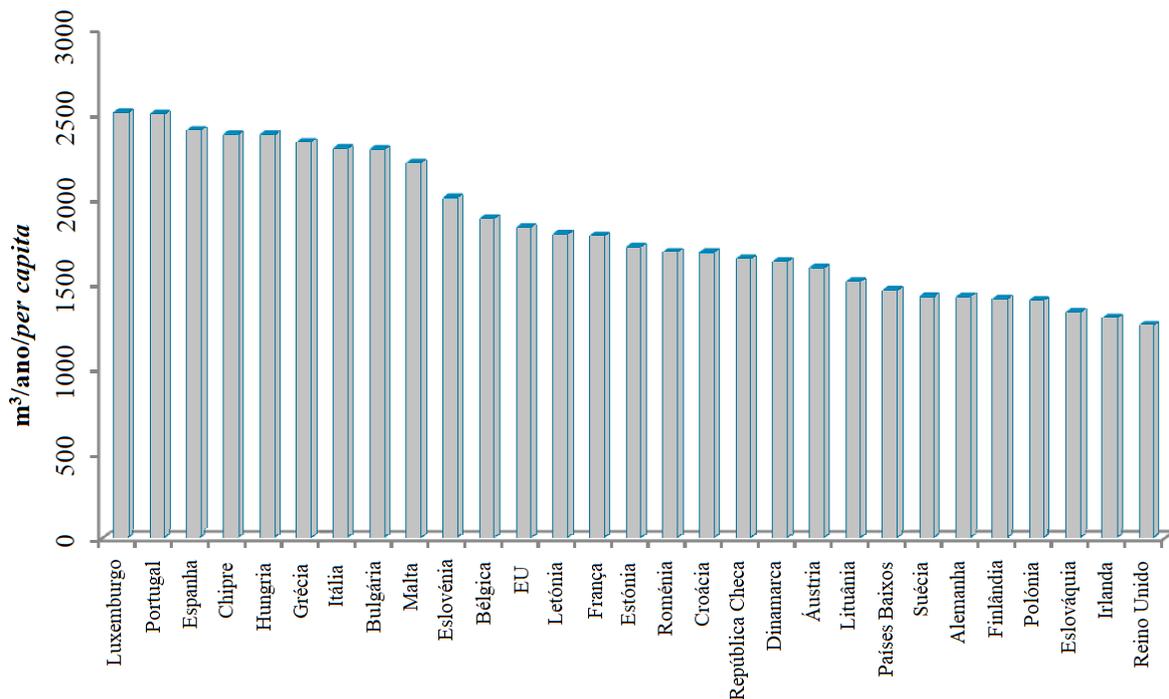


Figura 13: Pegada Hídrica (m³/ano/per capita) de consumo dos países europeus entre 1996 e 2005 (adaptado⁵⁵)

No ano de 2000, verificou-se em Portugal um consumo de água de aproximadamente $7500 \times 10^6 \text{ m}^3$, dos quais 87% foram consumidos em atividades agrícolas, 8% em atividades domésticas e urbanas, e apenas 5% são relativos às atividades industriais. Em 2009, este consumo diminuiu, situando-se na ordem dos $4255 \times 10^6 \text{ m}^3$. Neste mesmo ano, a taxa relativa ao consumo de água pelo setor agrícola diminuiu para 81%, mas em contrapartida os consumos relativos do setor industrial e do setor doméstico/urbano aumentaram (7% e 12%, respetivamente). No ano de 2010, registaram-se consumos de água de $18,55 \times 10^3 \text{ m}^3$ para a agricultura, $3,00 \times 10^3 \text{ m}^3$ na produção industrial, e de $1,09 \times 10^6 \text{ m}^3$ no uso doméstico⁵⁷, o que equivale a um uso diário de 6203 litros/*per capita*. Contudo, estes valores não traduzem o uso efetivo da água pelos setores em questão, uma vez que nem toda a água captada é aproveitada, tornando ineficiente o uso dos recursos hídricos. Em 2009, o setor agrícola apresentava desperdícios na ordem dos 37,5%, enquanto que o setor urbano e o setor industrial exibiam valores equivalentes a 25% e 22,5%, respetivamente, perdas associadas ao sistema de condução de água (armazenamento, transporte e distribuição)⁶⁰.

São consumidos diariamente milhares de litros em atividades de laboratórios, correspondendo a um dos fatores com maior contribuição para o impacto ambiental de um laboratório. Na maioria das vezes, esse impacto é negativo uma vez que as quantidades de

água consumidas são elevadas e não se verifica a existência de preocupação no seu uso racional por não serem os próprios laboratórios a sustentar os gastos de água, mas sim as instituições a que estão associados, como universidades, empresas, entre outros. Este recurso natural é aplicado constantemente em diversas atividades laboratoriais, desde a preparação de soluções de reagentes e amostras, a preparação de banhos, a lavagem de material do laboratório, destilações, obtenção de água pura ou ultrapura (na sua maioria, os laboratórios de investigação e análises utilizam sempre água purificada), sistemas de refrigeração e ar condicionado, entre outros. Uma vez que consiste num dos principais gastos de um laboratório, o investimento na sensibilização e consciencialização ambiental dos operadores do laboratório é primordial, no sentido de promover a sustentabilidade ambiental, apelando à mudança dos padrões de consumo dos laboratórios de investigação e de análises.

Com efeito, as empresas e indústrias químicas lidam com legislação cada vez mais restrita na sequência destas alterações maléficas para o planeta, pressionado as instituições no sentido da criação de estratégias mais limpas, mais sustentáveis, que minimizem os efeitos de maior impacto ambiental, incentivando à inovação de produtos, processos e serviços que atinjam os objetivos ambientais, sociais e económicos⁶¹ de interesse. Uma vez que as atividades industriais são indispensáveis para o desenvolvimento económico, nomeadamente a Indústria Química, e de modo a diminuir os efeitos nocivos da sua operação e produção, e do mesmo modo suportar o Desenvolvimento Sustentável, os químicos conceptualizam a Química Verde⁶².

2.3. Química Verde (QV)

O surgimento da Química Verde é incerto, mas autores como Anastas (2002) e Machado (2008) afirmam que o termo terá surgido no início dos anos noventa, no âmbito da promulgação do primeiro documento de legislação ambiental “Pollution Prevention Act”, em 1990^{63,64}, nos Estados Unidos da América. Esta iniciativa possibilitou a criação do *U.S. Green Chemistry Program* (Programa da Química Verde dos EUA), em 1993, por parte da Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency – EPA*). No mesmo ano em Itália, o Consórcio Universitário de Química para o Ambiente (*Interuniversity Consortium, Chemistry for the Environment – INCA*), com o objetivo de sensibilizar as instituições académicas para os problemas inerentes da química e do ambiente, com o foco de promover o desenvolvimento de reações, processos e produtos mais amigos do ambiente. Uns anos mais tarde, o Japão organizou a Rede de Química Verde e Sustentável (*Green and*

Sustainable Chemistry Network – GSCN), cujo campo de ação se focalizava na promoção da investigação e desenvolvimento da química verde e sustentável⁶⁴. Em 1997 era criado o *Green Chemistry Institute* (GCI), que mais tarde, em 2001, tornou-se parte integrante do *American Chemistry Society* (ACS).

A entrada da QV na literatura científica e pedagógica apresentou algumas dificuldades, provavelmente devido à conotação política do termo “verde” que subsistia em alguns países⁶³. A década de sessenta estava ligada a uma geração de ambientalistas “puros”, que pretendiam a conservação do ambiente independentemente das consequências económicas e sociais⁶⁵. Assim, depois destas questões ultrapassadas, o termo apareceu pela primeira vez em revistas científicas em 1993, mais concretamente na revista *Science*, ao longo de um artigo científico. Apareceu pela primeira vez num título de um artigo científico em 1995, no *Journal of Chemical Education*.⁶³ Contudo, até 1999 o termo foi usado poucas vezes, e voltou a ser foco de interesse com o surgimento da revista científica *Green Chemistry* sob a alçada da *Royal Society of Chemistry*⁶⁶, associação profissional sediada no Reino Unido cujos objetivos se centralizam no progresso das ciências químicas⁶⁷.

Machado (2006) reconhece Alfred Nobel como o “primeiro químico verde”. Apesar de não ter sido o pioneiro na preparação da nitroglicerina, o primeiro composto orgânico explosivo obtido através de síntese total, Nobel dedicou-se ao desenvolvimento quer da sua produção industrial, quer da sua incorporação noutra tipo de produto final. O autor realça que esta analogia é meramente metafórica, pois nessa altura, em meados do século XIX, os conhecimentos científicos na área da Química rondavam a dimensão macroscópica, criando limitações no conhecimento dos efeitos das práticas químicas na saúde humana e no ambiente⁶⁸. Com efeito, apesar da sua postura não ser intencional e consciente, Nobel procurou sempre praticar a sua ciência de modo a formular produtos que fossem considerados seguros (vai de encontro aos princípios da QV), tendo sempre em conta a prevenção de acidentes no fabrico e manipulação do produto obtido (Engenharia Química Verde – EQV).

Em 2002, o Professor Paul Anastas, considerado o “pai” da QV, definiu esta vertente da química como sendo o *desenvolvimento de produtos e processos químicos capazes de minimizar ou eliminar o uso e a geração de substâncias consideradas perigosas, que possam incitar danos físicos (originados por explosões ou reações inflamáveis), danos toxicológicos (cancerígenos e mutagénicos) e danos ambientais (modificações ao nível da camada de*

ozono e alterações globais)⁶⁴. A QV foi desenvolvida no sentido de remediar os problemas mais críticos para o ambiente e para a saúde humana que vigoravam e ainda vigoram na Química Industrial.

A invenção de novas moléculas e respetivos processos industriais devem enquadrar-se no âmbito da QV e integrarem a característica de “vantagem verde”. Para tal, é necessário que todos os profissionais ligados à Indústria Química, desde engenheiros químicos a técnicos de laboratório, desenvolvam não só competências sólidas no domínio da química tradicional, mas também no domínio da QV, que exige uma enorme consciencialização, que clarifiquem as potencialidades desta área tão pragmática⁶⁹.

2.3.1. Os (Primeiros) Doze Princípios da Química Verde de Anastas e Warner

Anastas e Warner formularam em 1998 os objetivos básicos visando uma estratégia global simples, mas ao mesmo tempo motivadora, expressa em princípios, que funcionam como uma ponte de transição entre a química tradicional, a atual Química Industrial, e a QV⁷⁰, com o intuito de tornar os impactos ambientais e humanos da atividade química menores ou inexistentes, sem comprometer a eficiência da mesma, económica e socialmente. Estes princípios foram dirigidos inicialmente aos químicos de laboratório do globo académico, sendo que posteriormente se verificou a extrapolação da aplicação desses princípios para a vertente industrial, alertando e promovendo processos e produtos químicos mais limpos e sustentáveis (verdes), sem constituírem qualquer tipo de perigo para os humanos, ambiente e biosfera. Surgem assim os **Doze Princípios da Química Verde**, apresentados na tabela seguinte.

Tabela 1: Os Doze Princípios da Química Verde de Anastas e Warner⁷¹.

1	Prevenção. É melhor prevenir a formação de resíduos do que ter de tratá-los, depois de se terem criado, para eliminar as suas propriedades tóxicas
2	Economia Atómica. Os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a maximizar a incorporação no produto final de todas as substâncias usadas ao longo do processo (entende-se por Economia Atómica a razão percentual entre a massa de átomos dos reagentes estequiométricos incorporados no produto e a massa total de átomos nos reagentes)
3	Sínteses menos perigosas. Sempre que possível, os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a usar e produzir substâncias não tóxicas (ou pouco tóxicas) para a saúde e para a ecossfera
4	Planificação a nível molecular de produtos mais seguros. Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo a cumprir as funções desejadas e a minimizar a sua toxicidade
5	Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras. O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de promoção de separações físico-químicas, etc.) deve ser evitado sempre que possível; quando usados, esses agentes devem ser inócuos

6	Planificação para conseguir eficiência energética. Devem reconhecer-se os impactos económicos e ambientais dos requisitos energéticos dos processos químicos e minimizá-los; quando possível, os métodos sintéticos
7	Uso de matérias primas renováveis. Sempre que for técnica e economicamente praticável, devem usar-se matérias primas e recursos renováveis de preferência a não renováveis
8	Redução das derivatizações. Devem minimizar-se, ou, se possível, evitar derivatizações (uso de grupos bloqueadores, de passos de proteção/desproteção, e de modificações temporárias na molécula para permitir processos físicos/químicos) porque tais etapas requerem reagentes adicionais e podem produzir resíduos
9	Catalisadores. Devem preferir-se reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) a reagentes estequiométricos
10	Planificação para a degradação. Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo que no fim do seu uso não persistam no ambiente e se decomponham em produtos de degradação inócuos
11	Análise para a prevenção da poluição em tempo real. Deve procurar-se usar métodos analíticos que permitam monitorização direta dos processos de fabrico em tempo real e controlo precoce da formação de substâncias perigosas
12	Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes. As substâncias usadas e as formas da sua utilização nos processos químicos de fabrico devem minimizar o potencial de ocorrência de acidentes químicos, tais como fugas, explosões e incêndios

2.3.2. Os (Segundos) Doze Princípios da Química Verde de Winterton

Em 2000, Glaze sugeriu que a “verdura” da transformação química apenas podia ser avaliada no contexto da sua escala industrial (“scale up”), da sua aplicabilidade e da prática⁷². Em 2001, de forma a atender às preocupações de Glaze e a complementar os princípios de Anastas e Walter, Winterton, numa análise mais ampla no âmbito das relações da Química com a sustentabilidade e com o desenvolvimento sustentável, apresentou a proposta de mais doze princípios da QV, visando a consciencialização e a proatividade por parte dos profissionais da Química mais industrializada, de modo a desenvolverem processos e produtos com impactos negativos mínimos ou mesmo nulos. Na **Tabela 2** encontram-se os **Doze Princípios da QV de Winterton**, numerados a partir do número 13, de forma a não serem confundidos com os princípios de Anastas e Walter⁷³, nem os substituírem, mas com o intuito de os complementarem.

A adoção holística deste segundo conjunto de princípios da QV pelos investigadores laboratoriais permite uma avaliação mais simples e assertiva da verdura das diversas alternativas dos processos químicos, preferencialmente desde as fases preliminares do desenvolvimento do processo e da seleção do(s) produto(s). Esta avaliação proporciona uma melhor manutenção da “verdura” dos vários estágios do processo industrial, essencial para a implementação da Indústria QV, tendo como suporte o desenvolvimento sustentável

proporcionado pela QV praticada nos laboratórios⁶³. Estes princípios suplementares permitirão a consolidação do *Design Verde* de processos e produtos, pois a análise por parte dos profissionais químicos vai sustentar-se na QV, tendo sempre em consideração o potencial das reações químicas, caracterizadas tanto pelas suas capacidades técnicas como pela sua sustentabilidade e pelo seu perfil verde.

Tabela 2: Os Doze Princípios da Química Verde de Winterton^{69,73}.

13	Identificação e quantificação de eventuais subprodutos eventuais e resíduos (Identificar os coprodutos e determinar as suas quantidades relativamente à do produto principal)
14	Obtenção de conversões, seletividades, produtividades, entre outros (para além do rendimento químico das reações de síntese, é necessário determinar métricas relevantes para a QV: seletividades, produtividades (eficiência atômica, entre outros))
15	Estabelecer balanços materiais completos para o processo (especificar, quantificar e contabilizar todos os materiais usados na obtenção do produto final, incluindo os auxiliares (solventes))
16	Determinação das perdas de catalisadores e solventes nos efluentes (determinar as quantidades ou caudais dos fluxos de efluentes líquidos, sólidos e gasosos, e as concentrações de reagentes auxiliares)
17	Investigação da energética (termoquímica) básica do processo (avaliando e relatando as variações de entalpia das reações exotérmicas com o intuito de alertar para eventuais problemas de libertação de calor com a mudança de escala)
18	Identificação de limitações quanto às transferências de calor e de massa (identificar fatores que afetem as transferências de calor e de massa no escalamento (velocidades de agitação ou dispersão de gases, áreas de contato gás-líquido, entre outros))
19	Visualização das reações sob a perspetiva dos engenheiros químicos (identificar e analisar pontos de constrição para o escalamento no desenvolvimento do processo industrial por estudo das alternativas de tecnologia disponíveis para o implementar e por meio de contatos com profissionais da mesma área)
20	Consideração da globalidade do processo industrial ao selecionar a química de base (avaliar o impacto das alternativas possíveis de todas as variáveis de processo, desde as matérias primas até aos métodos de separação; realizar experiências com os reagentes comerciais que vão ser utilizados nos processos industriais)
21	Procura (desenvolvimento e aplicação) de medidas de sustentabilidade do processo (avaliar quantitativamente o grau de sustentabilidade do mesmo (sempre na extensão possível))
22	Quantificação e minimização do uso de “utilidades” (proporcionar informação que possibilite a avaliação das respetivas necessidades inerentes ao início do desenvolvimento do processo e ao longo do escalonamento da síntese)
23	Identificação de situações de incompatibilidade entre a segurança do processo e a minimização de resíduos (Focar a segurança do processo a desenvolver com base na síntese laboratorial e alertar para eventuais restrições de segurança que limitem as condições do escalamento industrial)
24	Monitorização, registo e minimização dos resíduos produzidos na síntese laboratorial (registo das suas quantidades e adoção de procedimentos que viabilizem a sua minimização))

Outros cientistas mostram-se bastante otimistas quanto ao futuro da QV, e revelam que nos próximos 25 anos a inovação global passa pela utilização de progressos fundacionais e metodológicos na QV e na EQV, gerando motivação em transformar a maioria dos setores da economia global, e afirmam que a próxima geração de químicos, engenheiros e outros

inovadores vai usar novas ferramentas e novos princípios, que incitarão a sua integração na educação da química e da engenharia⁷⁴.

Esta vertente mais verde, mais ecológica, da química e de toda a sua tecnologia associada é multidisciplinar. Exige não só profissionais competentes e com grande experiência na própria área da Química, mas também necessita do contributo de profissionais de outras áreas científicas, tais como Engenharia, Matemática, Toxicologia, Biologia, Bioquímica, Biotecnologia, entre outras. Só assim, através da simbiose de todas estas disciplinas científicas e da flexibilidade intelectual que é possível desenvolver e praticar QV⁴¹.

2.3.3. Química Verde em Portugal

Tal como já foi referido, o termo QV é mencionado pela primeira vez num artigo científico em 1993 nos EUA, sendo que em Portugal apenas aparece em 2002 numa publicação. Desde então, o número de artigos publicados com pelo menos um autor residente em Portugal encontra-se em ascensão, bem como o número de citações desses mesmos artigos pela comunidade científica. Este crescimento positivo, representado no gráfico da **Figura 14**, deve-se ao aumento da investigação científica em virtude do aumento do financiamento em projetos nacionais e internacionais⁷⁵.

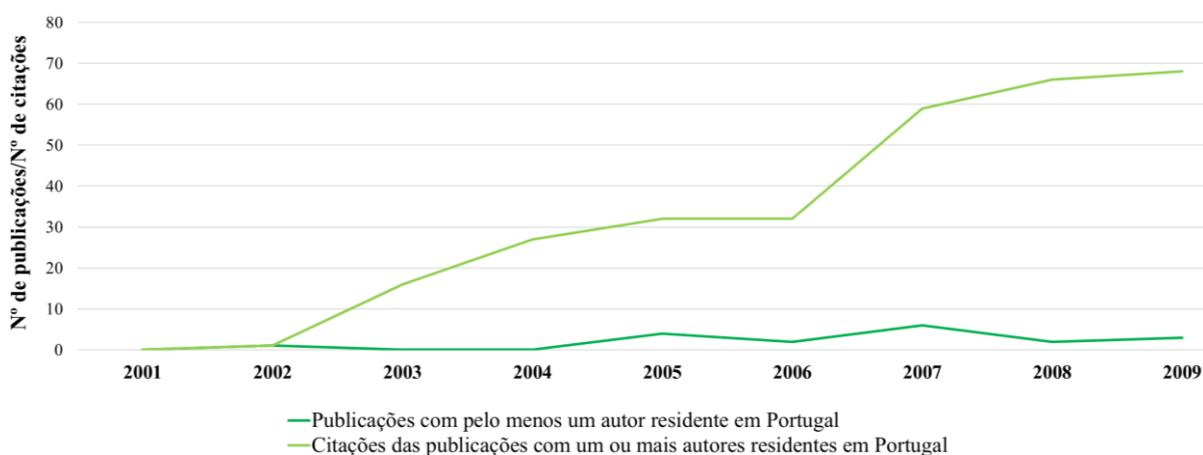


Figura 14: Representação gráfica da evolução da QV em Portugal (2001-2009)⁷⁵

Em Portugal já existem diversos laboratórios de investigação com especial dedicação à QV, em particular:

- O REQUIMTE (Rede de QUÍMica e TEcnologia), organização criada em 2001 através da colaboração entre a Universidade do Porto e a Universidade Nova de Lisboa, mais concretamente entre os seus Centros de Investigação nas áreas da Química, Biotecnologia, Engenharia Química e Bioquímica, Farmacologia e Tecnologia e Ciência

Alimentar. Esta parceria só viria a ser formalizada dois anos mais tarde. Em 2015, passou a ser constituído por duas unidades: o LAQV (Laboratório Associado para a Química Verde) e o UCBIO (*Research Unit on Applied Molecular Biosciences*)⁷⁶;

- O Centro de Biotecnologia e Química Fina (*Centre of Biotechnology and Fine Chemistry*), integrado na Faculdade de Biotecnologia da Universidade Católica do Porto, focando a sua investigação nas áreas Alimentar, Ambiental e Agronomia⁷⁷;
- O ITQB NOVA, o Instituto de Tecnologia Química e Biológica António Xavier, foca-se na investigação científica e no treino avançado, e está sob a alçada da Universidade Nova de Lisboa, onde integra laboratórios especializados em várias áreas científicas, como a Química, a Química Biológica, Biologia, Botânica e Tecnologias⁷⁸. Nos laboratórios dedicados à área da Química estão associados diversos investigadores cujo foco da sua pesquisa coincide com o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e eficientes⁷⁹.

Portugal é um dos vários países que tem vindo a desenvolver políticas no campo do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade ambiental, principalmente através da Agência Portuguesa do Ambiente⁸⁰, criando assim uma onda de motivação e consciencialização no seio da comunidade empresarial na adoção de práticas mais racionais, mais verdes, visando a minimização de desperdício e de poluição nociva tanto para o ambiente como para a população.

2.4. Química Analítica Verde (QAV)

2.4.1. Surgimento da QAV

A Química Analítica (QA) reúne múltiplas definições, sendo de seguida salientados os dois conceitos reportados na literatura mais complexos e apropriados. R.W. Murray estabeleceu que a QA *é a ciência da invenção e aplicação de conceitos, princípios, e...estratégias na medição de características do sistema químico*⁸¹. No ano seguinte, o alemão Klaus Danzer menciona que *o objetivo da QA reside na obtenção de informação química dos materiais tendo em conta a sua composição e estrutura qualitativa e quantitativa. A QA investiga o tipo e a quantidade de componentes e as relações estruturais entre os constituintes. As investigações analíticas estão direcionadas para a resolução de problemas gerais e, neste sentido, para o desenvolvimento e para o progresso dos métodos analíticos incluindo a amostragem, a preparação de amostras, e avaliação, e para a aplicação estatística e análise de dados para a interpretação de resultados analíticos*⁸².

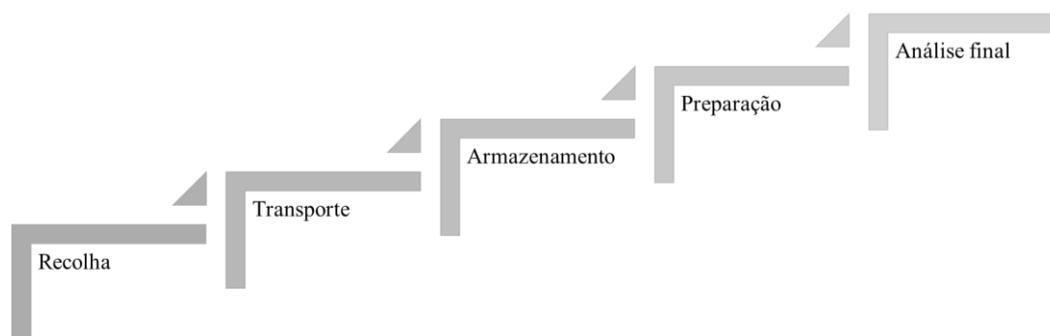


Figura 15: Esquema representativo de todas as etapas que compõem um processo analítico⁸³.

A QA admite cinco etapas de operação, ilustradas na **Figura 15**: recolha, transporte, armazenamento, preparação e análise final da amostra. Durante a análise química são produzidos volumes de resíduos, os quais devem ser geridos de forma consciente através dos princípios da QV, de forma a evitar a sua produção⁸³. É de salientar que todas estas etapas contribuem para o impacto ambiental total do processo⁸⁴. Todas as quantificações de índole analítica envolvem várias fases que dependem das propriedades da amostra e do método analítico. Quanto maior for o número de etapas compreendidas, menos verde é o procedimento analítico, pois este aumento do número de etapas implica um aumento da utilização energética e também um aumento da produção de resíduos⁸⁵.

A QV é amplamente reconhecida por muitos laboratórios a nível global, onde a química de síntese é o seu principal foco de aplicação, no sentido da promoção do desenvolvimento sustentável, nomeadamente na vertente ambiental. No sentido de contornar estas questões de índole ambiental, na sua minimização ou mesmo eliminação, a aplicação da QV foi gradualmente aplicada noutras áreas nomeadamente a QA. Ainda que a comunidade científica considere os impactos ambientais da química analítica ínferos relativamente aos que se encontram nas indústrias farmacêutica ou petroquímica⁸⁴, os cientistas começaram a preocupar-se com o impacto ambiental que teriam os laboratórios analíticos, em consequência do uso de substâncias perigosas em grandes quantidades, e a gestão inapropriada dos resíduos químicos e dos reagentes usados⁸⁶. Os métodos analíticos requerem efetivamente substâncias químicas perigosas na maioria das etapas integrantes do procedimento analítico: preservação e preparação da amostra, controlo de qualidade, calibração, e limpeza dos equipamentos, onde posteriormente são gerados grandes volumes de resíduos com grande poder tóxico, muitas vezes superior ao inicial⁸⁷. A título de exemplo, considera-se que sejam produzidos diariamente por análise aproximadamente 1 L de

resíduos orgânicos, o que perfaz uma produção anual de 34 milhões de litros, estimando-se 130000 cromatógrafos líquidos operacionais (os resíduos referem-se apenas à análise, e não se consideram os volumes produzidos na preparação da amostra)⁸⁴.

Dada a preocupação crescente por parte dos químicos nas implicações ambientais inerentes às suas operações, e a necessidade do desenvolvimento de métodos mais ecológicos, surge uma nova vertente da QV, a Química Analítica Verde (QAV). Segundo Tobiszewski, o termo foi introduzido por Jacek Namieśnik, em 1999, enquanto o próprio debatia os pontos de vista na transformação da química analítica “convencional” numa química analítica “mais verde”³⁷.

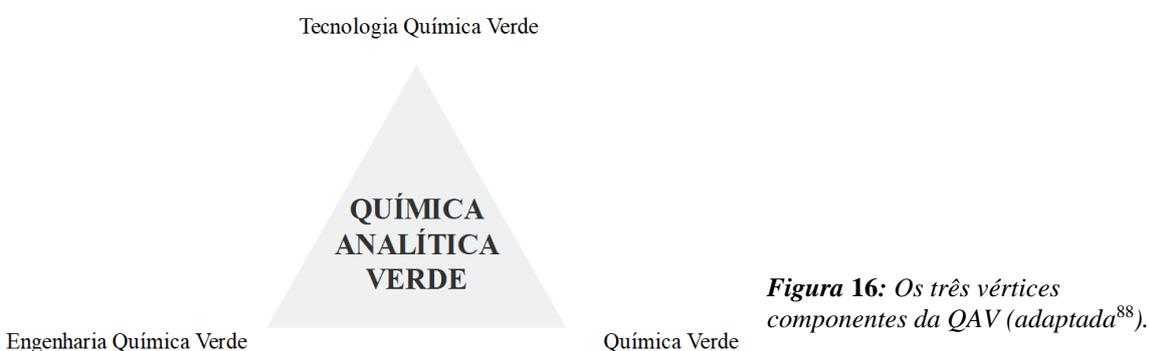


Figura 16: Os três vértices componentes da QAV (adaptada⁸⁸).

2.4.2. Conceito

Esta vertente da QV é definida como sendo um movimento filosófico onde são aplicados os princípios da química verde e do desenvolvimento sustentável mais convenientes para os laboratórios analíticos^{84,89}, cujos objetivos assentam na redução do impacto ambiental dos métodos analíticos através da adoção das seguintes estratégias: a eliminação ou redução da utilização de substâncias nefastas tanto para o ser humano como para o meio ambiente e (reagentes, solventes, preservativos, aditivos para o ajustamento do pH, entre outros; a minimização do consumo de energia; redução das emissões de vapores e gases; uma gestão adequado dos resíduos obtidos, perigosos ou não perigosos, e, quando possível, insistir na sua redução ou eliminação; e o melhoramento da segurança do operador aquando da realização das suas funções^{86,90}.

O contexto dos princípios introduzidos por Anastas e Winterton enquadra-se na QV, pois foram desenvolvidos tendo em conta a síntese química, dos quais apenas alguns se enquadravam no contexto da QAV. Assim, Gałuszka sugeriu uma nova abordagem da QAV, apresentando os 12 princípios da QAV, exibidos na tabela seguinte.

Tabela 3: Os 12 princípios da QAV de Gahuszka⁹⁰.

1	Aplicar técnicas analíticas diretas de modo a evitar o tratamento da amostra.	7	Evitar a geração de volumes elevados de resíduos e assegurar uma gestão adequado dos mesmos.
2	Objetivar o tamanho e o número mínimo de amostras.	8	Optar por analisar vários analitos ou vários parâmetros em simultâneo ao invés de métodos que analisem um analito de cada vez.
3	Recorrer a quantificações in situ.	9	Minimizar o uso de energia.
4	Integrar de processos e operações analíticas economiza energia e reduz o uso de reagentes.	10	Selecionar reagentes obtidos através de fontes renováveis.
5	Selecionar métodos automatizados e miniaturizados.	11	Eliminar ou substituir reagentes tóxicos.
6	Evitar derivatizações.	12	Aumentar a segurança do operador.

2.4.3. Reconhecimento da QAV no seio da comunidade científica

A implementação deste conceito nos laboratórios onde se verifica a prática da química analítica é reputada pela comunidade científica, onde este ramo da QV é reconhecido como o estímulo precípua na evolução da Química Analítica⁹⁰. Apesar de alguns autores evidenciarem a tenuidade com que a QV é relacionada com a QA, e a incorporação propositada dos princípios da QV aquando da avaliação da adequabilidade dos métodos analíticos, o quórum de artigos e livros inseridos neste enquadramento da QAV tem vindo a aumentar⁹¹. São de realçar livros como *Green Analytical Chemistry, Challenges in Green Analytical Chemistry* e *Handbook of Green Chemistry*, e revistas científicas que se dedicam totalmente a temas onde figura a QAV, salientando o *Trends in Analytical Chemistry, Analytical and Bioanalytical Chemistry* e *Bioanalysis*⁸⁸. Tobiszewski, autor de diversas publicações no âmbito da QAV, relata a relevância da QAV como sendo o contributo dos químicos analistas para o desenvolvimento sustentável⁸⁴.

2.4.4. Métricas da QV e a sua aplicação no âmbito da QAV

Um dos principais objetivos da QV é a avaliação da veracidade dos processos químicos. Estas avaliações, designadas por métricas verdes, permitem efetuar comparações entre as metodologias convencionais já existentes e as metodologias recentes e inovadoras, com o intuito de auxiliar os químicos analíticos aquando da seleção dos processos analíticos mais verdes, ou seja, com o menor impacto para o ambiente e para o analista.

A avaliação das metodologias químicas, independentemente do seu carácter e do contexto onde se inserem, baseiam-se nos princípios da QV de Anastas e Winterton, dando origem a

métricas com diferentes óticas: métricas de massa (eficiência atômica, onde se insiste na incorporação dos átomos dos reagentes no produto final e não nos resíduos produzidos), métricas de energia (avaliação dos consumos energéticos, uma vez que a indústria química impõe quantidades volumosas de diversas fontes de energia (eletricidade, combustíveis, entre outros)), métricas ambientais (avaliação da nocividade das substâncias químicas) e métricas de segurança (as operações químicas envolvem um amplo número de riscos, daí o esforço em desenvolver processos químicos mais seguros)^{92,93}. A tabela seguinte (Tabela 4) sumariza as diversas métricas existentes no âmbito da QV.

Tabela 4: Exemplos de algumas métricas da QV.

Métricas da QV
<i>Eco-Footprint</i> ⁹⁴
<i>E-Factor (Environmental Factor)</i> ⁸⁴
Quociente Ambiental (<i>Environmental Quotient – EQ</i>) ⁹⁵
Eficiência mássica da reação (<i>Reaction Mass Efficiency – RME</i>) ⁹⁶
Economia Atômica (<i>Atom Economy – AE</i>)
Utilização Atômica (<i>Atom Utilization – AU</i>)
Eficiência Carbónica (<i>Carbon Efficiency – CE</i>)
Rendimento Mássico Efetivo (<i>Effective Mass Yield – EMY</i>)
Intensidade Mássica (<i>Mass Intensity – MI</i>)
Eficiência do Elemento X (<i>Element X Efficiency</i>)
Estrela Verde (<i>Green Star</i>) ⁹⁷
Círculo Verde (<i>Green Circle</i>) ⁹²
Matriz Verde (<i>Green Matrix</i>) ⁹²
Eco-Escala (<i>Eco-Scale - EE</i>) ⁹⁸

Estas métricas avaliam a veredura de inúmeros parâmetros, dos quais vários são avaliados por mais do que uma métrica. Esta situação não facilita a transparência da escolha das métricas mais adequadas para o efeito. Como tal, é passível de ser contestada⁹⁹. A natureza reducionista destas métricas (cada uma apenas se concentra num componente em particular) não se adequam na avaliação da veredura dos processos como um todo. Com efeito, a utilização isolada destas métricas é apelidada de “falsa QV”¹⁰⁰, dado que muitas vezes são adjetivados como verdes, quando na realidade não o são.

A avaliação da veredura de métodos analíticos é igualmente complexa, corroborada pela grande quantidade e variedade de analitos e métodos analíticos, o que dificulta a conciliação das matrizes das amostras, por terem a sua complexidade, com métodos ecologicamente mais sustentáveis⁸⁵. É de conhecimento geral que as metodologias analíticas têm um impacte ambiental bastante acentuado, sendo, todavia, bastante ímproba a sua avaliação. A título de exemplo dessa mesma dificuldade, apresenta-se na figura seguinte (**Figura 17**) um diagrama

de Ishikawa, bastante conhecido pelos analistas, que contempla um método genérico de uma cromatografia líquida. Na primeira (1) verificam-se todos os fatores que influenciam o desempenho do método analítico, e na segunda (2) observam-se todos os impactes ambientais inerentes a esses fatores.

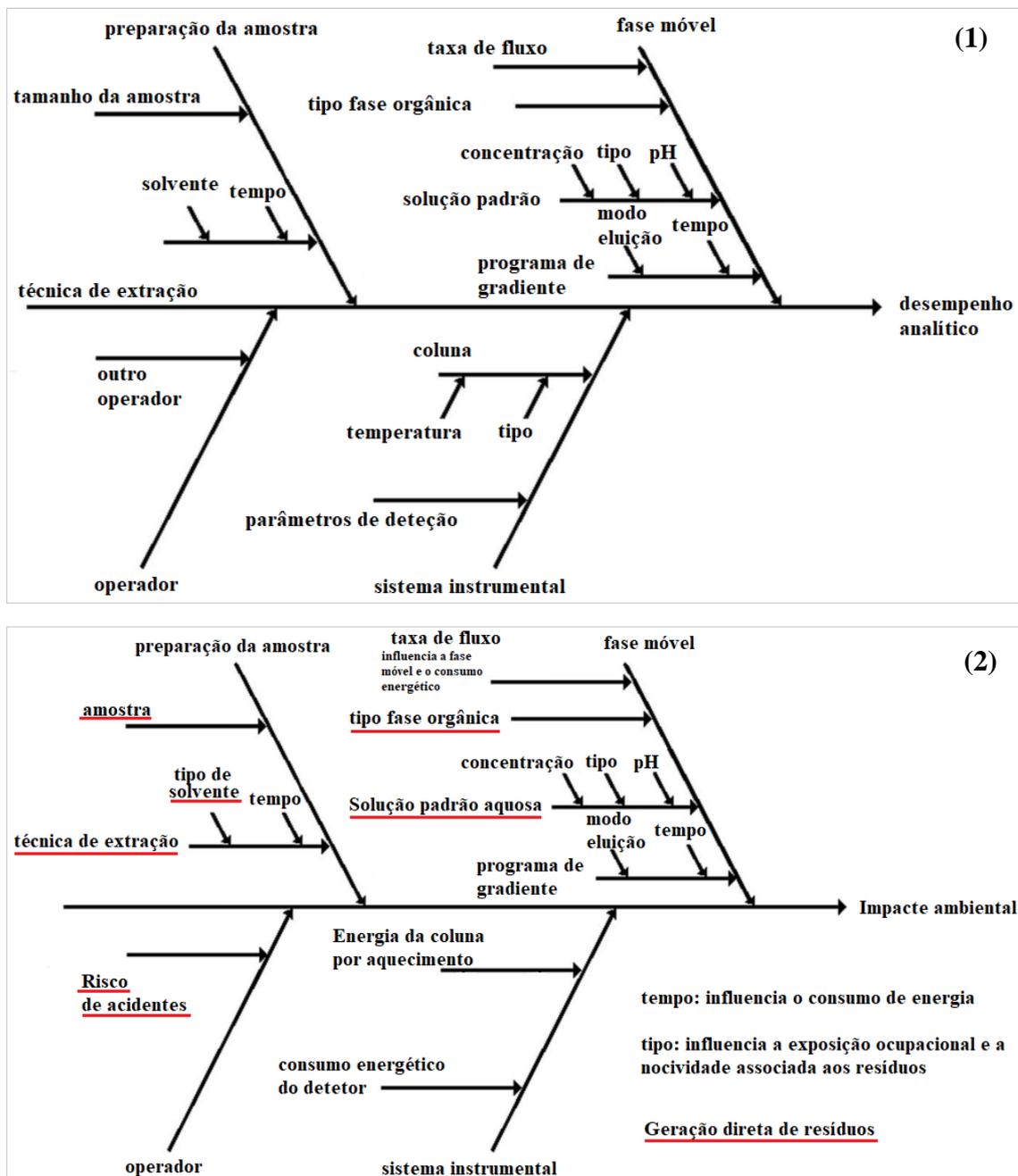


Figura 17: Esquematisação do diagrama de Ishakawa, no qual se apresentam todos os fatores que influenciam um método generalizado de cromatografia líquida (1), bem como todos os impactes ambientais associados ao mesmo (2) (adaptada⁸⁴).

Num contexto industrial, o objetivo principal é a obtenção de um produto final. Como tal, nem todas as entradas de um processo industrial (reagentes, materiais, energia, água, entre

outros) contribuem para a produção de resíduos. Ao invés da indústria, o produto final da QA é o resultado da análise, sendo que todas as entradas iniciais vão constituir os resíduos finais da operação. Os resíduos analíticos não podem ser totalmente eliminados, mas o seu volume pode ser diminuído⁹⁴. Tobiszewski afirma que a preparação da amostra é a etapa mais poluente de uma análise química, pois inclui a utilização de solventes orgânicos, bem como o emprego de inúmeras técnicas analíticas, como extração, mineralização, filtração, destilação, entre outras³⁷.

O compromisso dos analistas em desenvolver ou melhorar os métodos analíticos envolve estratégias bem definidas, onde urge a necessidade de os avaliar através das métricas já anteriormente mencionadas, de forma a avaliar a sua adequabilidade no enquadramento da QV. Porém, encontram-se algumas limitações na aplicação tradicional das métricas da QV no contexto da QAV, pois as principais métricas da QV, como a AE, a RME e a EE foram introduzidas no domínio da síntese orgânica¹⁰¹. Em 2010, a adoção da AE em metodologias analíticas foi abordada por Koel e Kaljurand¹⁰², mas a sua aplicação mostrou-se infrutífera devido à exigência do conhecimento do número de moléculas constituintes do analito que fornece o sinal analítico que vai ser quantificado, que nem sempre é possível obter⁸⁵.

Um dos grandes desafios da QAV é a carência de ferramentas específicas capazes de avaliar a veracidade de cada um dos processos analíticos na literatura, onde é difícil comparar quantitativamente a veracidade dos métodos analíticos em virtude da falta de critérios discriminatórios⁸⁷. Porém, existem algumas ferramentas que têm sido utilizadas pelos químicos analíticos, concebidas e implementadas internacionalmente nos últimos dez anos, cuja fundamentação reside nos critérios e princípios da QV de modo a serem aplicados no domínio da QAV.

2.4.4.1. Pictograma NEMI

O GCI desenvolveu critérios de veracidade para métodos ambientais de modo a facilitar a caracterização e identificação dos processos analíticos de interesse (com utilização de reagentes/solventes menos perigosos e menos tóxicos, e ao mesmo tempo que minimizem a produção de resíduos)⁸⁷. Estes critérios são aplicados ao *National Environmental Methods Index* (NEMI), uma base de dados online¹⁰³ surgida em 2002, nos EUA, em consequência de uma cooperação entre o *National Water Quality Monitoring* e o *Advisory Committee on Water* numa iniciativa designada por *Methods and Data Comparability Board* (MDCB).

Esta ferramenta concentra informação dos perfis de verdura de mais de oitocentos métodos (químicos, biológicos, microbiológicos, ensaios de toxicidade, físicos, entre outros), permitindo aos utilizadores selecionarem o método mais pertinente, ou seja, o que demonstra um perfil mais favorável (neste caso, com maior verdura). A grande maioria dos métodos incluídos no NEMI estão relacionados com aplicações em meio aquoso. Não obstante, esta base de dados foi construída tendo em vista a integração de outros métodos cujos meios de aplicação sejam outros, tais como ar, tecidos, solo/sedimentos, dois meios agregados, entre outros)⁸⁷. A consulta dos métodos na base de dados NEMI pode ser efetuada de duas maneiras: pesquisa por analito, onde o NEMI apresenta todos os métodos associados à quantificação desse mesmo analito, ou então realizar uma pesquisa generalizada, na qual são apresentados os resultados consoante o meio de aplicação (acima nomeados), a natureza do método (químico, físico, biológico, entre outros), e o instrumento usado na metodologia.

Os perfis de verdura do NEMI são ilustrados através de um pictograma, um círculo dividido em quatro quadrantes, cada um deles associados aos quatro critérios fundamentais estabelecidos pelo GCI, estreitamente relacionados com os diferentes aspetos dos impactes ambientais das metodologias analíticas: se utiliza ou não **substâncias PBT - persistência, bioacumulação e toxicidade** - as substâncias PBT encontram-se listadas num inventário criado pela EPA, a *Toxic Release Inventory* (TRI); **perigosidade** (de acordo com as substâncias listadas no TRI ou nas listas D, F, P e U de resíduos perigosos integradas no *Resource and Conservation and Recovery Act* (RCRA); **corrosividade** (o método é considerado corrosivo se o pH da análise for inferior a 2 ou superior a 12); **volume de resíduos** (produção de resíduos superior a 50 gramas).

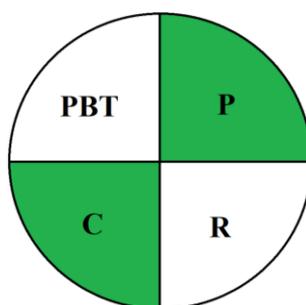
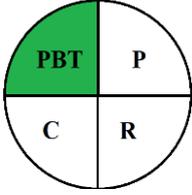
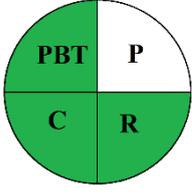
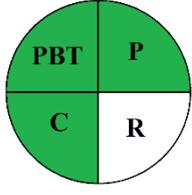
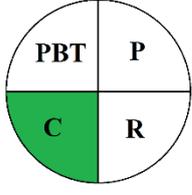


Figura 18: Exemplo de um pictograma de NEMI. Cada um dos campos do círculo representa um dos quatro critérios estabelecidos. Cada campo é preenchido a verde quando os respetivos critérios são cumpridos: **PBT** (se são utilizados ou não substâncias com as seguintes características: persistência, bioacumulação e toxicidade), **P** (Perigosidade - se é ou não uma substância perigosa segundo a RCRA), **C** (Corrosividade – um procedimento analítico é considerado corrosivo se o pH do mesmo for inferior a 2 ou superior a 12), e **R** (Resíduos – a análise é considerada verde se a produção de resíduos for inferior a 50 gramas).

Quando o método preenche um dos requisitos, a área associada ao mesmo deve ser preenchida a verde. O preenchimento dos quatro quadrantes espelha o perfil de máxima verdura, ou seja, quando o processo analítico não utiliza reagentes e/ou solventes PBT (quadrante superior esquerdo), quando os mesmos não são perigosos (quadrante superior direito), o pH da amostra encontra-se entre 2 e 12 (quadrante inferior esquerdo), e a geração de resíduos não ultrapassa os 50 gramas (quadrante inferior direito)¹⁰⁴. De forma a simplificar a compreensão da aplicação desta ferramenta na avaliação da verdura de métodos analíticos, apresentam-se de seguida alguns exemplos explicativos do NEMI na Tabela 5.

Tabela 5: Comparação dos perfis verdes de alguns métodos analíticos através da ferramenta NEMI¹⁰⁵.

Métodos	Princípio do método	PBT	Perigosidade	Corrosividade	Resíduos	Pictograma NEMI
Métodos para a determinação de resíduos orgânicos de pesticidas em água, como aldrina, através da cromatografia gasosa						
EPA 525.2	Extração de 1L de amostra	Não	Acetato de etilo, Diclorometano, metanol	pH < 2	> 50g	
EPA 505	Extração de uma amostra de 35g com 2g de hexano	Não	Hexano	não é ácido nem básico	< 50g	
Métodos para a quantificação de Cloro Residual Total em água natural e água tratada						
EPA 330.3	Titulação de amostra de 200mL	Não	Não	pH < 4	> 50g	
EPA 330.4	Titulação de amostra de 100mL	Preservativo Cloreto Mercúrico	HgCl ₂	pH < 4	> 50g	

EPA 330.5	Espectrofotometria com amostra de 10mL	Preservativo Cloreto Mercúrico	HgCl ₂	pH < 4	< 50g	
Métodos para a quantificação de chumbo em água						
Padrão 3500-Pb-B	Ditizonato de chumbo é sintetizado e quantificado num espectrofotómetro	Não	Clorofórmio, solução de citrato-cianeto	pH < 2	> 50g	
USGS* I-1401-85	Injeção de 20µL de amostra de água com 5µL de modificador de matriz num espectrofotómetro GFAA**	Não	Não	Não	< 50g	

*: *United States Geological Survey* (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

** : *Graphite Furnace Atomic Absorption* (Absorção Atómica em Forno de Grafite).

A aplicação do NEMI para a conjectura dos perfis verdes demonstra-se vantajosa para os utilizadores, uma vez que a leitura da avaliação é facilitada pela simplicidade na leitura do pictograma. Em contrapartida, esta ferramenta avalia os métodos de uma forma generalizada, em que cada pictograma apenas identifica se o critério é superior ou inferior aos tabelados, e o preenchimento dos pictogramas apresenta-se altamente morosa, confinando assim a sua utilização⁹⁴. Tendo em conta que esta ferramenta apenas avalia os métodos qualitativamente, tornava-se necessário o desenvolvimento de novas métricas que contribuíssem para o aumento do carácter quantitativo da avaliação, de modo tornar o perfil mais discriminatório e a comparação entre critérios mensurável. Em 2011, Raynie e Driver atribuíram a cada critério um valor de 1 a 3, ao invés de apenas classificar como “verdes” e “não verdes”. Acrescentaram, da mesma forma, um critério onde estivessem incluídos os consumos de energia¹⁰⁶. A proposta apresentada por De la Guardia e Armenta, no mesmo ano, incluía a adição de um pictograma adicional, baseado no pictograma original NEMI, dividido igualmente em quatro quadrantes, cujo preenchimento é baseado numa escala de cores – vermelho, laranja e verde para riscos/usos alto, médio e baixo, respetivamente – que quantifica os riscos associados ao operador (quadrante superior esquerdo), o consumo de

energético (quadrante superior direito), o consumo de reagentes (quadrante inferior esquerdo) e o volume de resíduos gerados (quadrante inferior direito).

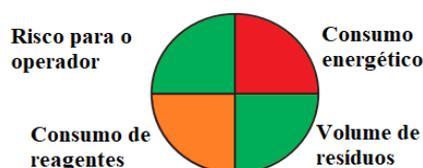


Figura 19: Proposta de pictograma adicional desenvolvido por De La Guardia e Armenta (adaptada¹⁰⁷).

2.4.4.2. Eco-Escala Analítica (EEA)

A Eco-Escala (EE), sugerida em 2006 por Aken et. al, no contexto da síntese orgânica, consiste numa escala de 1-100, onde diversos parâmetros eram avaliados, tais como: o rendimento da reação; o preço dos componentes da reação (na obtenção de 10 mmol de produto final); a segurança dos reagentes utilizados (baseada nos símbolos de perigosidade dos mesmos); o arranjo técnico das reações; a temperatura e o tempo; e as técnicas de separação e purificação. Cada um destes parâmetros engloba vários critérios, cada um deles com uma pontuação associada, denominados pontos de penalização (PPs). Quanto maior for o resultado (*score*), mais verde e económico é o processo químico. Uma pontuação igual a 0 (zero) representa uma reação totalmente “falhada”, ou seja, um rendimento de 0%, sendo que 100 reflete a reação “ideal”, onde *o composto A (substrato) reage com (ou na presença de) composto(s) B de baixo custo originando o composto de interesse C numa reação com um rendimento de 100%, à temperatura ambiente, com um risco mínimo para o operador e um impacte mínimo para o ambiente*⁹⁸.

A EE, tal como as restantes métricas da QV nomeadas anteriormente, apresenta diversas limitações quando aplicadas num contexto de química analítica. Como tal, Gałuszka et. al preconizam em 2012 a EEA, uma ferramenta holística e semi-quantitativa, com o intuito de propiciar uma avaliação mais conveniente e compreensiva da verduza dos processos analíticos. Uma análise verde ideal define-se com um resultado equivalente a 100, a pontuação máxima atribuída pela EEA. Quanto maior for a pontuação da análise, mais verde ela é.

À semelhança da EE de Aken, esta abordagem de Gałuszka assenta também numa escala de 1 a 100. Com efeito, o resultado da aplicação desta ferramenta é calculado através do

somatório de todos os PPs associados aos critérios de cada parâmetro. Este somatório global deve ser incluído no cálculo da EEA de acordo com a seguinte fórmula (1):

$$\text{EEA} = 100 - \Sigma (\text{PPs}) \quad (1)$$

Os resultados da EEA são posteriormente classificados consoante o seu resultado EEA:

- EEA > 75 representa uma análise verde excelente;
- EEA > 50 representa uma análise verde aceitável;
- EEA < 50 representa uma análise verde inadequada.

A avaliação EEA consiste na atribuição de PPs a quatro parâmetros que caracterizam os métodos analíticos, tais como a quantidade de reagentes, a sua perigosidade, o consumo de energia e a produção de resíduos. Os reagentes e solventes são avaliados segundo dois parâmetros: a quantidade utilizada por amostra (volume ou massa), e a perigosidade (física, ambiental, saúde) associada a esse reagente (cada reagente é avaliado individualmente). Se a quantidade desse reagente ou solvente for inferior a 10 mL (ou g), atribui-se um fator de multiplicação igual a 1 (um); nos casos em que a quantidade dos mesmos é superior a 10 mL (ou g) e inferior ou superior a 100 mL (ou g), impõem-se fatores de multiplicação equivalentes a 2 (dois) e a 3 (três), respetivamente. Esses fatores de multiplicação podem também ser designados por PPs.

Os PPs da perigosidade baseiam-se no Sistema Mundial Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos da UN (*GHS - Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*). Este sistema inclui frases e pictogramas normalizados, de forma a alertar os utilizadores para os perigos das substâncias químicas.

Esses pictogramas, contornados a vermelho e fundo branco, vão ser utilizados para calcular os PPs. Com efeito, os PPs de cada reagente são calculados através da multiplicação do número de pictogramas associados a esse mesmo reagente com o grau da sua perigosidade, recorrendo às palavras de advertência “Perigo” (*Danger*) e “Atenção” (*Warning*) do sistema GHS, as quais revelam o grau relativo de severidade de um perigo. O primeiro relaciona-se com perigos mais severos, sendo que o segundo com menos severos. Por conseguinte, se o reagente incluir a palavra “Perigo”, deve multiplicar-se o número de pictogramas por 2 (dois). Se a palavra referente a esse reagente for “Atenção”, então o número de pictogramas deve ser multiplicado apenas por 1 (um)⁹⁴. Estes símbolos podem ser encontrados nos rótulos das substâncias químicas, bem como nas fichas de segurança

(SDS – Safety Data Sheet). A Tabela 6 apresenta os pictogramas do sistema GHS que são utilizadas na avaliação EEA.

Tabela 6: Pictogramas e classes de perigo do sistema GHS usados para classificar a perigosidade das substâncias químicas na avaliação EEA.^{108,109}

		
<p>Explosivo GHS01 <u>Perigo: Cat. 1.1-1.3</u> <u>Atenção: Cat. 1,4</u> Reativos Peróxidos Orgânicos</p>	<p>Inflamável GHS02 <u>Perigo: Cat. 1 e 2</u> <u>Atenção: Cat. 3</u> Auto-reativos Pirofóricos Auto-aquecível Emite gás inflamável</p>	<p>Comburente GHS03 <u>Perigo: Cat. 1 e 2</u> <u>Atenção: Cat. 3</u> Oxidantes Peróxidos Orgânicos</p>
		
<p>Gases sob pressão GHS04 <u>Atenção</u></p>	<p>Corrosivo GHS05 <u>Perigo: Cat. 1A, 1B e 1C</u> <u>Atenção: Cat. 1</u></p>	<p>Toxicidade Aguda GHS06 <u>Perigo: Cat. 1, 2 e 3</u></p>
		
<p>Perigo para a saúde GHS07 <u>Atenção</u> Irritante (Cat. 2) Sensibilizante térmico Toxicidade aguda (Cat. 4)</p>	<p>Perigo severo para a saúde GHS08 <u>Perigo: Cat. 1A e 1B</u> <u>Atenção: Cat.2</u> Carcinogénico Sensibilizante à respiração Toxicidade à reprodução Toxicidade em órgãos-alvo Mutagenicidade</p>	<p>Perigo para o Ambiente GHS09 <u>Perigo</u></p>

Em algumas situações, mais especificamente em metodologias onde são utilizadas técnicas de microextração, os volumes de reagentes e solventes são demasiado pequenos, na ordem dos microlitros. Segundo a EEA, um método A e um método B que utilizem 1,5 μL e 9,9 mL, respetivamente, de um reagente X, vão sofrer a mesma penalização, quando o aumento do reagente X do método A para o método B é de aproximadamente 6600 volumes. De forma a contrariar as inconsistências verificadas nestas situações e a discriminar as extrações de micro e macroescala, Armenta et al.¹¹⁰ consideraram uma ferramenta semi-quantitativa complementar, a Eco-microescala, onde propõem a multiplicação dos PP por 0,1 quando são utilizados volumes de reagentes/solventes entre 1 e 9 μL , e a multiplicação por 0,5 quando são usados volumes compreendidos entre 100 e 500 μL .

No final, na contabilização dos PPs totais relativos aos reagentes e solventes, devem multiplicar-se os valores dos PPs inerente à quantidade dos reagentes e solventes com o valor resultante da multiplicação dos *scores* dos pictogramas e dos *scores* das palavras de perigo.

O consumo energético do processo também é considerado para os cálculos da EAA. Os PPs relativos a este parâmetro são atribuídos tendo em conta a escala desenvolvida por Raynie e Driver¹¹¹. Com efeito, a menor pontuação (1), é atribuída às práticas e aos equipamentos laboratoriais cujo consumo energético é mínimo, isto é, igual ou inferior a 1 kWh, destacando-se a extração em fase sólida, evaporador rotativo, FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), espectrofotómetro UV-Vis, espectrofotómetro de fluorescência, UPLC (*Ultra performance Liquid Chromatography*), titulações, imunoensaios, ensaios microbiológicos, entre outros. Quando o consumo energético se situa entre os 0,1 e os 1,5 kWh (por amostra), atribui-se um PP equivalente a 2 (dois). A título de exemplo, as técnicas de cromatografia líquida e cromatografia gasosa, bem como a espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS – *Inductively coupled plasma mass spectrometry*), apresentam gastos energéticos desta ordem. Aos processos com maior gasto de energia (consumo transcende os 1,5 kWh por amostra) atribui-se a maior pontuação da escala, equivalente a 3 (três). Estes consumos elevados de energia estão normalmente associados a técnicas analíticas mais complexas, tais como NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*), GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectroscopy*), LC-MS (*Liquid Chromatography*) e Diffractometria Raio-X (*X-Ray Diffractometry*).

As emissões de gases para a atmosfera também são significativas na avaliação EEA. Os processos analíticos dos quais resultam emissão de gases e vapores para a atmosfera são

penalizados com um PP igual a 3 (três). O volume dos resíduos e o seu tratamento são igualmente ponderados aquando da avaliação EEA. Neste parâmetro, ao contrário do que se verifica na situação dos reagentes, o resultado final dos PPs resulta da soma dos PPs relativos à quantidade dos resíduos e dos PPs inerentes ao tipo de tratamento que sofrem (ou a sua carência). No que concerne à produção de resíduos, quando esta é inexistente, o valor da penalização corresponde a 0 (zero); quando esta é inferior a 1 mL (ou g), atribui-se um PP igual a 1 (um); entre 1 e 10 mL (ou g) a penalização corresponde a 3 (dois); sendo que, para volumes de resíduos superiores a 10 mL, aplica-se um PP igual a 5 (cinco). Quanto ao tratamento dos resíduos, se os mesmos foram reciclados, não são atribuídos PPs. No caso de os resíduos sofrerem degradação ou passivação, são atribuídos PPs iguais a 2 (dois) e 3 (três), respetivamente. Se os resíduos não sofrerem qualquer tipo de tratamento (eliminados diretamente no esgoto), sofrem a penalização máxima, ou seja, são adicionados 3 (três) pontos de penalização. A tabela seguinte (Tabela 7) sumariza todos os parâmetros e os PPs intrínsecos à avaliação EEA.

Tabela 7: Pontos de penalização (PPs) atribuídos a cada critério para o cálculo da EEA (adaptada⁸⁵).

Reagentes		
	Sub-total PPs	Total PPs
Quantidade	< 10 mL (g)	1
	10-100 mL (g)	2
	> 100 mL (g)	3
Perigosidade (físico, ambiental, saúde)	Nenhuma	0
	Pouco severo (Atenção)	1
	Muito severo (Perigo)	2
Instrumentos		
Energia	≤ 0,1 kWh por amostra	0
	≤ 1,5 kWh por amostra	1
	> 1,5 kWh por amostra	2
Perigo Ocupacional	Hermetização do processo analítico	0
	Emissão de gases e vapores para a atmosfera	3
Resíduos	Nenhuns	0
	< 1 mL (g)	1
	1-10 mL (g)	3
	> 10 mL (g)	5
	Reciclagem	0
	Degradação	1
	Passivação	2
	Não há tratamento	3

A aplicação da EEA apresenta diversas vantagens na avaliação do perfil verde dos métodos analíticos: a facilidade no cálculo dos *scores* através da EEA; a facilidade na comparação dos procedimentos analíticos; e a inclusão de impactes ambientais distintos aquando da avaliação do método. Porém, esta ferramenta não permite inferir a estrutura dos perigos nem a causa dos impactes ambientais⁹⁴, daí ser considerada por muitos autores uma ferramenta semi-quantitativa^{95,112,113}. As limitações da EEA são reconhecidas, contudo a comunidade científica considera a sua aplicação importante e fundamental na procura de metodologias mais verdes e inovadoras, alegando que a ferramenta tem a capacidade de apontar os pontos fracos dos métodos analíticos, indo ao encontro dos requisitos da QV^{85,113}.

2.4.4.3. *Green Certificate* (CV – Certificado Verde)

Nos últimos anos, os princípios de Gałuszka et al.⁹⁰ têm sido relevantes pelo prisma da QAV e bem aceites pela comunidade científica. Porém, esta tem demonstrado interesse em mudar a observação do carácter verde dos processos analíticos, tornando-a menos qualitativa e mais quantitativa. Tendo em conta esta premissa, surgiu recentemente outra ferramenta designada por *Green Certificate* (Certificado Verde – CV), desenvolvida por Armenta et al.¹¹⁰, tendo por base os resultados obtidos através da aplicação da EEA, classificando-os de acordo com uma escala de categorias, de A a G, com uma cor associada a cada uma. A categoria A, à qual está associada a cor verde escuro, é a categoria máxima da escala. Fazem parte desta categoria todos os métodos que obtenham pontuações de EEA entre os 90 e os 100. A categoria B integra todos os métodos com pontuações entre 80 e 89, e à categoria C pertencem todos os que se encontram entre 70 e 79. Às categorias D, E, F e G correspondem os valores entre 55 e 69, 40 e 54, 20 e 39, e 0 e 19, respetivamente. As primeiras três categorias (A, B e C) são representadas pela cor verde, sendo que a primeira equivale a um tom mais escuro e a terceira a um tom mais claro. A categoria D é representada pela cor amarela, sendo a categoria intermédia da escala. As categorias E e F são representadas pela cor laranja, e a última categoria, referente à pior pontuação que se pode obter através da EEA, é representada pela cor vermelha. A figura seguinte (**Figura 20**) pretende simplificar a compreensão dos critérios e das categorias características do CV.

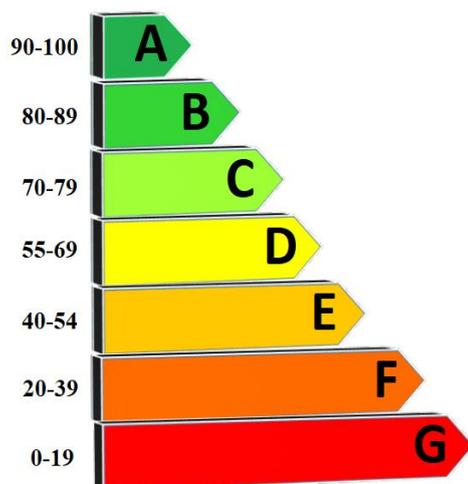


Figura 20: Avaliação dos perfis verdes das metodologias analíticas segundo a classificação CV (adaptada¹¹⁰).

2.5. Laboratório Verde: *Green Labs*

2.5.1. Conceito

A visão do Laboratório Verde (LV) é recente, e surgiu no seguimento da preocupação das universidades em minimizar custos, pois os laboratórios destas instituições requerem imensos recursos para a sua criação e, principalmente, manutenção¹¹⁴. Atualmente são constituídos por diversos equipamentos e instrumentos eletrónicos, acentuando o consumo energético. Da mesma forma, originam grandes quantidades de produtos residuais, desde reagentes, água, ou resíduos químicos ou biológicos considerados tóxicos e perigosos, que são descartados através de tratamentos específicos.

Como os laboratórios usam grandes quantidades de verbas na sua manutenção, devido aos seus gastos exaustivos de energia e recursos, a implementação do LV contribui para a diminuição dos gastos energéticos, e para a previsível redução de custos, libertando efetivamente uma parte do orçamento para ser aplicado noutras valências do laboratório, como por exemplo em novos equipamentos, novos materiais, entre outros.

Não havendo uma definição concreta na literatura do conceito Laboratório Verde em laboratórios académicos ou de análise, propõe-se no presente trabalho uma definição para o mesmo como o *desenvolvimento e implementação de estratégias mais sustentáveis com base nos princípios da QV e QAV, integrando uma melhoria na gestão das diversas valências do laboratório, como solventes e reagentes, recursos hídricos, a energia elétrica, e todos os recursos associados, tais como as matérias-primas (papel, vidro, plástico, entre outros), visando a diminuição de custos financeiros e os gastos residuais e ao mesmo garantir a manutenção da qualidade dos serviços prestados e a minimização da pegada ambiental*¹¹⁵.

Esta visão ambiental e sustentável objetiva a utilização responsável e racional dos recursos naturais, de forma a evitar o desperdício e a acumulação de lixo, e a diminuição do consumo energético. Traduz-se, portanto, num compromisso ambiental adotado pelos laboratórios, na procura de soluções que contornem os impactes ambientais negativos para o ambiente e para a saúde humana, assumindo uma postura consciente na ótica da responsabilidade socioambiental.

2.5.2. Principais focos e estratégias

Existem atualmente diversas empresas da IQ e instituições laboratoriais, de investigação e de análises, que centralizam as suas atenções na procura de práticas mais eficientes e amigas do ambiente. Os seguintes pontos constituem as principais prioridades no campo da QAV¹¹⁶:

- eliminação (ou redução significativa) do consumo de reagentes e solventes orgânicos para processos analíticos;
- redução da emissão de vapores e gases, e de eventuais resíduos sólidos produzidos no laboratório;
- eliminação dos reagentes com maior toxicidade e/ou ecotoxicidade dos métodos analíticos, bem como dos procedimentos de limpeza dos materiais do laboratório;
- redução das horas de trabalho e do consumo energético dos equipamentos e instrumentos utilizados para análises laboratoriais.

Para tal, definem estratégias focalizadas em diferentes vertentes no âmbito dos 12 princípios da QV (e, por conseguinte, da QAV): utilização de tratamentos de amostras alternativos, análise direta de amostras sem tratamento prévio, uso de condições de reações alternativas, minimização do consumo de energia, utilização de solventes alternativos, a utilização de matérias-primas alternativas, refinamento na gestão dos resíduos, e valorização da segurança e bem-estar do operador. De seguida são apresentados os pontos estratégicos da visão do LV, por consistirem nos principais focos de intervenção para a minimização dos impactes ambientais, e alguns exemplos de práticas verdes que já se encontram implementadas em laboratórios.

2.5.2.1. Adoção de métodos alternativos na preparação de amostras

O uso de métodos alternativos na etapa de tratamento de amostras é uma estratégia plausível no que concerne à minimização dos impactes ambientais inerentes aos laboratórios

de análise, onde não se verifica a utilização de solventes, diminuindo os riscos para a saúde humana e ambiental. Com efeito, diversos autores consideram esta etapa a mais poluente de todo o processo analítico³⁷, devido ao elevado número de solventes orgânicos envolvidos em processos como extração, mineralização, filtração, destilação, entre outras operações. Como alternativa a estes métodos mais agressivos para o meio ambiente e para a saúde humana, a literatura sugere três abordagens fundamentais: extração sem solventes, extração auxiliada com outro tipo de solventes, e extração assistida (através de um fenómeno físico). Destas técnicas alternativas de extração sem recurso a solventes destacam-se a extração em fase sólida, a microextração em fase sólida, a microextração em fase líquida, extração com recurso a micro-ondas, extração com ultrassons, as técnicas membranares, entre outros^{37,117}.

2.5.2.2. Utilização de solventes alternativos – *Green Solvents*

A notoriedade da QV advém principalmente da vantagem da sua aplicação na substituição de solventes orgânicos e outros reagentes tóxicos, bastante perigosos para o ambiente, no momento da sua eliminação, e principalmente para a saúde humana no momento da sua utilização. A QV engloba a utilização de químicos que não são perigosos e que produzem produtos também livres de perigosidade na sua síntese ou no seu *design*¹¹⁸. Contudo, ainda não existem substitutos para todos os químicos utilizados em laboratório. Assim, o pessoal do laboratório é responsável pela seletividade dos solventes, considerando sempre o impacte ambiental. Segundo Goodwin e Sherman, a água, o etanol, o ácido acético, o acetato de etilo, o 2-propanol, entre outros solventes, são considerados os solventes menos perigosos dos que são atualmente usados em laboratório, essencialmente quando são empregados em pequenas quantidades^{118,119}.

A preocupação inerente aos solventes utilizados nos processos químicos é de carácter ambiental e centraliza-se em três áreas: a fonte e a síntese do próprio solvente, as suas propriedades aquando da sua utilização, incluindo as descargas acidentais, e o descarte final¹²⁰. Atualmente, diversos exemplos de solventes “verdes” já se encontram referenciados na literatura, nomeadamente a água^{121,122}, os fluídos supercríticos^{123,124}, líquidos de gás expandido (*gas-expanded liquids*)^{125,126,127}, líquidos iónicos^{128,129}, polímeros líquidos¹³⁰, e solventes derivados da biomassa^{131,132,133}. Esta temática gera opiniões distintas e controversas, porque certos autores demonstram algum ceticismo perante a veracidade dos solventes e se realmente a sua aplicação diminui o impacte ambiental^{134,135,136}, e surgem do mesmo modo debates sobre qual dos solventes o mais “verde”¹³⁴.

2.5.2.3. Minimização do consumo energético

Como já foi referido, os gastos energéticos de um laboratório são bastantes avultados, devido à grande quantidade de equipamentos e instrumentos eletrónicos, exigindo para a sua operação e manutenção gastos energéticos quatro ou cinco vezes superiores aos gastos de outro edifício não-laboratório de tamanho idêntico^{137,138}. Vários estudos sugerem algumas medidas essenciais à manutenção adequada do laboratório relativamente à conservação de energia, apresentadas na tabela seguinte (**Tabela 8**).

Tabela 8: Estratégias para a minimização do consumo energético nos laboratórios de análise.

Consciencialização dos operadores no controlo manual ou automático dos equipamentos e instrumentos elétricos e eletrónicos existentes no laboratório, apelando para que os desliguem sempre que possível;
O ajuste manual da temperatura do ar condicionado conforme as exigências sazonais ¹³⁹ ;
As hottes são equipamentos que exigem uma utilização intensiva de energia, logo sugere-se a descida das faixas de vidro de modo a diminuir a exaustão do ar, ou mesmo proceder ao seu desligamento, de modo a evitar consumos de energia excessivos ^{138,140} ;
A diminuição de lâmpadas acesas quando estão poucas pessoas a utilizar o laboratório, instalando pequenas lâmpadas nas hottes de modo a fornecerem iluminação suficiente para a área de trabalho ¹⁴¹ ;
Os computadores e os aparelhos a si associados são outra fonte de consumo energético presente nos laboratórios. Os computadores devem ser desligados ao final do dia de trabalho, ou quando não estão a ser utilizados pelas pessoas que ocupam o laboratório, ou então deve proceder-se à ativação do modo de poupança de energia, de modo a que o computador consuma menos energia no modo <i>sleep</i> .

2.5.2.4. Gestão de Resíduos

Os laboratórios, quer os industriais, os governamentais como os académicos, contribuem para a geração de resíduos, geralmente tóxicos e perigosos, que necessitam de tratamento e meios de eliminação específicos. Existe uma preocupação especial neste sentido, pois estes resíduos muitas vezes são despejados em ambientes aquáticos, interferindo com o equilíbrio dos ecossistemas e com a segurança alimentar da população. Outro aspeto a ser considerado são os custos associados ao tratamento de resíduos químicos perigosos. Estas substâncias exibem características perigosas ou encontram-se referenciados como tal através de regulamentos específicos. A literatura sugere diversas sugestões e medidas atualmente praticadas e aplicadas em universidades nacionais e internacionais no âmbito da redução/prevenção do volume de resíduos químicos tóxicos e perigosos, dos quais se destacam: a redução do uso de materiais químicos aquando da realização de experiências, sempre com um planeamento prévio das mesmas; a implementação de um inventário de químicos que estão disponíveis no laboratório; a partilha de materiais químicos entre

laboratórios; a compra de instrumentos sem mercúrio; a substituição dos químicos perigosos por químicos mais “verdes” sempre que possível; a redução da escala das experiências do laboratório, de modo a minimizar a geração de resíduos produzidos pelas mesmas; a destilação de solventes já utilizados para que sejam novamente usados; em processos de limpeza, pode recorrer-se a solventes já usados para a lavagem de material de vidro. Todas estas sugestões inserem-se na política de prevenção de poluição, que se traduz na política dos 3 Rs: **Redução**, **Reutilização** e **Reciclagem**. Em casos mais específicos, podem ser introduzidos métodos alternativos para o tratamento final de resíduos químicos considerados perigosos, como a neutralização, precipitação, oxidação, redução e destilação, praticados sempre por profissionais especializados do laboratório¹⁴². Estas medidas apologistas da sustentabilidade ambiental foram atualizadas através de uma abordagem “poluição zero” da Universidade Americana localizada na cidade de Cairo, no Egito. Aí, foi estipulada a “Regra Dourada dos 6 Rs”. Este novo modelo ambiental integra os 3 Rs, sendo que o quarto R dirige-se ao “*Recovering*” (Recuperação), onde está subjacente a recuperação das matérias-primas dos resíduos através de processos de tratamento mais sustentáveis e com menor impacto ambiental. Os 2 últimos Rs referem-se aos termos “*Rethinking*” (“Repensar”), “*Renovation*” (“Renovação”). Mais tarde verifica-se a adição de mais um R, relativo à “*Regulation*” (Regulação), formando assim a “Regra Dourada dos 7Rs”. A regulação é vital para a gestão de resíduos, pois é através de normas oficiais que todos estes conceitos ambientais podem ser implementados¹⁴³.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) é a instituição responsável promotora da consciencialização ambiental e das práticas verdes nas instituições públicas e privadas. Em Portugal. A sua missão funda-se na proposta, no desenvolvimento e no acompanhamento da gestão das políticas ambientais e de desenvolvimento sustentável, visando sempre a proteção e valorização do ambiente e a prestação de serviços de elevada qualidade aos cidadãos¹⁴⁴. Os resíduos perigosos, originados na sua maioria no setor da Química Industrial⁷⁰, exigem uma gestão mais cuidada e mais específica uma vez que podem ser nocivos para o Homem e para o Meio Ambiente. Assim, os perfis de perigosidade de cada resíduo encontram-se referenciados na Portaria n.º 209/2004, de 3 de março. Mais concretamente, o Anexo I refere-se à Lista Europeia de Resíduos em conformidade com a Decisão n.º 2000/532/CE de 3 de maio (alterada em 2001), na qual se encontram listados todo o tipo de resíduos e se esses são considerados perigosos ou não, sendo que perfis de perigosidade de um tipo específico de

resíduo podem ser consultados no Anexo II da Portaria 209/2004¹⁴⁵, de 3 de março, e no Anexo III do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, que posteriormente foi republicado em 17 de junho, no Decreto-Lei 73/2011¹⁴⁶.

A produção de resíduos perigosos pode constituir uma fonte de perigo quer para o Homem quer para o meio ambiente, daí urgir a necessidade de uma boa gestão dos mesmos. Em Portugal é possível encontrar-se inúmeras empresas de recolha e tratamento de resíduos, dando ênfase aos centros integrados de recuperação, valorização e eliminação de resíduos perigosos (CIRVER), o CIRVER SISAV, do grupo EGEO, com uma capacidade média anual de 150000 toneladas de resíduos¹⁴⁷ e o CIRVER ECODEAL, um centro de tratamento residual que engloba várias unidades de tratamento de resíduos específicos com capacidade média de 200000 toneladas/ano¹⁴⁸. O IVDP recorre à empresa Carmona para proceder à recolha e tratamento dos seus resíduos perigosos e não perigosos. Esta empresa é um referência de excelência no setor ambiental, envolvida em diversos projetos inseridos nas unidades de Investigação e Desenvolvimento (I&D), contribuindo assim para a inovação e a melhoria dos serviços prestados¹⁴⁹.

2.5.2.5. Segurança e Bem-Estar

A visão Laboratório Verde incide do mesmo modo na segurança e no bem-estar dos operadores e funcionários dos laboratórios; pressupõe a consciencialização dos operadores de laboratório (investigadores, técnicos, empregados de limpeza, estudantes, entre outros) no que concerne aos riscos de segurança inerentes às substâncias químicas, que na sua maioria são perigosas e tóxicas. Este pressuposto vai de encontro ao princípio 12 consagrado nos princípios⁷⁰ propostos por Anastas e Warner em 1998, mencionados anteriormente, referindo que as substâncias utilizadas num processo químico devem ser escolhidos segundo critérios com vista à mitigação dos potenciais acidentes que possam ocorrer em ambiente laboratorial, especificamente o derramamento, explosões e incêndios¹⁵⁰.

Os materiais químicos detêm propriedades consideradas agressivas e perigosas para a saúde humana, daí prescrever-se um estudo mais vincado das suas propriedades e da sua perigosidade antes da síntese e aquisição dessas mesmas substâncias. O seu comportamento após a colocação desses químicos em recipientes fechados deve ser considerado, de modo a entender como a substância reage quando as condições de acondicionamento variam. Outras propriedades como a explosividade, a reatividade da água e do ar, a instabilidade e o prazo de validade também são relevantes para a perceção da perigosidade e posterior elaboração

de protocolos de segurança na ótica da mitigação de acidentes, ferimentos e de mortalidade nos laboratórios químicos e biológicos. Anualmente, ocorrem todo o tipo de acidentes e incidentes, e, na pior das situações, mortes, em laboratórios, espelhos reais da carência de avaliações dos riscos químicos e de guias protocolares, essenciais para uma avaliação realista e para a prevenção de fatalidades^{151,93}. O Regulamento REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals* – Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos), cujo objetivo reside na proteção social e ambiental face aos riscos inerentes ao uso de substâncias ou produtos químicos, impõe regras no seu uso e na sua comercialização de forma a que produtores e importadores forneçam todo o tipo de informação sobre os químicos que utilizam, visando promover a prudência no uso do produto e a substituição paulatina das substâncias perigosas por alternativas mais seguras e menos tóxicas¹⁵².

2.5.3. Implementação dos *Green Labs* em instituições nacionais e internacionais

Esta conceção tem vindo a ser bastante abordada nos últimos anos por universidades nacionais e internacionais, com a adoção da visão do Laboratório Verde nas suas instalações de investigação, onde os objetivos remetem essencialmente para a aplicação da Química Verde nos seus projetos, a promoção racional de todos os recursos, principalmente energéticos, hídricos e químicos, usados intensivamente em qualquer tipo de laboratório.

As universidades são os principais agentes de modificações sociais¹⁵³, e cada vez mais apostam na reeducação ambiental, no âmbito da sustentabilidade ambiental, de forma a garantir que os seus alunos e funcionários adotem novas práticas verdes, tanto a nível de currículo, investigação, operações, avaliações e notícias, benéficas para o meio ambiente e para a sociedade¹⁵⁴. As organizações e instituições assumem compromissos ambientais, e, consoante os seus objetivos, avaliam os seus laboratórios de modo a identificarem as necessidades e as oportunidades de mudança e melhoria, criando planos de ação/iniciativas/programas de sustentabilidade que tornem os laboratórios mais amigos do ambiente.

Tabela 9: *Universidades internacionais que já contemplam a visão Laboratório Verde e as respetivas medidas implementadas.*

Universidades	País	Medidas / Iniciativas / Programas
	EUA	<i>Harvard University Sustainability Plan. Fiscal Year 2015-2020</i> ¹⁵⁵ . Esta instituição estabeleceu vários objetivos no âmbito do compromisso ambiental, dos quais já conseguiu alcançar em 2016 a diminuição da emissão de gases de efeito de estufa em 30%.

	EUA	<p>Esta universidade tem incorporadas diversas políticas ambientais, que conduziram à elaboração de planos de sustentabilidade individuais tendo em conta as necessidades de cada um dos laboratórios. Desenvolveu um plano de sustentabilidade em 2016¹⁵⁶ onde se encontram incluídos objetivos e estratégias que conduzam à diminuição do impacto dos laboratórios.</p>
	AU	<p>Preocupados com os impactos ambientais significativos dos seus laboratórios, bem como os consumos de recursos e energéticos, a Universidade de Griffith elaborou também um programa “Green Labs”, com o intuito de encontrar soluções que possam diminuir esses impactos e gastos, delineando estratégias que permitam alcançar esses objetivos¹⁵⁷.</p>
	AU	<p>A universidade australiana assume também uma postura responsável ao integrar também uma política ambiental, através de um programa relacionado com a visão do Laboratório Verde. Foca-se em assuntos como a gestão de químicos, a eficiência energética, gestão das hottes, limpezas, iluminação, eficiência do uso de recursos, redução de desperdícios, consumo eficiente de água, entre outros.</p>
	RU	<p>“Environmental Sustainability Vision, Policy and Strategy”¹⁵⁸. Engloba um programa relacionado com os “Green Labs”, tendo como objetivo a redução dos impactos ambientais e a minimização da utilização dos recursos, sem haver uma redução do nível da investigação.</p>
	PT	<p>Apesar de ainda não ter desenvolvido políticas específicas para os laboratórios, a Universidade de Lisboa desenvolveu em 2010 o projeto “Universidade Verde”, com o objetivo de tornar a sua instituição mais sustentável, através de vários projetos e iniciativas no âmbito da sustentabilidade ambiental, promovendo as práticas verdes.</p>

Legenda: EUA – Estados Unidos da América; AU – Austrália; RU – Reino Unido; PT - Portugal

Através da análise dos programas destas universidades, foi possível concluir que a índole ambiental é transversal a todas as iniciativas, incluindo compromissos, políticas e estratégias pertinentes e vitais para a minimização dos impactos ambientais e do uso intensivo de todos os recursos, naturais e não naturais.

3. Caso de Estudo: Avaliação ambiental de quatro setores integrantes do Serviço de Laboratório do Instituto dos Vinhos do Douro e Porto no âmbito da Química Analítica Verde

3.1. Metodologias de pesquisa: recolha e análise dos dados

Numa primeira fase foi realizada uma pesquisa exaustiva e aprofundada com o objetivo de realizar a revisão bibliográfica inerente à temática de interesse, com recurso a base de dados como o *Science Direct* e o NCBI (*National Center for Biotechnology Information*).

O levantamento e a recolha de dados foram realizados através de entrevistas aos colaboradores do IVDP, da observação da realização dos métodos analíticos e de documentação pertencente à instituição, nomeadamente relatórios, faturas, folhas MIRR, entre outros. O diagnóstico ambiental realizado neste estudo segue as diretrizes do diagnóstico ambiental segundo a referência ISO 14001:2015 da certificação de um Sistema de Gestão Ambiental, traduzindo-se numa análise mais completa dos indicadores ambientais da organização.

Na etapa seguinte, correspondente à identificação e caracterização do perfil de verdura dos métodos analíticos através da ferramenta Eco-Escala Analítica, os operadores do laboratório foram acompanhados nas suas tarefas para que fosse possível a recolha de dados por meio de entrevistas e recolha visual. Os pictogramas dos solventes/reagentes foram recolhidos diretamente dos recipientes existentes no laboratório e/ou no armazém, sendo que, quando não foi possível adquirir essa informação, esses mesmos dados foram recolhidos no *website* da *Pubchem* do NCBI (*National Center for Biotechnology Information*)¹⁵⁹.

3.2. Caracterização do Serviço de Laboratório

O Serviço de Laboratório (SL) do IVDP integra todas as atividades de carácter laboratorial. Nesta unidade são realizadas análises físico-químicas a todo o tipo de vinho do Porto e do Douro, bem como a aguardentes vónicas e aguardentes destinadas à elaboração de vinho do Porto, e outras bebidas espirituosas. Deste modo, analisam as propriedades químicas e físicas das amostras e confirmar se se encontram em conformidade com os limites legais e/ou aceitáveis com os valores característicos dos vinhos e reconhecidos pelas denominações respetivas, validando ou não a sua certificação.

O SL é gerido por um Chefe de Serviço, e cada um dos setores é gerido por um Responsável de Setor. O SL é constituído por um total de 17 colaboradores, estando a

maioria apta para executar mais do que uma operação analítica. O seguinte organograma (Figura 21) pretende ilustrar a hierarquização do SL.

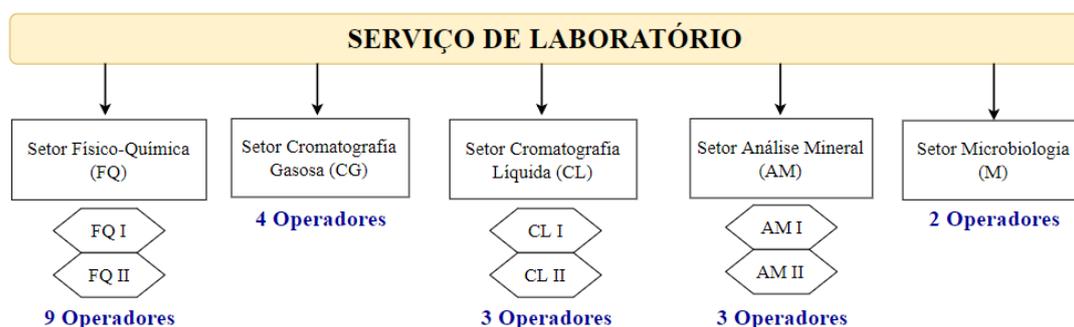


Figura 21: Organograma do Serviço de Laboratório do IVDP.

Esta unidade do IVDP é composta por cinco setores, cuja classificação se baseou no princípio químico ou tipo de separação verificados em cada um deles:

- o setor Físico-Química (FQ): dividido em dois espaços de trabalho, Físico-Química I (FQI), que engloba diversas análises no âmbito da Química Clássica, nomeadamente destilações, volumetria, potenciometria, densimetria, gravimetria, espectrofotometria, a amostras de vinho e aguardentes, integrando também equipamentos responsáveis pela quantificação do teor de açúcares de vinhos através de métodos enzimáticos; na Físico-Química II (FQII), encontram-se aparelhos de espectroscopia de infravermelhos com Transformada de Fourier, o FTIR, cujas análises quantificam inúmeros parâmetros em simultâneo e de forma bastante célere;
- o setor Cromatografia Gasosa (CG) é responsável pela quantificação de diversos parâmetros (maioritariamente substâncias voláteis, fenóis voláteis, e carbamato de etilo) através de métodos de separação cromatográfica em fase gasosa e espectrometria de massa;
- o setor Cromatografia Líquida (CL) também se encontra dividida em dois espaços, a Cromatografia Líquida I (CLI) e Cromatografia Líquida II (CLII), onde são analisados diversos parâmetros através de técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência (*High Performance Liquid Chromatography* – HPLC), sendo que neste setor também são efetuadas análises recorrendo a métodos de eletroforese capilar;
- o setor Análise Mineral (AM), que também é composto por duas áreas de trabalho, a Análise Mineral I (AMI) e a Análise Mineral II (AMII), sendo que na primeira zona verifica-se a quantificação do ácido cianídrico através de potenciometria, e na segunda

zona efetuam-se as análises de quantificação do teor de diversos metais leves e pesados em vinhos e aguardentes através de técnicas de espectrofotometria de absorção atómica com chama e com câmara de grafite;

- por fim existe o setor Microbiologia (M), onde são realizados todo o tipo de ensaios microbiológicos, desde exames microbiológicos a bactérias acéticas, bactérias lácticas, bolores e leveduras, exames microscópicos simples e com coloração vital, e também pesquisa biológica de antifermentos, utilizando técnicas de filtração por membrana e o Método ELISA. O setor M não foi considerado no presente estudo, uma vez que o número de análises realizadas neste setor é bastante baixo (aproximadamente 144 análises para a quantificação de 18 parâmetros), e pelo facto de o carácter biológico/microbiológico destas mesmas análises não ser relevante para o estudo, cujo foco são os métodos de carácter químico (química analítica).

O SL integra também a Sala de Triagem, onde diariamente são escolhidos e distribuídos todos os processos que irão ser analisados no dia seguinte. A Sala de Lavagem situa-se junto do setor FQI, utilizada frequentemente na lavagem de material de laboratório, onde se encontram máquinas de lavar específicas para material de laboratório (vidro e plástico) e um aparelho de purificação de água, uma vez que a água utilizada na análise de amostras tem de ser água previamente purificada (água ultra pura); e um compartimento onde são armazenados todos os resíduos recicláveis, como vidro, rolhas, plásticos, papel e cartão, para posteriormente serem recolhidos pelas empresas respetivas de recolha.

3.2.1. Métodos Analíticos – métodos oficiais e métodos internos

Atualmente, o SL oferece um vasto leque de métodos analíticos, tanto para análise de vinhos tranquilos e de vinhos licorosos, como para análise de aguardentes, dependendo da finalidade da análise. A maioria dos métodos disponíveis são métodos internos (todos os códigos que começam por MIVDP), sendo que os restantes métodos praticados pertencem aos protocolos do OIV, considerados métodos oficiais. A tabela seguinte apresenta o número total de métodos disponíveis e parâmetros analisados por cada setor. Como já foi referido, o Setor M não foi considerado neste estudo, logo não irá ser contabilizado nos cálculos futuros.

Tabela 10: Métodos analíticos e respectivos parâmetros analisados de cada um dos setores do SL.

Setor	Métodos	Parâmetros
Certificação/Assistência Vinhos/Vinhos Licorosos		
Físico-Química	30	36
Análise Mineral	9	9
Cromatografia Líquida	5	33
Cromatografia Gasosa	5	22
Certificação/Assistência Aguardentes		
Físico-Química	5	8
Análise Mineral	8	8
Cromatografia Líquida	1	12
Cromatografia Gasosa	4	35

Muitos destes parâmetros anteriormente enumerados são cálculos, ou seja, dependem da análise de outros parâmetros para serem quantificados. Com efeito, a sua análise é indireta, ou seja, não há gasto de recursos para a sua análise, apenas um simples cálculo. Assim, os métodos cujas análises são definidas como cálculos não irão ser contabilizados no presente estudo por não se mostrarem significativos no enquadramento do objetivo do mesmo.

Uma das primeiras etapas do caso de estudo consistiu no levantamento do número total de análises realizadas por parâmetro em cada setor do SL durante os anos de 2014, 2015 e 2016, e posteriormente calculou-se a média de análises referente a esse intervalo de tempo.

Após o levantamento, foram estipulados alguns critérios de seleção, neste caso de eliminação, para a seleção dos parâmetros que melhor satisfazem as condições de interesse, tendo em conta os objetivos do trabalho, e no final são descartados: parâmetros quantificados através de cálculos, parâmetros/métodos do setor da Microbiologia, parâmetros cujo valor médio anual de análises é inferior a 50, parâmetros/métodos obsoletos, e parâmetros que não são analisados nas instalações do IVDP, mas sim por empresas subcontratadas. Todos estes critérios de eliminação abrangem os quatro setores do SL.

Os gráficos seguintes (**Figura 22-26**) exibem as médias anuais de análises realizadas em cada um dos setores do SL, após serem aplicados os critérios de seleção. De modo a simplificar a leitura da análise dos dados do setor FQ, os dados relativos a este setor vão ser apresentados em dois gráficos distintos, de acordo com a área de trabalho onde os parâmetros são quantificados (FQ I e II).

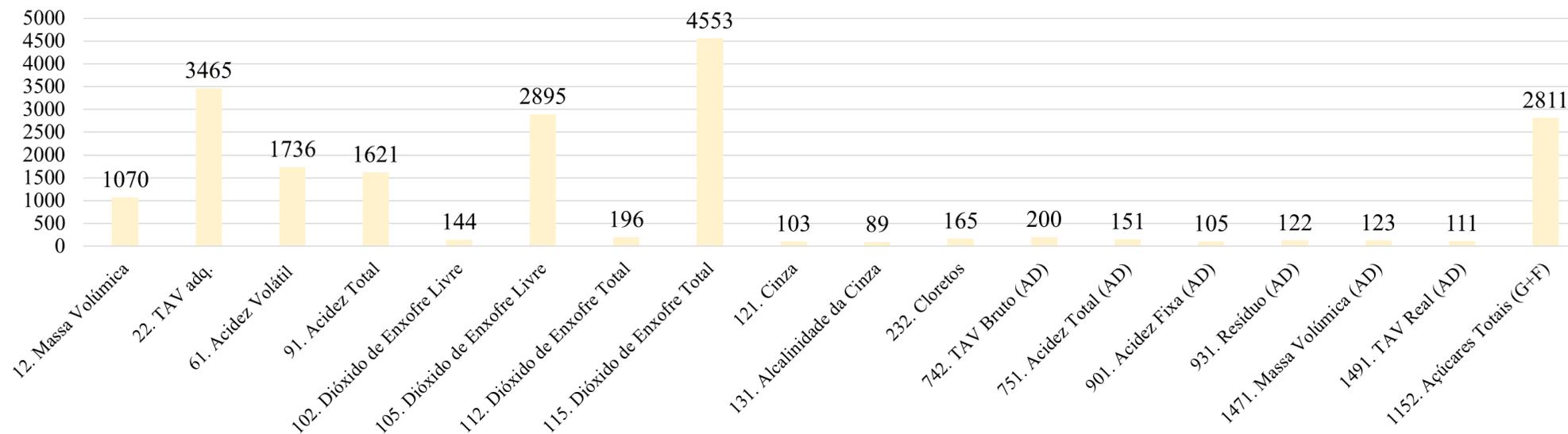


Figura 22: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor FQ (FQI).

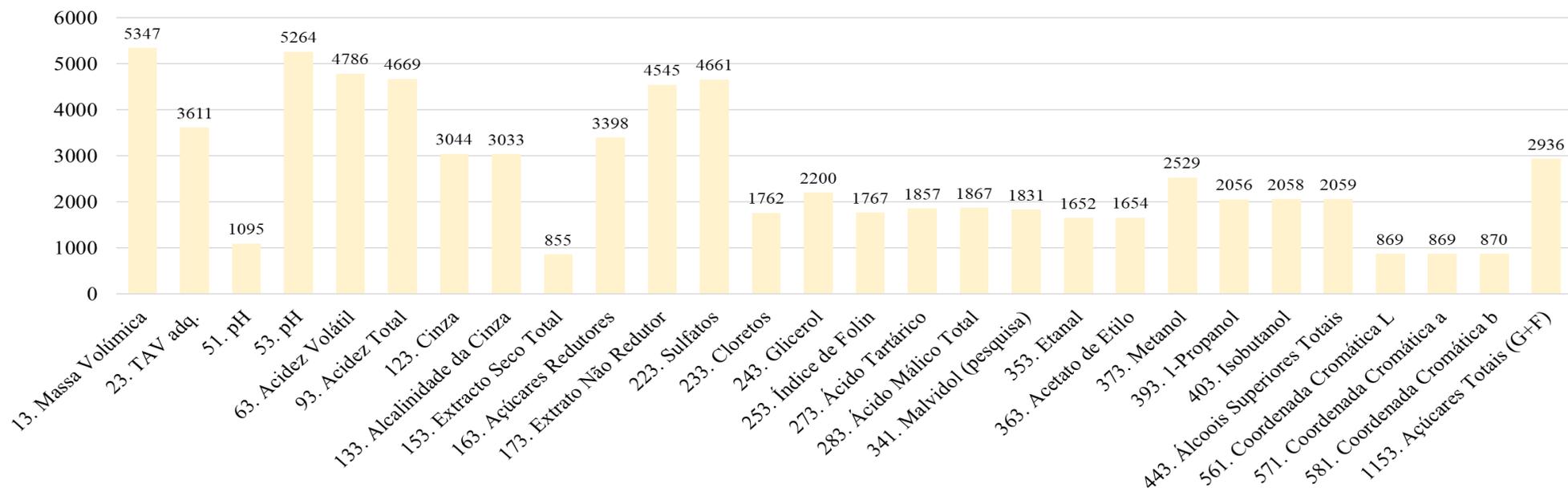


Figura 23: Representação gráfica da média anual de análises realizada no setor FQ (FQII).

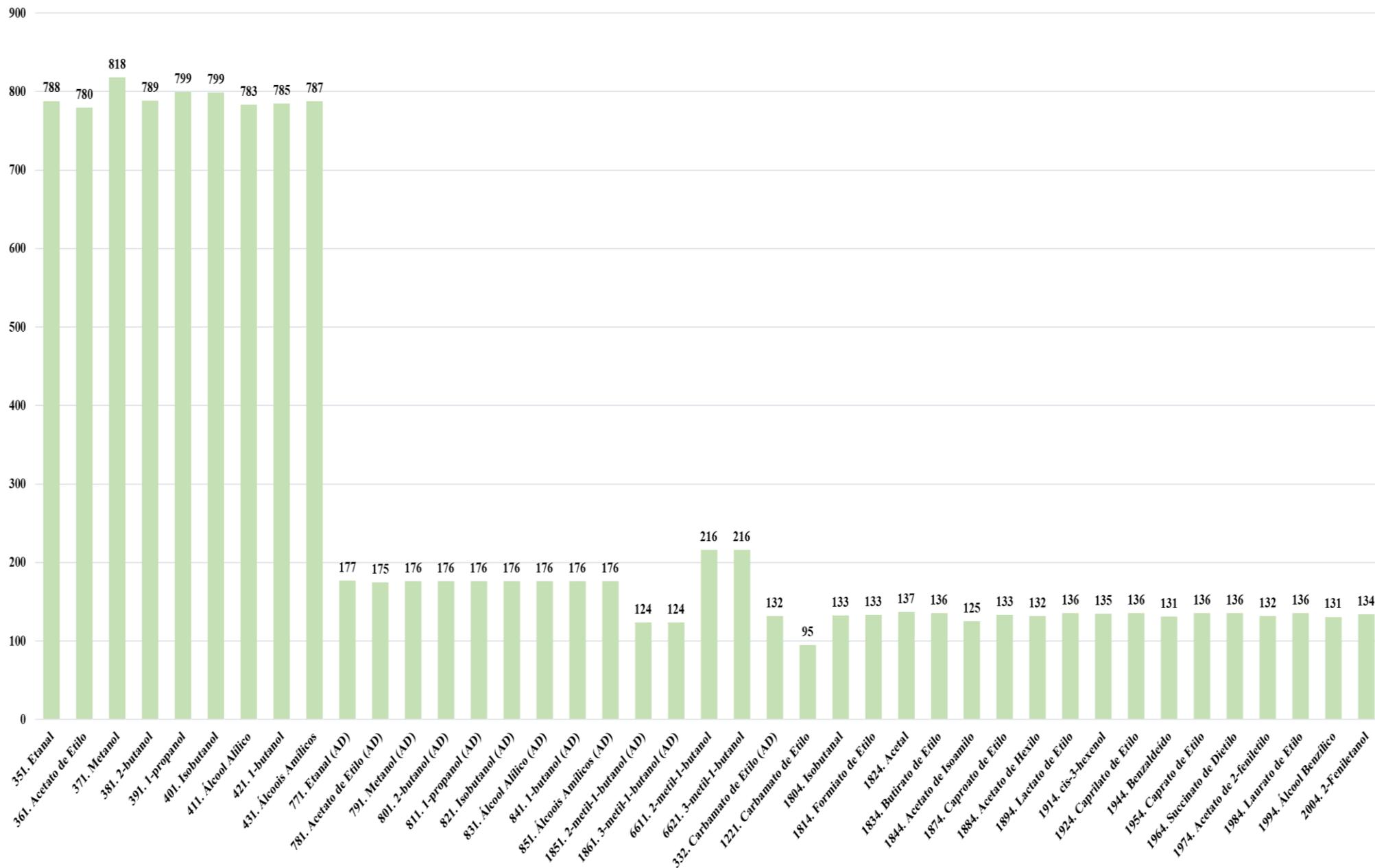


Figura 24: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor CG.

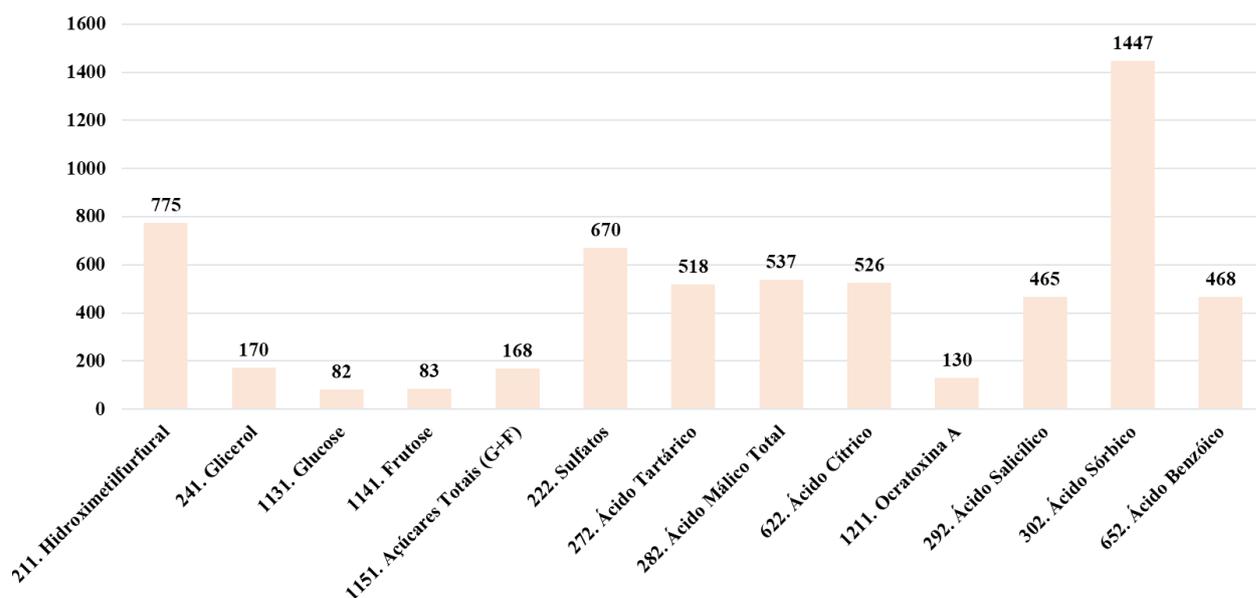


Figura 25: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor CL.

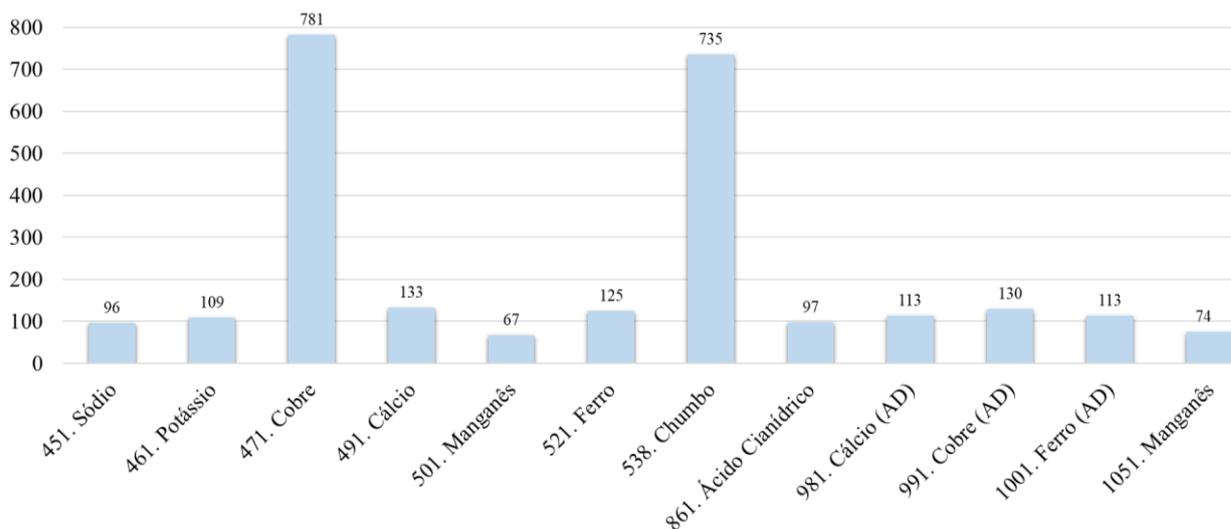


Figura 26: Representação gráfica do número médio anual de análises realizadas no setor AM.

3.3. Diagnóstico Ambiental: identificação e análise dos indicadores ambientais associados às atividades laboratoriais

A presente secção apresenta todos os dados e as respetivas análises de vários aspetos ambientais relativos ao IVDP e ao SL. Foi então realizado um levantamento de toda a informação fulcral à realização de um diagnóstico ambiental, permitindo compreender o estado atual das práticas e os comportamentos ambientais existentes no laboratório do IVDP. Como já foi acima referido, apenas foram selecionados para este estudo o setor FQ, o setor AM, o setor CL e o setor CG.

3.3.1. Consumo de energia elétrica

A eletricidade é a principal fonte de energia utilizada no IVDP do Porto, sendo que por vezes também se recorre a combustíveis fósseis (gasóleo) para manuseamento das viaturas da organização.

O fornecimento de energia elétrica é feito por duas distribuidoras: a EDP Comercial e a Iberdrola, e é desta última empresa que provém a maior quota de energia consumida. Foram recolhidos os dados relativos ao consumo elétrico do IVDP do Porto registados período de tempo entre Janeiro de 2014 e Dezembro de 2016. Os dados revelam que no primeiro ano o IVDP consumiu 388 051 kWh, no segundo ano 397 813 kWh, e no último ano 360 976 kWh. O gráfico seguinte demonstra a evolução do consumo energético no intervalo de tempo considerado.

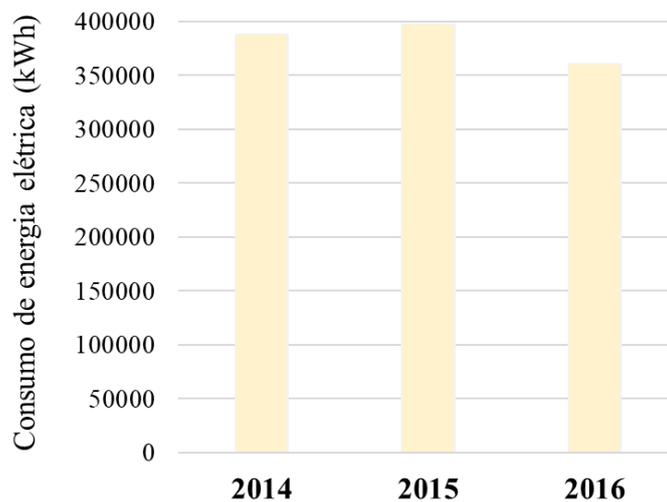


Figura 27: Representação gráfica da evolução do consumo total de energia elétrica no IVDP (2014-2016).

Analisando o gráfico anterior, é possível observar um ligeiro aumento do consumo entre 2014 e 2015, equivalente a 2,5%, e no ano seguinte o consumo de energia elétrica registou valores inferiores aos dois anos anteriores. Em 2016 verificou-se uma diminuição de 7% face ao ano de 2014, e uma diminuição de 9,3% face ao consumo de 2015.

Após o levantamento do consumo total registado no IVDP, objetivou-se o cálculo estimativo do consumo de energia elétrica pertinente aos quatro setores do SL. Foi elaborado um inventário com todos os equipamentos elétricos e eletrónicos, as respetivas potências e tempos de uso (por dia, mês e ano), e no final estimou-se o valor de energia elétrica consumida anualmente em cada um dos setores do laboratório. As áreas incluídas nesta estimativa incluem os setores FQ (I, II e a sala de lavagem associada), AM (I e II), CG e o CL (I, II e a sala de lavagem associada). O gráfico seguinte revela os valores estimados,

expresso em unidades de energia por ano (kWh/ano). São apresentados também os valores relativos ao consumo total do SL (apenas foram considerados os espaços de trabalho laboratorial, sanitários e gabinetes/escritórios não foram incluídos no estudo) e o valor referente ao consumo total verificado no edifício do IVDP (equivalente à média dos três consumos anuais anteriormente apresentados).

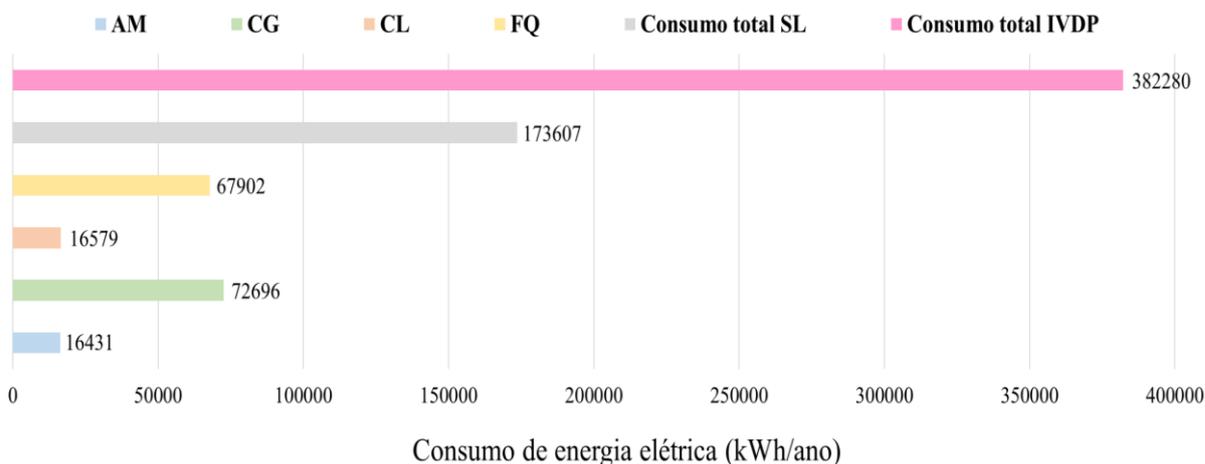


Figura 28: Representação gráfica dos valores estimados do consumo de energia elétrica dos quatro setores do SL, do consumo total do SL e do consumo total do edifício do IVDP.

Através do gráfico anterior é possível inferir que o setor que detém o maior consumo de energia elétrica é o CG, com um consumo estimado de 72696 kWh/ano. Este setor mantém os equipamentos ligados 24 horas por dia, bem como os sistemas de refrigeração (as análises químicas são todas realizadas a 20 °C), o que explica os valores elevados no consumo. Os equipamentos de cromatografia gasosa são bastante sensíveis, e, uma vez que lidam com análises em microescala, estas exigem equipamentos maior sensibilidade e maior resolução. Assim, os equipamentos permanecem ligados, mesmo durante os períodos noturnos, de modo a manter a calibração e validação dos sistemas de operação.

O setor FQ revela igualmente valores elevados no que concerne ao consumo de energia elétrica, apresentando um consumo estimado equivalente a 67902 kWh/ano. Apesar de muitas das técnicas de análise química realizadas neste setor serem de índole clássica (volumetria, gravimetria), a maioria sustenta-se na química analítica instrumental. O volume de análises realizadas neste setor é superior aos restantes, daí a intensidade do consumo ser mais elevada, justificada pelo uso diário intensivo dos destiladores para a determinação de parâmetros como massa volúmica, acidez volátil e acidez total, em vinhos e/ou em aguardentes, bem como dos sistemas de refrigeração (manutenção da temperatura ambiente

do laboratório, manutenção da temperatura dos equipamentos, manutenção da temperatura das amostras para posterior análise, entre outros).

Os setores CL e AM apresentam menores taxas de consumo em relação aos outros dois setores (16579 kWh/ano e 16431 kWh/ano, respetivamente), devido ao menor volume de análises realizadas e à menor quantidade de equipamentos elétricos e eletrónicos existentes nestes setores.

A figura seguinte apresenta as taxas de consumo de energia elétrica dos quatro setores comparativamente ao consumo total do SL. Verifica-se então que o setor CL representa 42% do consumo total do SL, e o consumo do setor FQ corresponde a uma percentagem de 39%. Já os setores CL e AM representam 10% e 9% do consumo total, respetivamente.

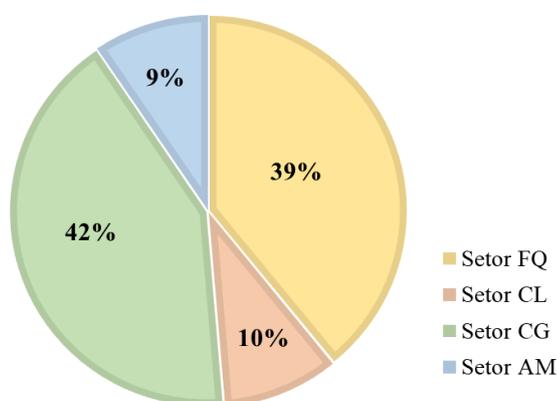


Figura 29: Taxas de consumo de energia elétrica de cada setor do SL do IVDP.

É de salientar que o gráfico da **Figura 28** compara os consumos estimados dos quatro setores do SL e o consumo total do IVDP, o que permite inferir que a energia elétrica consumida nos setores em questão representa **45,4%** do consumo total do IVDP.

3.3.2. Emissões atmosféricas associadas ao consumo de energia elétrica

Apesar da dilatação do investimento em energias renováveis, a produção de energia elétrica ainda recorre a processos de combustão intensivos de combustíveis fósseis, o que promove a produção de gases nefastos para o meio ambiente, nomeadamente dióxido de carbono (CO₂), um dos principais contribuidores para o efeito de estufa.

As emissões específicas e totais de CO₂ foram calculadas tendo em conta a *mix* de fontes de energia utilizadas pelas empresas fornecedoras da energia elétrica (EDP Comercial em 2014 e Iberdrola Portugal em 2015 e 2016), e dos fatores de emissão (FE) associados a cada uma delas (ponderação anual), referentes à região onde se insere o IVDP (Portugal Continental). Este cálculo é efetuado tendo em consideração as seguintes expressões (2) e

(3), respetivamente, utilizadas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) no cálculo das emissões específicas e totais de CO₂ para a rotulagem de energia elétrica¹⁶⁰:

$$Emissões\ Específicas\ CO_2 = \sum_{\text{fonte de energia } i} FE\ (CO_2)_i \times \text{Fração do mix}_i \quad (2)$$

$$Emissões\ totais\ de\ CO_2 = \text{Consumo faturado} \times Emissões\ específicas\ CO_2 \quad (3)$$

A tabela seguinte (**Tabela 11**) compreende os valores obtidos de emissões totais anuais (toneladas de CO₂) e toneladas equivalentes de petróleo (tep/kWh), unidade de energia essencial para a contabilidade energética. Este último cálculo recorre a um fator de conversão publicado em Diário da República no Despacho n.º 17313/2008 de 26 de junho¹⁶¹.

Tabela 11: Valores do consumo energético do IVDP, dos fatores de emissão e emissões totais de CO₂, e de toneladas equivalentes de petróleo concernentes à faturação de energia elétrica consumida pelo IVDP em 2014, 2015 e 2016.

	2014	2015	2016
Consumo energético (kWh/ano)	388051	397813	360976
FE CO ₂ (g CO ₂ /kWh)	343	430	380
Emissões totais (ton CO ₂ /ano)	133	171	137
Toneladas equivalentes de petróleo (tep/kWh) *	83,4	85,5	82,2

(*) 1 kWh = 215 x 10⁶ tep

Através dos dados do consumo de energia faturados durante os três anos referenciados foi possível calcular as emissões totais de CO₂, tendo em conta os fatores de emissão atmosférica verificados em cada ano. Da mesma forma, através do consumo energético, calcularam-se as toneladas equivalentes de petróleo (TEP/kWh), apresentando um consumo médio de 83,7 tep/ano, o que revela, de acordo com o Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de abril¹⁶², que o IVDP não é uma entidade consumidora intensiva de energia (CIE), pois os seus consumos anuais não transcendem os 500 tep/ano, logo não é abarcada pela legislação¹⁶² que regula o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia (SGCIE).

3.3.3. Consumo de água

Atendendo ao aumento da preocupação global sobre o consumo sustentável e gestão eficiente dos recursos hídricos, mormente da água potável distribuída pela rede pública, é de fulcral importância ter em consideração a avaliação deste parâmetro, pois constitui um dos recursos mais utilizados nos laboratórios analíticos e de investigação.

O gráfico da **Figura 30** indica os valores totais de água consumidos (m^3) verificados entre 2014 e 2016.

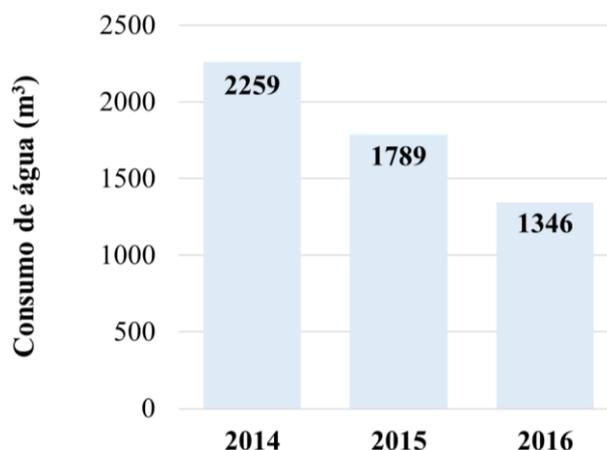


Figura 30: Volume (m^3) de água consumido entre 2014 e 2016 no IVDP

Os valores apresentados referem-se não só ao laboratório do IVDP (SL), mas também aos restantes serviços e atividades realizadas no interior do edifício de Ferreira Borges. Os dados do gráfico anterior revelam uma diminuição significativa no consumo hídrico entre os anos 2014 e 2016, aproximadamente na ordem dos 40,4%, porventura devido a uma maior consciencialização sobre a importância da água e do seu uso eficiente e sustentável. Em 2015 observou-se um decréscimo no consumo de água na ordem dos 20,8% e em 2016 uma diminuição de 24,8%, face aos anos transatos.

O IVDP possui dois contadores da rede pública das Águas do Porto, discriminados nas faturas como “Ferreira Borges Maior” e Ferreira Borges Menor”, identificados doravante como FBM e FBm, respetivamente. A **Figura 31** ostenta os valores percentuais de água consumida lida em cada um dos contadores do IVDP.

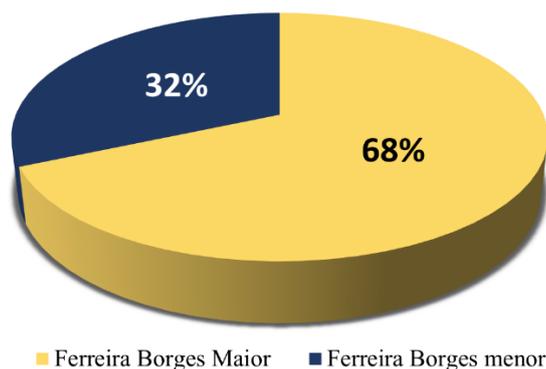


Figura 31: Quantidade percentual da quantidade de água lida em cada um dos contadores existentes no IVDP, identificados como Ferreira Borges Maior e Ferreira Borges menor.

O primeiro contador, o FBM, abrange o SL, o SP, a cantina, os vestuários e as instalações sanitárias dos dois pisos do edifício do IVDP. Este equipamento faz a leitura de 68% do consumo hídrico total. O segundo, o FBm, regista os consumos pertinentes à Loja do Porto, localizada no primeiro piso do edifício, equivalente a 32% do consumo total.

Como qualquer laboratório de análises químicas, o SL suscita gastos substanciais no que concerne ao consumo de água: a água é sobretudo usada para análises e ensaios químicos, bem como para a preparação e/ou diluição de amostras, lavagem do material, instrumentos e espaços laboratoriais, purificação de água (através dos sistemas de purificação da Millipore), entre outros. O SL dispõe de dois equipamentos de purificação de água na Sala de Lavagem e no sector AMI, que vão servir todos os setores do SL. Os laboratórios analíticos utilizam diariamente um grande volume de material de laboratório, tanto de vidro como de plástico. Como esses materiais têm um alto teor de contaminantes, a sua lavagem torna-se uma das principais operações executadas num laboratório, de forma a garantir uma limpeza adequada e eficaz, isenta de contaminantes e resíduos. Como tal, a Sala de Lavagem incorpora duas máquinas de lavagem e desinfeção de material de laboratório, usadas diariamente por todos os operadores do laboratório, sendo que também existe outra unidade numa zona anexa ao setor CL, compartilhada com o setor AM.

Segundo um relatório de 2014 da Universidade de Queensland, Austrália, publicado no âmbito do *Green Lab Program*, intitulado *Water Efficient Labs* (Laboratórios com Eficiência Hídrica), os espaços reservados aos laboratórios da instituição de ensino utilizam cerca de 60% do consumo total de água. As principais atividades com consumos de água consideráveis são as torres de arrefecimento (sistemas de ar condicionado) (42%) e os processos laboratoriais (25%). Tendo em consideração estes valores percentuais e os dados

mais recentes do consumo anual de água do IVDP (1346 m³), admitindo que o fracionamento das atividades e consumos do IVDP e os da Universidade de Queensland são semelhantes, estimou-se que o consumo de água verificado no SL, inerente ao ano de 2016, foi de 807,6 m³, dos quais 339,2 m³ consistem em gastos ao nível do ar condicionado e dos sistemas de refrigeração, e 201,9 m³ relacionam-se com os gastos em processos laboratoriais, como preparação de amostras, diluições, titulações, purificação de água, entre outros.

3.3.4. Reagentes e Solventes Químicos

As substâncias químicas são os principais intervenientes nas atividades laboratoriais, tanto nos métodos analíticos como na limpeza/desinfecção do material do laboratório.

O SL utiliza inúmeros reagentes e solventes químicos, no estado líquido e no estado sólido, sendo a aplicação de ambos mais significativa no setor FQ, em consequência do grande volume de análises realizadas diariamente. Após um levantamento exaustivo de todas as substâncias adquiridas e as respetivas quantidades (volumes, pesos e unidades) durante o período de estudo, ou seja, entre 2014 e 2016, estimaram-se os principais solventes/reagentes químicos utilizados em cada um dos setores de SL, bem como os seus gastos anuais. Os resultados obtidos são exibidos no gráfico seguinte, na **Figura 32**. É de ressaltar que as substâncias químicas abaixo mencionadas não apresentam graus de pureza máximos. Estes volumes correspondem aos adquiridos pelo IVDP, com concentrações distintas e específicas segundo a sua finalidade em cada um dos setores. Apenas a acetona, o metanol e o diclorometano são adquiridos com concentrações na ordem dos 99%.

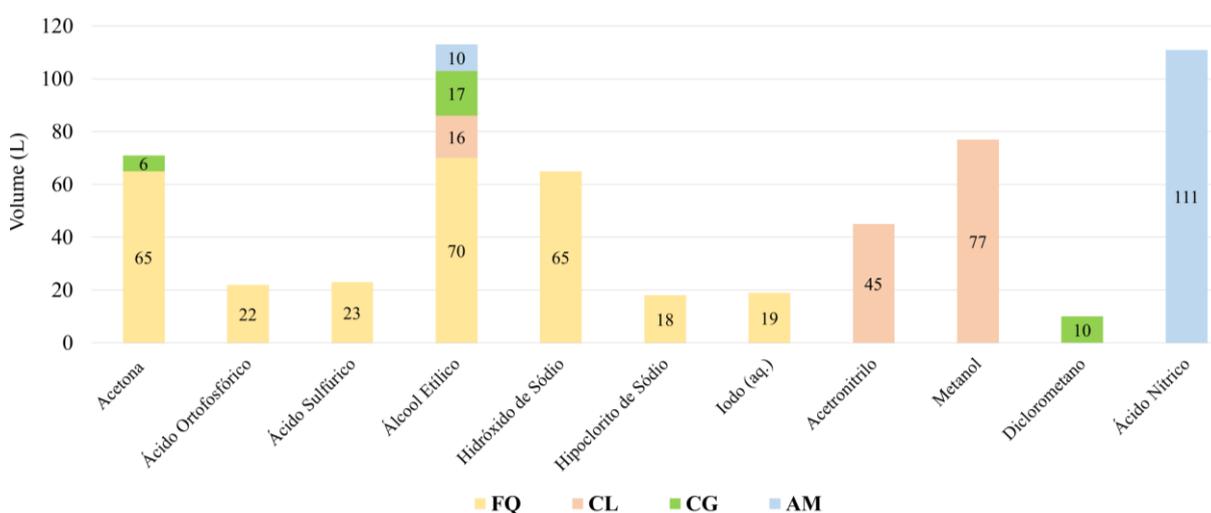


Figura 32: Volume (L) dos principais reagentes e solventes químicos líquidos gastos por cada um dos setores do SL.

No setor FQ, que engloba as unidades I e II, gastam-se por ano aproximadamente 65 L de acetona, 22 L de ácido ortofosfórico, 23 L de ácido sulfúrico, 70 L de álcool etílico, 65 L de hidróxido de sódio, 18 L de hipoclorito de sódio e 19 L de iodo em solução aquosa, sendo assim considerado o setor do SL que detém o maior consumo de reagentes/solventes químicos, como foi anteriormente explanado.

O setor CL representa a segunda maior taxa no que concerne o consumo de reagentes/solventes químicos do SL, onde os consumos principais são o álcool etílico (16 L/ano), o acetonitrilo (45 L/ano) e o metanol (77 L/ano).

O elevado número de parâmetros analisados no setor CG sugeria um gasto intensivo de reagentes e solventes de natureza química. Não obstante, tal não se verifica, pois, algumas etapas dos procedimentos analíticos são realizadas em microescala (preparação de amostras, preparação de soluções, extrações, entre outros). Outra razão justificativa dos baixos consumos de reagentes reside nos múltiplos parâmetros que podem ser analisados apenas numa amostra. Ainda assim, o setor em questão revela consumos relevantes, tais como: os consumos de acetona (6 L), de álcool etílico (17 L) e de diclorometano (10 L).

O ácido nítrico é o solvente mais consumido no setor AM, com um gasto anual que ronda os 111 L, por ser o principal componente das soluções de limpeza e lavagem do material de laboratório. O álcool etílico, tal como nos restantes setores, é o composto químico mais utilizado neste setor, com gastos que ascendem anualmente os 10 L.

De forma a apurar-se a perigosidade das substâncias químicas utilizadas no SL, foram recolhidos todos os símbolos de perigo de cada um dos reagentes e solventes, denominados pictogramas, que estabelecem as categorias das substâncias químicas segundo os perigos e riscos de cada uma, segundo as normas do sistema GHS. Esses dados encontram-se representados na **Figura 33**, onde se discrimina a quantidade percentual das substâncias químicas do SL segundo os respetivos símbolos químicos (é de salientar que cada reagente/solvente químico pode ter mais do que um pictograma associado). Nenhuma das substâncias apresentava o símbolo da categoria “explosivo”. O mesmo se verificou com o pictograma correspondente à categoria “gases sob pressão”; 40% das substâncias químicas utilizadas no SL são irritantes, 22% apresentam risco de corrosão (olhos, pele e materiais/superfícies de metal); 12% constituem um risco grave para o operador devido à sua nocividade (em termos de mutagenicidade e carcinogenicidade); 11% são consideradas inflamáveis, e 6% são considerados tóxicos para o ambiente, sendo necessário uma

eliminação destes compostos de forma apropriada e consciente; apenas 4% apresentam características comburentes; e 5% dos produtos químicos podem provocar efeitos nefastos no operador, devido à sua toxicidade e potencial letalidade, em caso de ingestão, inalação ou contatos com a pele em exposições prolongadas. O manuseamento destes últimos pressupõe a utilização de equipamento adequado, ou seja, EPI's (Equipamentos de proteção individual) em locais arejados ou no exterior.

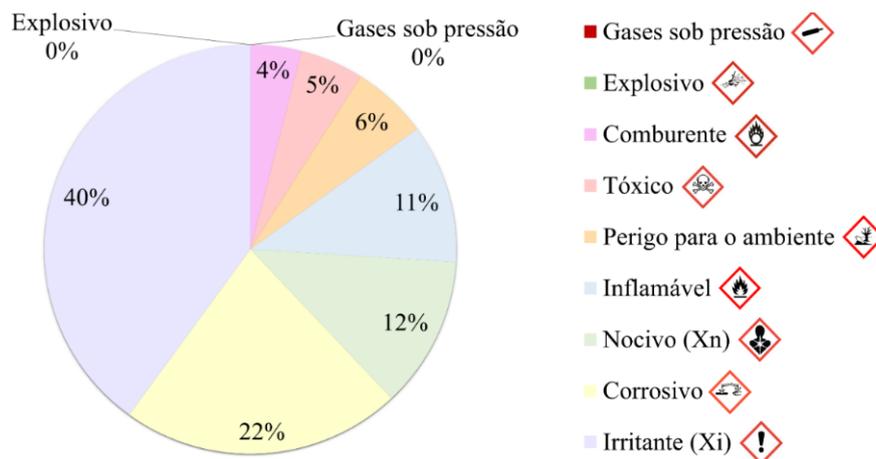


Figura 33: Quantidade (%) de reagentes e solventes químicos no estado líquido e no estado sólido por categoria de perigo sistema GHS utilizados no SL.

3.3.5. Resíduos perigosos e resíduos não perigosos

3.3.5.1. Análise global

O laboratório do IVDP tem implementado um sistema de gestão de resíduos, fazendo uma separação consciente dos resíduos produzidos e enviados posteriormente para empresas especializadas na eliminação e valorização dos mesmos. Este sistema baseia-se na identificação dos resíduos, na sua triagem e respetiva quantificação, sendo depois devidamente acondicionados e armazenados sob as condições exigidas legalmente (nomeadamente no caso dos resíduos químicos perigosos, que exigem um acondicionamento e armazenamento específicos). As empresas licenciadas recolhem estes resíduos e encaminham-nos para o seu destino final. O transporte dos resíduos é realizado respeitando as guias de acompanhamento de resíduos (GAR), contempladas no Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de junho, onde constam as normas técnicas para o transporte de resíduos em Portugal. Do mesmo modo, a Portaria nº 335/97, de 16 de maio, estabelece as entidades especializadas que podem proceder ao transporte dos resíduos. O sistema de transporte de resíduos português encontra-se também regulado por outra legislação, nomeadamente pelo Decreto-Lei nº 137/2008, de 21 de julho, retificado pela Declaração de Retificação nº 42/2008, de 8

de agosto, e pelo Decreto-Lei nº 136/2009, de 5 de junho, e pelo Regulamento (CE) nº 1071/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de outubro, legislação esta relativa ao transporte rodoviário de mercadorias por conta de outrem; e pelo Decreto-Lei nº41-A/2010, de 29 de abril, sofrendo mais tarde algumas alterações introduzidas no Decreto-Lei nº 206-A/2012, de 31 de agosto, Decreto-Lei nº19-A/2014, de 7 de fevereiro, e Decreto-Lei nº 246-A/2015, de 21 de outubro, relativamente ao transporte terrestre de mercadorias perigosas. No Anexo I deste último documento encontra-se a Regulamentação do Transporte de Mercadorias Perigosas por Estrada para transporte nacional e internacional, coerente com os Anexos A e B do Acordo Europeu relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR).

Os resíduos são classificados segundo a Lista Europeia de Resíduos (LER), onde são estabelecidos os conceitos de resíduos perigosos e não perigosos, através da atribuição de códigos específicos de seis dígitos. Os códigos precedentes de um asterisco (*) são considerados resíduos perigosos. A nível de legislação nacional, a LER constava do Anexo I da Portaria 209/2004, de 3 de março. Contudo, este foi posteriormente revogado pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro, alterando a Decisão 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de maio, referida no artigo 7.º da Diretiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro, que estabeleceu uma nova LER, que vigora desde 1 de junho de 2015. O gráfico da **Figura 34** apresenta a evolução da recolha de resíduos no IVDP, desde o ano de 2014 até ao ano de 2016.

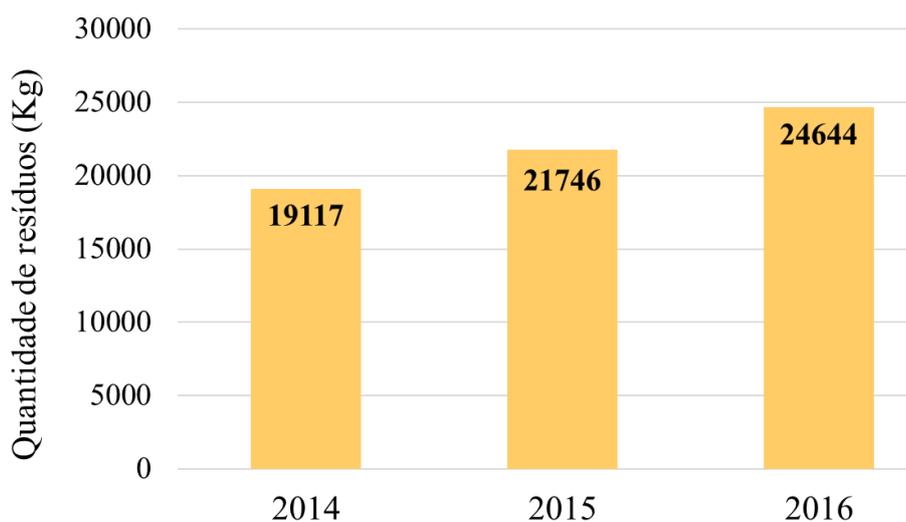


Figura 34: Representação gráfica da evolução da produção de resíduos no IVDP, I.P. desde 2014 até 2016.

Analisando o gráfico anterior, verifica-se um aumento da quantidade de resíduos produzidos no IVDP e conseqüentemente recolhidos pelas várias empresas de recolha seletiva de resíduos entre 2014 e 2016. No ano de 2014 foram recolhidos 19117 Kg de resíduos (perigosos e não perigosos), em 2015 um total de 21746 Kg (aumento de aproximadamente 14% face ao ano transato), e no ano de 2016 uma recolha de 24644 Kg de produtos residuais (um aumento de 13% perante os dados referentes a 2015).

Anualmente, durante o prazo legal de 1 de janeiro até 31 de março, o IVDP regista os dados relativamente aos seus resíduos num sistema integrado de registo eletrónico de produção e gestão de resíduos, o SIRER, através da plataforma online SILiAmb (Sistema Integrado de Licenciamento do Ambiente, anteriormente designada por SIRAPA). Esta é disponibilizada pela APA, através da qual se processa o preenchimento do Mapa Integrado de Registo de Resíduos (MIRR) do ano transato, posteriormente submetido na mesma plataforma. A obrigatoriedade do preenchimento e submissão do MIRR está contemplado no Decreto-Lei nº178/2006, sofrendo modificações pelo Decreto-Lei nº 73/2011. A tabela seguinte (Tabela 12) refere-se ao MIRR dos resíduos produzidos no IVDP, I.P. em 2016, onde constam os códigos LER, a respetiva designação, a quantidade, em kg, de resíduos produzidos, a empresa que recolhe e/ou efetua o tratamento dos resíduos, e também a operação relativa ao destino final do resíduo (operação R indica operação de valorização do resíduo e operação D significa operação de eliminação do resíduo). Os resíduos produzidos em 2014 e 2015 também vão ser incluídos na análise global dos resíduos produzidos pelo IVDP, pelo que as tabelas MIRR dos anos respetivos encontram-se anexadas na página 116.

Tabela 12: MIRR de 2016 do IVDP, I.P.

Código LER	Designação LER	Quantidade resíduos produzidos (Kg)	Destinatário	Operação	Transportador
030101	Resíduos do descasque de madeira e de cortiça	20	ç	ç	ç
140602(*)	Outros solventes e misturas de solventes halogenados	10	Carmona, S.A.	R13	Carmona, S.A.
140603(*)	Outros solventes e misturas de solventes	360	Carmona, S.A.	R13	Carmona, S.A.
150106	Mistura de Embalagens	312	Lipor	R13	Lipor

150107	Embalagens de vidro	21840	Lipor	R13	Lipor
150202(*)	Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas	27	Carmona, S.A.	R13	Carmona
160506(*)	Produtos químicos de laboratório contendo ou compostos por substâncias perigosas, incluindo misturas de produtos químicos de laboratório	73	Carmona, S.A.	D15	Carmona, S.A.
200101	Papel e Cartão	316	Greenpapers, Lda	R13	Greenpapers, Lda
		1456	Lipor	R13	Lipor
200399	Resíduos urbanos e equiparados não anteriormente especificados	230	CLEANSTATION, S.A.	R13	CLEANSTATION, S.A.

Ç: o IVDP fornece as suas rolhas à Corticeira Amorim.

R13: Armazenamento de resíduos destinados a uma das operações enumeradas de R1 a R12 (com exclusão do armazenamento temporário, antes da recolha, no local onde os resíduos forma produzidos).

D15: Armazenamento antes de uma das operações enumeradas de D1 a D14 (com exclusão do armazenamento temporário, antes da recolha, no local onde os resíduos forma produzidos).

Na **Figura 35** estão representados os resíduos considerados perigosos (identificados com um asterisco, como já foi anteriormente referido) e os respetivos códigos LER que foram gerados no IVDP entre 2014 e 2016.

Através da análise dos dados selecionados é possível concluir que a produção de solventes e mistura de solventes halogenados foi superior em 2014, comparativamente ao valor verificado em 2016, onde apenas se produziram 10 Kg deste tipo de resíduos; em 2016 apurou-se a geração de resíduos de absorventes e material filtrante equivalente a 27 Kg; verificou-se um aumento de resíduos de solventes e mistura de solventes entre 2014 e 2015 (um incremento de 34%), tendo-se notado uma diminuição entre 2015 e 2016 na ordem dos 8%; esta última análise aplica-se também aos produtos químicos de laboratório, com um aumento significativo na produção destes entre 2014 e 2015 (9 Kg e 76 Kg, respetivamente), sendo que em 2016 esses resíduos já foram produzidos em menor quantidade (73 Kg).

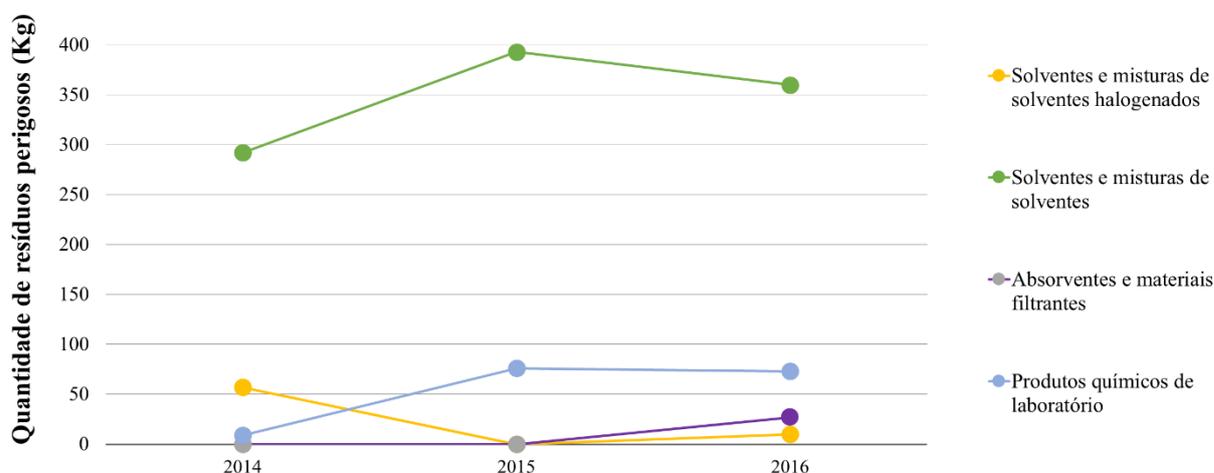


Figura 35: Quantidade (em Kg) dos resíduos considerados perigosos produzidos pelo IVDP entre 2014 e 2016.

Os dados referentes aos resíduos não perigosos produzidos pelo IVDP entre 2014 e 2016 encontram-se representados na **Figura 36**. Após a análise desses mesmos dados, é possível concluir os seguintes pontos: apenas em 2015 se verificou a recolha de equipamentos elétricos e/ou eletrónicos fora de uso (840 Kg); a recolha dos resíduos urbanos e equiparados sofreu um ligeiro aumento de 2014 para 2015 (229 Kg e 234Kg), verificando-se um decréscimo na recolha de 2016 (230 Kg); as quantidades armazenadas de cortiça em 2014 e 2015 foram equivalentes (40 Kg), sendo que no ano seguinte o volume de cortiça armazenada foi inferior (20 Kg); em 2014 recolheram-se 402 Kg de embalagens, e nos dois anos seguintes recolheram-se 432 Kg e 312 Kg, respetivamente; o IVDP descartou em 2014 equipamentos fora de uso no total de 4000 Kg, e em 2015 registou-se uma produção igual a 224,5 Kg. No entanto, não houve qualquer registo de resíduos desta natureza em 2016; o uso de papel e cartão é bastante evidente nesta organização, registando-se um aumento destes resíduos entre 2014 e 2015 (1848 Kg e 4146 Kg, respetivamente), verificando-se um decréscimo em 2016, com uma recolha de 1772 Kg. O vidro consiste no principal resíduo gerado no IVDP, como se pode verificar na representação gráfica da **Figura 37**. Com efeito, em 2014 foram recolhidos 12240 Kg de vidro, registando-se um aumento nos dois anos seguintes, onde se verificou uma recolha equivalente a 15360 Kg e 21840 Kg, respetivamente.

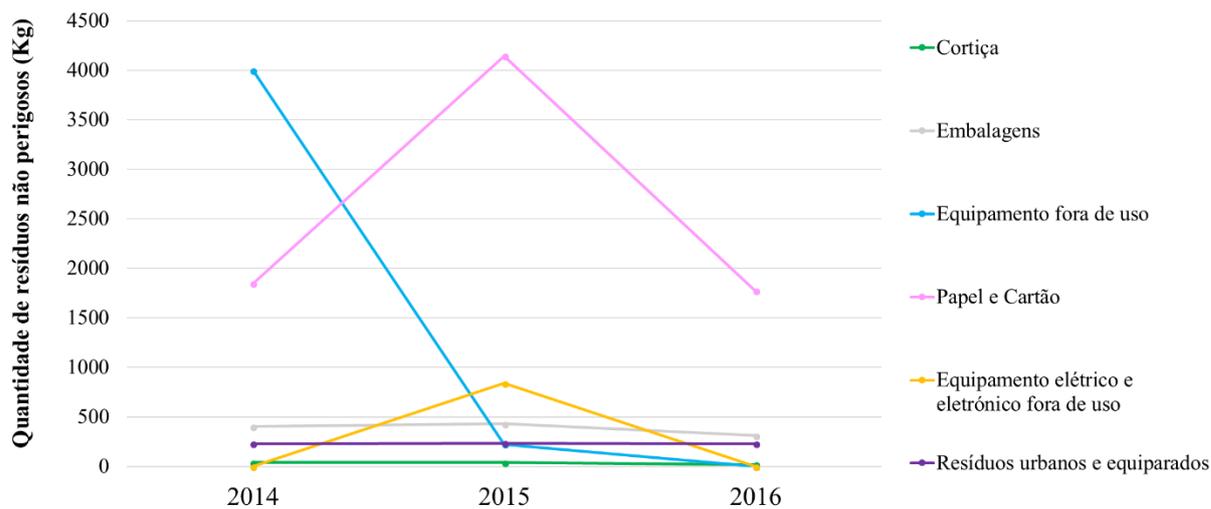


Figura 36: Quantidade (em Kg) dos resíduos considerados não perigosos produzidos pelo IVDP entre 2014 e 2016.

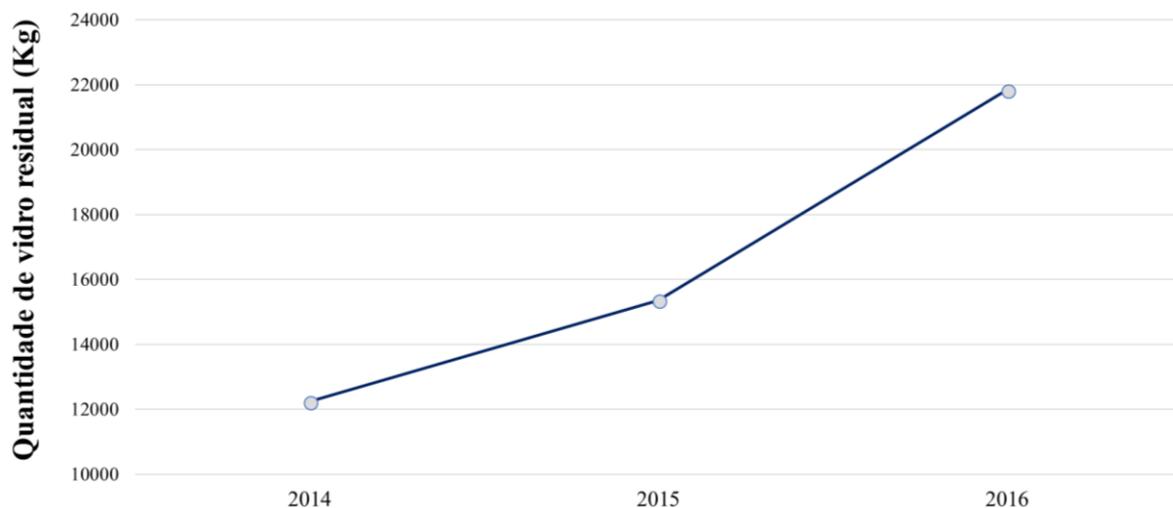


Figura 37: Quantidade (Kg) de resíduos de vidro produzidos no IVDP entre 2014 e 2016.

Segundo as fichas MIRR cedidas pelo IVDP, conclui-se que 98% dos resíduos produzidos no edifício do Porto são considerados resíduos não perigosos, e apenas 2% têm características consideradas perigosas, tanto ao nível do operador como a nível ambiental.

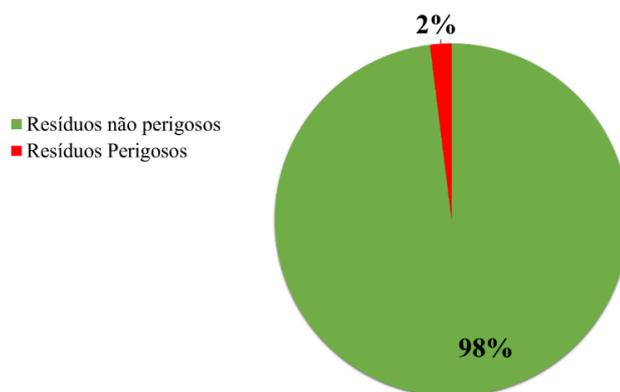


Figura 38: Representação gráfica da quantidade (percentual) dos resíduos perigosos e dos resíduos não perigosos produzidos pelo IVDP entre 2014 e 2016.

Contudo, estes valores não espelham a quantidade real dos resíduos produzidos, uma vez que estes apenas se relacionam com os que são registados para o posterior preenchimento da ficha MIRR. Apenas uma pequena percentagem dos resíduos totais produzidos pelo SL é efetivamente registada e contabilizada, pois a maioria dos resíduos é descartada diretamente para os esgotos, porventura devido ao baixo risco de contaminação e toxicidade. Desta forma, estima-se que o valor real da quantidade de resíduos produzidos pela instituição seja superior ao registado.

3.3.5.2. Caracterização dos resíduos perigosos gerados no laboratório

Todos os setores do SL produzem resíduos perigosos após a realização das análises químicas. A segregação dos mesmos é da responsabilidade individual de cada setor consoante as suas propriedades físicas e químicas. No final, até ao momento de recolha por parte das empresas específicas, todos os resíduos de natureza química, sólidos ou líquidos, são acondicionados no armazém de reagentes do IVDP, sob as condições atmosféricas mais adequadas.

3.3.5.2.1. Setor Físico-Química

O setor FQ apenas segrega os resíduos provenientes da análise do malvidol, pois apresentam na sua constituição resíduos de amoníaco, uma substância nefasta para o meio ambiente. Como não pode ser libertada para os meios aquáticos, estes são armazenados num recipiente específico, apenas para estes resíduos, devidamente rotulado com o código LER respetivo, nomeadamente o LER 140603. Os restantes resíduos produzidos pelo setor são escoados para a rede pública ou para os esgotos, ou seja, sofrem eliminação direta.

3.3.5.2.2. Setor Análise Mineral

No setor AM realizam-se dois tipos de tratamento de resíduos antes da sua eliminação direta: o tratamento dos resíduos de cianeto, nomeadamente dos padrões usados na quantificação do ácido cianídrico em aguardentes, e o tratamento do ácido nítrico 25% utilizado para a lavagem de material de vidro do setor.

Após a utilização dos padrões com ácido cianídrico, e, dependendo da sua concentração, estes são submetidos a um pré-tratamento que permite a oxidação do cianeto, passível de ser eliminado diretamente. Esse tratamento consiste em misturar a solução de ácido cianídrico com uma solução ISA, e hipoclorito a 13%. O processo dura cerca de 5 minutos, sempre no interior da Hotte com exaustão congruente.

O ácido nítrico 25% tem como função a lavagem dos materiais utilizados no setor, devido à sua facilidade na remoção dos metais pesados e leves. Para além da diluição do produto original, é preparada uma solução de ácido nítrico 25% à qual se faz uma diluição 1:4, na maioria das vezes, dependendo do volume dos recipientes utilizados para conter o material. A título de exemplo, para um boião de 10 L são necessários 2 L de ácido nítrico 25% e 6 L de água. Estas soluções duram em média 15 dias, porque ao longo do tempo perdem força, sendo necessária a preparação de novas soluções de lavagem. Tendo em conta os 271 dias de horário laboral do SL, em média são preparadas 17 soluções de lavagem com ácido nítrico, com gastos anuais estimados de ácido nítrico 25% e água na ordem dos 140 L e 0,426 m³, respetivamente. Depois das soluções serem utilizadas, são eliminadas.

3.3.5.2.3. Setor Cromatografia Líquida

Os solventes orgânicos, devido à sua elevada toxicidade e aos impactes ambientais negativos associados ao seu manuseamento, tanto a nível da saúde humana como a nível ambiental, não devem ser eliminados diretamente para os efluentes líquidos, pois o risco de contaminação é bastante elevado.

Estes solventes orgânicos são os compostos químicos mais utilizados no setor CL. Da mesma forma, a generalidade dos resíduos produzidos no SL pertencem ao setor CL, daí ser este setor o responsável pela segregação de todos os resíduos sólidos e líquidos considerados perigosos, de natureza química, antes das empresas especializadas procederem à recolha dos mesmos. Estes resíduos são normalmente recolhidos duas vezes por ano, com um intervalo de aproximadamente 6 meses entre cada recolha. Estes resíduos encontram-se depositados no armazém de reagentes do IVDP, em reservatórios de plástico, com uma capacidade igual

a 25 L, sob as condições de temperatura e pressão pertinentes a este tipo de composto. Os resíduos são agregados tendo por base as suas características químicas estipuladas pelos códigos LER.

O código 140603 (“Outros Solventes e Mistura de Solventes”) está associado à segregação dos resíduos líquidos que tenham na sua constituição (ou na sua maioria) solventes não halogenados. Sendo assim, a mistura de solventes é constituída maioritariamente por metanol e acetonitrilo. Os resíduos provenientes da quantificação do malvidol são armazenados num recipiente isolado, mas vinculados ao mesmo código LER. Os resíduos correspondentes a este código são oriundos preponderantemente do setor CL. Os resíduos do malvidol pertencem ao setor FQ.

As misturas químicas onde predominam os cloroanisóis e os fenóis voláteis estão inseridos na categoria “Outros Solventes e Misturas de Solventes Halogenados”, referente ao código LER 140602. Estes resíduos são gerados no setor CG.

Os consumíveis considerados perigosos, como agulhas, filtros, e outro tipo de material mais vulnerável e delicado que tenha estado em contato com substâncias químicas perigosas, e não possam ser eliminados como lixo indiferenciado ou sofrer algum tipo de tratamento para subsequentemente serem reciclados, são depositados num recipiente, assim como os líquidos residuais, de plástico, etiquetados com o código LER 160506, relativo à descrição “Produtos Químicos de Laboratório”.

3.3.5.2.4. Setor Cromatografia Gasosa

Apesar de a maioria dos resíduos produzidos no setor CG serem recolhidos e armazenados para posterior recolha, estes não são considerados significativos face ao volume total de resíduos recolhidos por ano, por serem inferiores comparativamente ao volume de resíduos gerados nos outros setores do SL.

Os resíduos gerados na quantificação dos anisóis e fenóis voláteis são recolhidos e armazenados com o código LER 140602. Os resíduos oriundos da quantificação do carbamato de etilo (vinhos e aguardentes) e dos ésteres, álcoois, aldeídos e acetais (aguardentes) são também reservados no recipiente respetivo aos solventes ou mistura de solventes (não halogenados).

3.4. Aplicação da métrica da Química Analítica Verde: Eco-Escala Analítica

O diagnóstico dos aspetos ambientais inerentes ao laboratório permitiu uma análise global do estado atual das práticas e políticas patentes no IVDP.

Para uma análise mais aprofundada do caráter sustentável e ambiental dos métodos de análise, estabeleceu-se que a fase seguinte do estudo seria a avaliação do perfil verde dos principais métodos analíticos praticados no SL do IVDP, segundo os critérios da ferramenta EEA proposta por Gałuszka et. al⁸⁵, tais como o volume de todas as substâncias químicas intervenientes no processo, a energia elétrica despendida, os perigos ocupacionais associados, e o volume de resíduos gerados. É de ressaltar que esta ferramenta faz uma avaliação do processo de análise de apenas uma única amostra, mesmo que por intermédio dessa mesma análise possam ser quantificados mais do que um parâmetro. Outra aplicação da ferramenta é a construção de um *ranking* dos métodos segundo a sua classificação obtida através do cálculo EEA, apesar do caráter semi-quantitativo, expressando, assim, o grau de veredura de cada procedimento analítico. A aplicação desta ferramenta permite verificar se os métodos praticados no laboratório do IVDP se enquadram nos pressupostas da QAV.

Atendendo ao elevado número de métodos onde diversas amostras são analisadas em simultâneo no mesmo equipamento, o que por consequência gera um volume de resíduos e um gasto de energia elétrica comuns, estes mesmos valores ou intervalo de valores foram calculados a partir de dados reais, e, em caso de impossibilidade da obtenção dos mesmos, estes serão estimados segundo os dados existentes.

Os pontos de penalização (PPs) associados aos reagentes e solventes químicos são fundamentais e devem ser devidamente discriminados. De forma a simplificar a compreensão da atribuição dos PPs, de seguida é apresentada uma das metodologias praticadas no SL e o respetivo cálculo dos PPs e do resultado EEA final.

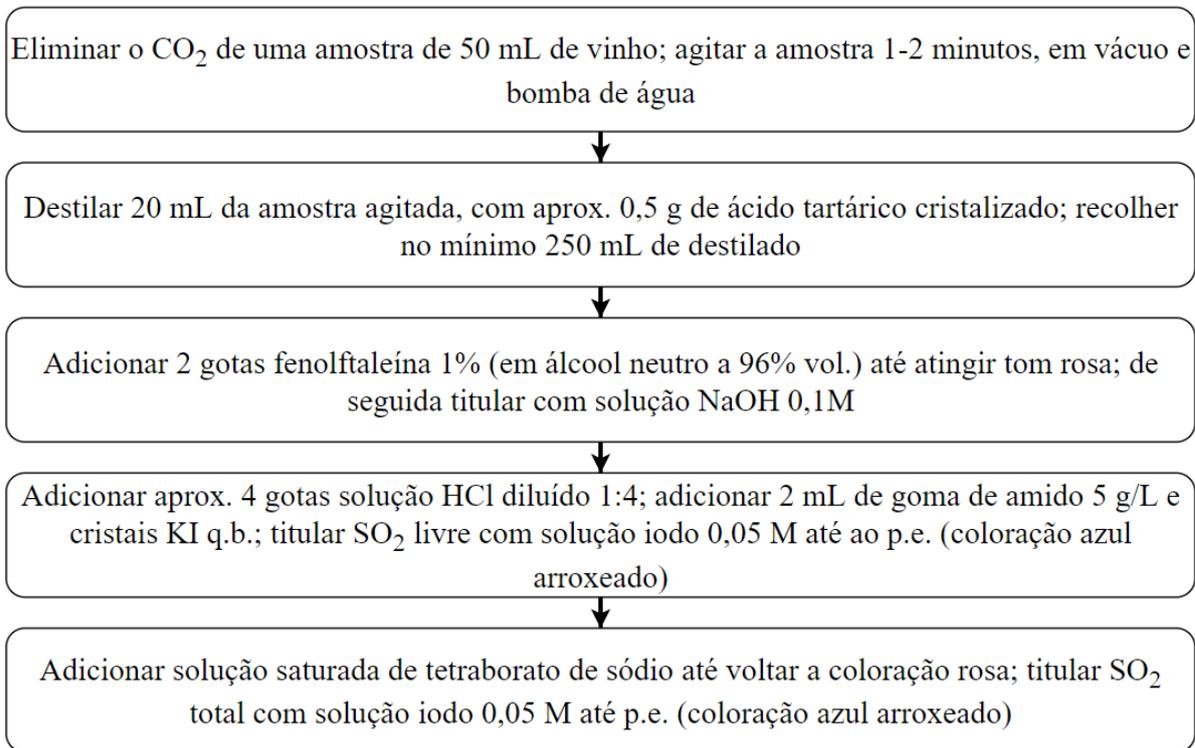
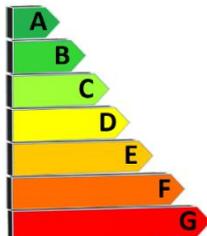


Figura 39: Esquemática do método MIVDP 17. Este método quantifica a acidez volátil em vinhos Porto e Douro, através de volumetria (destilação por arrastamento de vapor) e potenciometria iodométrica.

Para o cálculo EEA devem ser consideradas as percentagens e/ou diluições das substâncias químicas, pois os símbolos de perigo ou atenção podem variar consoante esses valores. No quadro seguinte (**Tabela 13**) apresentam-se os PPs do método MIVDP 17 relativos aos cinco critérios de interesse, bem como o resultado EEA total. Mediante este valor, atribui-se ao método a respetiva classificação Certificado Verde (CV).

Tabela 13: Pontos de penalização (PPs) do método MIVDP 17, relativo à determinação da Acidez Volátil em vinhos tranquilos e licorosos através de Iodometria.

REAGENTES							
Substâncias Químicas	PP Quantidade		PP Perigosidade (PPii)			PPt (de cada reagente) PPs x PPi	Σ PPt
	Quantidade	PPi	Nº Pictogramas (P)	Palavra de Advertência	PPii		
Ácido Tartárico	0,5 g	1	1	Perigo	2	2	17
Fenolftaleína	< 10 mL	1	1	Perigo	2	2	
NaOH 0,10 M	< 10 mL	2	1	Atenção	1	2	
HCl 25% (1:4)	< 10 mL	1	2	Perigo	2	4	
Sol. Iodo 0,01 M	10-100 mL	2	1	Atenção	1	2	

Tetraborato de sódio	10-100 mL	2	1	Perigo	2	4	
Iodeto de potássio	< 10 g	1	1	Atenção	1	1	
Goma de amido	2 mL	1	0	-	0	0	
INSTRUMENTOS							
Equipamento	Consumo estimado (kWh)		PPs		Σ PPs		
Destilador	0,34		1		1		
Titulador potenciométrico	0,003		0				
PERIGOS OCUPACIONAIS							
Procedimento Analítico Hermético			PPs				
			0				
RESÍDUOS							
Quantidade gerada estimada (mL)	PPs	Tratamento			PPs	Σ PPs	
> 10 mL	5	Não há tratamento			3	8	
PPs TOTAL				26			
Resultado EEA e Classificação CV				<p style="font-size: 2em; margin: 0;">74</p>  			

A mesma ferramenta foi aplicada aos restantes métodos analíticos praticados no SL que respeitassem os critérios estabelecidos na fase inicial do estudo, onde foi estipulado que apenas seriam selecionados para o presente estudo os métodos cujo o número de análises médio anual (dados relativos a 2014, 2015 e 2016) fosse superior a 50. Por intermédio deste critério, foram avaliados 41 métodos analíticos. A **Figura 40** exhibe os resultados EEA e a respetiva avaliação do perfil de verdura (letra e cor) tendo por base a classificação CV. Na seção dos Anexos, na página 118, encontram-se tabelados os PPs atribuídos a cada critério e os resultados EEA de cada um dos métodos avaliados.

Analisando as pontuações obtidas para os métodos praticados no setor FQ, observa-se um método considerado “ideal”, com uma pontuação igual a 100, o MIVDP 42, referente à quantificação dos parâmetros “Coordenada Cromática a”, “Coordenada Cromática b”, “Coordenada Cromática L” e o “Percurso Ótico”. Este método não exige um tratamento da

amostra nem produz resíduos químicos e/ou perigosos (apenas o vinho), sendo diretamente colocada na célula do espectrofotômetro UV/Vis e efetuada a leitura do valor pretendido.



Figura 40: Resultados Eco-Escala Analítica (EEA) dos principais métodos praticados no SL do IVDP.

O método anterior enquadra-se na categoria A da classificação CV, bem como outros métodos que obtiveram pontuações EEA entre 90 e 100, tais como o MIVDP 53 (99), o OIV-AS2-04 (96), o MIVDP 65 (95), o MIVDP 16 (94), o MIVDP 96 (94) e o MIVDP 20 (90). Estes caracterizam-se por serem métodos onde se verificam gastos mínimos de energia, devido à baixa potência do equipamento utilizado ou ao número de amostras analisadas em simultâneo, que permite uma maior poupança de energia elétrica. Estes métodos não requerem extrações, ou seja, a amostra é analisada diretamente no instrumento de análise respetivo, logo não se verifica a necessidade da amostra ser tratada antes da quantificação dos parâmetros pretendidos e o uso de reagentes e/ou solventes químicos. A categoria B, que engloba os métodos cujas pontuações se encontram entre 80 e 89, foi atribuída aos seguintes métodos analíticos: o MIVDP 76 (88), o OIV-BS-12 (86), o OIV-BS-06, o MIVDP 62 e o MIVDP 71 com um resultado igual a 84, o OIV-AS2-05 (82), e MIVDP 61 e o R2870/00-IB, ambos com uma pontuação correspondente a 81. A terceira categoria, a categoria C, enquadra todos os métodos com pontuações entre 70 e 79. Esta categoria foi atribuída exclusivamente a dois métodos, ao MIVDP 74 (74) e ao MIVDP 32 (72). Por fim, os métodos OIV-AS323-04A (69) e NP2276:1988 (64) pertencem à categoria D, por apresentarem resultados EEA entre 55 e 69. Este último método (pesquisa do malvidol) obteve o resultado EEA mais baixo do SL (64), devido à elevada toxicidade dos reagentes utilizados.

No setor CG apenas se avaliaram quatro métodos analíticos. O MIVDP 70 obteve uma pontuação igual a 94, enquadrado na categoria A, bem como o MIVDP 55, que obteve o mesmo resultado EEA. De seguida, o método com melhor resultado EEA corresponde ao MIVDP 56, com uma pontuação igual a 92. Por fim, o método MIVDP 68, de categoria B, teve uma pontuação igual a 82.

Apenas se encontra um método no setor CL pertencente à categoria máxima da classificação CV. Esse método é o MIVDP 64, com uma pontuação igual a 91,4 (aqui foi aplicado o cálculo da Eco-microescala), sendo o método mais verde do setor. Foi classificada com a categoria B o método MIVDP 57, com uma pontuação de 81. O MIVDP 67 (79), o MIVDP 01 (77) e o MIVDP 73 (76) incluem-se na categoria C. A explicação da obtenção destes valores mais baixos reside na abundância de solventes orgânicos altamente tóxicos utilizados nas extrações e separações cromatográficas dos constituintes de interesse.

O último setor é responsável pela quantificação de metais leves e metais pesados, caracterizados por serem altamente tóxicos tanto para o meio ambiente como para a saúde humana. Esses parâmetros são determinados por intermédio de técnicas de GFAAS e FAAS, associados a emissões de ar e gases para a atmosfera, o que representa um perigo ocupacional para o operador. Estas duas questões são as principais penalizações subjacentes aos métodos analíticos de carácter mineral. Como tal, dos treze métodos avaliados neste setor, nenhum deles obteve a classificação de Categoria A. O método MIVDP 98 obteve a pontuação mais alta, atingindo um resultado equivalente a 87. De seguida, os métodos MIVDP 09, o MIVDP 07 e o MIVDP 05 obtiveram uma pontuação igual a 86. A pontuação de 85 foi atingida pelos métodos MIVDP 38, MIVDP 39 e MIVDP 54. Ainda dentro da Categoria B foram incluídos os métodos MIVDP 06 (84), o MIVDP 02 (82), e os métodos MIVDP 04 e o MIVDP 08 com o mesmo resultado EEA (80). Finalmente, aferiu-se com a Categoria C os métodos MIVDP 01 (79) e o MIVDP 50 (78).

A **Figura 41** apresenta a visão geral dos resultados obtidos através da aplicação das ferramentas para a avaliação do perfil verde dos métodos analíticos do SL do IVDP, a EEA e a classificação CV.

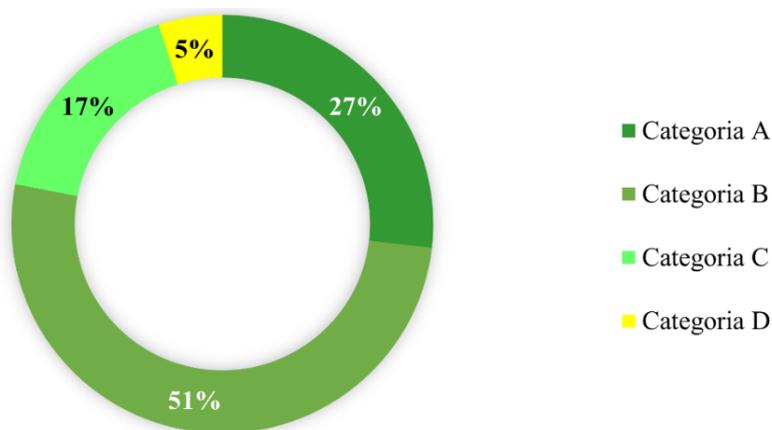


Figura 41: Análise do perfil de verdura segundo a classificação CV dos principais métodos analíticos praticados no laboratório do IVDP.

A representação gráfica anterior evidencia que a maior parte (51%) dos métodos analíticos se inserem dentro da categoria B, e apenas 5% correspondem à categoria mais baixa. É de ressaltar que nenhum dos métodos em questão obteve uma classificação inferior à categoria D, o que comprova o carácter verde e sustentável das operações praticadas no SL do IVDP.

Atendendo apenas aos resultados EEA, impõe-se uma conclusão baseada nos critérios de classificação da própria métrica, onde está implicado que, no âmbito da QAV, os procedimentos analíticos que tenham obtido uma classificação igual a 100 são considerados “métodos verdes ideais”, superior a 75 consideram-se “métodos excelentes”, superiores a 50 são classificados como “métodos razoáveis” e, finalmente, uma classificação inferior a 50 revela-se um “método inadequado”. Assim, conclui-se que 90% dos métodos avaliados do SL são consideradas análises verdes excelentes, sendo que apenas 10% são análises verdes razoáveis.

3.5. Proposta de medidas mitigadoras dos potenciais impactes ambientais que afetam a qualidade ambiental das atividades laboratoriais

O diagnóstico ambiental e os resultados EEA obtidos por intermédio da aplicação das métricas do contexto da QAV permitiram uma reflexão ponderada sobre eventuais medidas potenciadoras da diminuição do impacto ambiental e dos riscos associados ao operador. Primeiramente foram ponderadas mudanças a nível dos métodos analíticos, o que não se demonstrou exequível, na medida em que os métodos do IVDP respeitam os métodos padronizados pelo OIV e não era relevante a mudança dos mesmos.

3.5.1. Separação da água das outras substâncias químicas para posterior descarte

No setor CL verificou-se que a água é o principal constituinte dos resíduos produzidos, incrementando, desta forma, o peso final dos resíduos armazenados, e, por conseguinte, aumentando o custo associado à sua eliminação final (neste caso, recolha por parte da empresa especializada na recolha e transporte de resíduos perigosos).

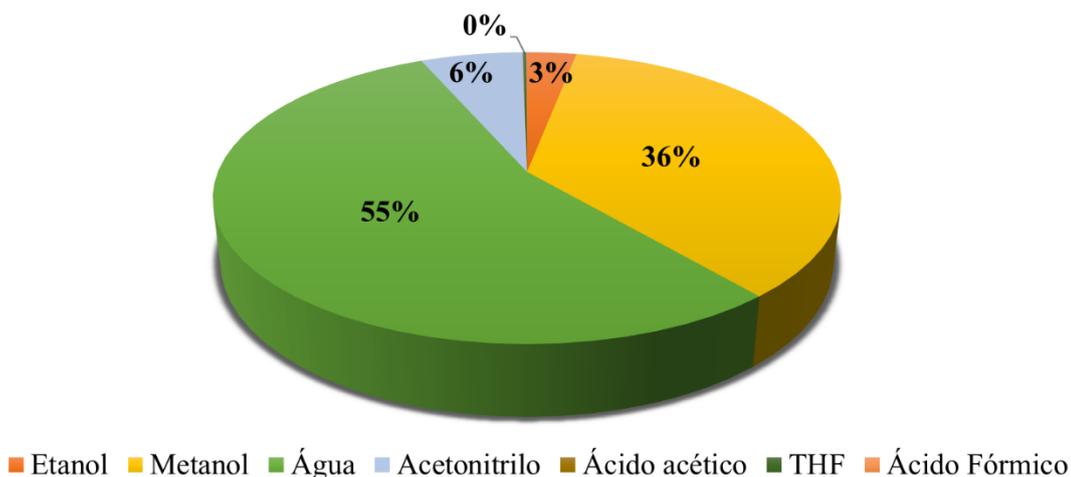


Figura 42: Principais constituintes dos resíduos líquidos perigosos gerados pelo setor CL.

Efetivamente, o volume anual dos resíduos perigosos gerados no setor CL foi estimado tendo em consideração o volume de reagentes/solventes usados por ano, a quantidade dos mesmos utilizada em cada uma das análises, bem como as densidades de cada uma das substâncias químicas. Assim, verificou-se a produção anual (estimada) de 115 L de resíduos de mistura de solventes, halogenados e não halogenados no setor CL, sendo que 55% da sua constituição é água, ou seja, 64 L, equivalente a 64 Kg. Segundo os dados fornecidos pelo IVDP, a empresa responsável pelo acondicionamento, recolha e transporte dos resíduos faz uma cobrança na ordem dos 2,25€ por quilograma de resíduo, equivalente a um valor que ronda os 144€ somente para a recolha de água. De modo a contornar este gasto significativo, o impacto ambiental associado à eliminação destes resíduos e a recolha destes resíduos, apresentam-se de seguida duas propostas visando esta questão:

- a segregação dos vários resíduos do CL, devidamente identificados, permitindo uma melhor separação das diferentes substâncias químicas (p.e., adquirir contentores com diferentes cores de modo a facilitar a identificação dos resíduos a todos os operadores); recorrer a um evaporador rotativo e separar as substâncias químicas da água segundo os pontos de ebulição respetivos; por fim descartar a água (após a destilação esta já é passível de ser eliminada diretamente), e posteriormente armazenar o que foi evaporado para ser recolhido pelas empresas credenciadas para tal;
- a segregação dos vários resíduos do CL, devidamente identificados, como anteriormente referido; uma vez que o IVDP não pode reutilizar os solventes recuperados, na medida em que podem influenciar a qualidade das análises laboratoriais, estes mesmos podem ser facultados (antes ou depois de serem recuperados) a instituições escolares, que possam reutilizar os solventes nas suas atividades práticas. A recuperação dos solventes orgânicos, no âmbito da QV, deve ser uma prioridade sempre que possível e que seja exequível no local da operação analítica.

3.5.2. Recuperação e reutilização de acetona através de processos de destilação

No setor FQ verificou-se a utilização de aproximadamente 65 L de acetona por ano, na sua maioria utilizada para a lavagem e secagem dos tubos dos densímetros. Esta acetona, juntamente com água e os resíduos das amostras (não é significativo), é recolhida, porém é descartada. Uma vez que a acetona não é utilizada para efeitos de operações analíticas, mas somente lavagem e secagem de material, propõe-se a recuperação da acetona através do

evaporador rotativo localizado no setor CL. Com efeito, pode armazenar-se a acetona residual em recipientes específicos, onde a mistura vai ter como constituintes principais e maioritários a acetona e a água, que são facilmente separados por destilação (ponto de ebulição da acetona é 56 °C e ponto de ebulição da água é 100 °C). A separação não vai ser 100% eficiente, pois há formação de azeótropos, mas a recuperação da acetona é bastante elevada, sendo possível assim recuperar e reciclar a substância química e contribuir para a diminuição do impacto negativo associado ao descarte direto da mistura, e economicamente viável, dado que evita gastos supérfluos de acetona. Esta acetona recuperada pode também ser utilizada para efeitos de limpeza de material de vidro e substituir o álcool etílico adquirido propositadamente para este processo. Apesar de a acetona não apresentar riscos graves associados à sua aplicação e manuseamento, a sua elevada volatilidade representa riscos, ainda que mínimos, para a segurança ocupacional dos operadores. Assim, este processo de limpeza do material deve ser feito em espaços onde a exaustão seja controlada, como por exemplo, em hottes ou espaços onde não existam fontes de calor, chamas, fogo ou faíscas.

3.5.3. Recuperação de nitrato de prata através de soluções de cloretos

Neste mesmo setor, FQ, realiza-se a quantificação de cloretos com recurso a soluções de nitrato de prata. Os resíduos provenientes destas análises são descartadas diretamente, o que se demonstra prejudicial para os meios aquáticos e terrestres, devido ao elevado poder tóxico desta substância química¹⁶³, onde concentrações elevadas de prata (Ag^+) tornam-se tóxicos para os organismos vivos residentes nos ambientes hídricos, e, uma vez depositada nos solos, pode contaminar outros solos (antropogenicidade) através de processos naturais como a lixiviação natural.

Uma vez que, em média são realizadas anualmente 165 análises para a quantificação deste parâmetro (cloretos) em amostras vínicas, a elevada exequibilidade da recuperação do nitrato de prata revela-se bastante promissora no que concerne à mitigação dos potenciais perigos inerentes ao descarte deste mesmo resíduo no meio ambiente. Este processo é bastante rápido, e propõe-se o procedimento experimental de recuperação de nitrato de prata indicado por Nicholas C. Thomas em 1990¹⁶⁴, através de reações de precipitação por intermédio de cobre e soluções de amoníaco. No final do processo, recolhe-se o precipitado e armazenam-se devidamente os resíduos de forma a serem tratados e/ou eliminados nas empresas especializadas.

3.5.4. Outras recomendações

As medidas anteriormente explanadas foram sugeridas tendo como enquadramento a temática da Química Analítica Verde. Contudo, pretende-se a apresentação de outras recomendações que se pensam essenciais para a melhoria contínua da qualidade ambiental das atividades laboratoriais do IVDP e a ecoeficiência global da instituição. A tabela seguinte contém as ações recomendadas que se demonstram viáveis e exequíveis financeiramente.

Tabela 14: Ações recomendadas para a melhoria do desempenho ambiental do IVDP.

Aspeto Ambiental	Ações recomendadas
Consumo de água	Instalação de torneiras eletrónicas que controlam o fluxo de água e a sua duração.
	Garantir o bom estado das canalizações e a manutenção das mesmas.
	Sensibilizar os colaboradores para não consumir água em excesso aquando da lavagem manual do material de laboratório.
Consumíveis do laboratório	Apenas comprar os produtos químicos necessários, para evitar que o excedente possa ultrapassar o prazo da validade.
	Preferência por produtos químicos e biológicos amigos do ambiente, ecológicos.
Produção de resíduos	Sensibilizar os colaboradores para o consumo de papel e outros consumíveis do laboratório (material de papelaria, entre outros).
	Reservar a impressão à documentação necessária, e optar por partilha de documentos <i>online</i> ; em documentos mais extensos, apenas imprimir as páginas de interesse
	Os <i>toners</i> e tinteiros podem ser recarregados em locais específicos, é economicamente mais viável e permite a reciclagem dos mesmos.
Consumo de energia elétrica	Instalação de sensores de presença (apenas necessários para o horário de Inverno).
	Aproveitar ao máximo a luz natural dos laboratórios.
	Instalação de controladores de intensidade de luz.
	Substituir lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, tanto nos laboratórios como nas restantes divisões da organização (escritórios, vestuários, WCs, entre outros.
	Substituir equipamentos obsoletos por equipamentos mais modernos, onde a poupança de energia pode ser superior a 50%.
	Instalação de painéis fotovoltaicos.

Para que todos os colaboradores do IVDP se envolvam na implementação do SGA, e de forma a sensibilizar os operadores no que diz respeito às questões ambientais, propõe-se

também que o IVDP forneça formação contínua aos seus funcionários tanto nas áreas de sustentabilidade ambiental como da Química Analítica Verde, como forma de promover a preservação do meio ambiente e o seu compromisso ambiental, social e económico.

4. Conclusão e Perspetivas para o Futuro

A presente dissertação teve como principais objetivos a elaboração de uma revisão da literatura, onde é feito um levantamento exaustivo de todos os conceitos e informação científica pertinentes que sustentam o caso de estudo, o estudo do desempenho ambiental do IVDP, I.P do Porto, através de um diagnóstico ambiental de várias vertentes ambientais associadas às atividades do laboratório, nomeadamente o consumo de água, consumo de energia elétrica e as emissões atmosféricas respetivas, os resíduos perigosos e não perigosos gerados, e os reagentes e solventes químicos utilizados nas análises químicas efetuadas no SL da instituição, tendo por base o referencial normativo ISO 14001:2004, e a caracterização dos principais métodos analíticos realizados no SL através da avaliação do caráter verde no âmbito da Química Analítica Verde, com recurso às ferramentas Eco-Escala Analítica (EEA) e Certificado Verde (CV).

Numa primeira instância pretendeu-se reunir toda a informação pertinente ao estudo com a elaboração da revisão da literatura, como forma de aprofundar o tema e sustentar as fases seguintes do estudo, onde se procurou aprofundar os seguintes conceitos: Química verde, Química Verde Analítica e Laboratório Verde. Concluiu-se que os dois primeiros temas são muito discutidos na comunidade científica, devido ao ascendente interesse pelas questões ambientais e sustentáveis. Contudo, o mesmo não se verificou com o terceiro conceito, sendo escassa a informação relativa ao Laboratório Verde na literatura, possivelmente por ser um tema muito específico e ainda pouco abordado.

A segunda fase do presente estudo consistiu na realização de um diagnóstico ambiental, onde se procedeu à identificação dos consumos e geração de resíduos associados às atividades da organização. Através dos indicadores ambientais referidos inferem-se os seguintes aspetos:

- relativamente ao consumo de energia elétrica, verificou-se uma diminuição no consumo referente ao ano de 2016, que poderá ser explicado pelo aumento da sensibilização dos colaboradores do IVDP para as questões ambientais, mais propriamente para a eficiência dos recursos energéticos; após a recolha dos dados das faturas de eletricidade do IVDP, foi realizada uma estimativa aos consumos individuais de cada setor, concluindo-se que é no setor CG onde o consumo elétrico é superior, cujo consumo corresponde a 42% do consumo total do SL; posteriormente estes consumos permitiram o cálculo das emissões atmosféricas associadas à produção da energia elétrica, e, através dos valores obtidos,

concluiu-se que os consumos elétricos verificados no IVDP não são considerados significativos;

- os consumos hídricos verificados no IVDP revelaram uma diminuição significativa entre o período de janeiro de 2014 e dezembro de 2017, registando-se uma minoração superior a 40% no período referido. Com estes dados denota-se uma mudança nos padrões de consumo de água por parte dos colaboradores do IVDP, e, uma vez que a variação do volume de análises durante o período de estudo não foi significativa, pode inferir-se que a mudança comportamental no que concerne o consumo de água pode estar relacionada com um aumento da sensibilização dos colaboradores para as questões ambientais, principalmente para a conservação e preservação dos recursos hídricos;
- foram identificados os principais reagentes e solventes químicos consumidos nas atividades laboratoriais do IVDP, sendo o ácido nítrico, o metanol, o álcool etílico e a acetona as substâncias químicas com maior relevância nas operações do laboratório; também se incluiu uma avaliação da sua perigosidade, tendo-se concluído que 40% das substâncias são consideradas irritantes, e apenas 4% têm caráter comburentes;
- o IVDP apresenta um sistema de gestão de resíduos bem estruturado onde há separação e segregação seletiva dos resíduos consoante a sua natureza e constituição (no caso dos resíduos químicos perigosos e não perigosos). Tendo por base os dados recolhidos das fichas MIRR facultadas pelo IVDP, entre 2014 e 2016 verificou-se um aumento global dos resíduos gerados na instituição. Contudo, por se ter verificado que um grande volume de resíduos estava relacionado com o descarte de equipamentos avariados e/ou obsoletos, decidiu-se analisar os resíduos de acordo com a sua periculosidade, ou seja, resíduos perigosos e resíduos não perigosos. A primeira análise permite deduzir que os resíduos gerados em maior quantidade são da categoria “solventes e misturas de solventes”, e os resíduos da categoria “solventes e misturas de solventes halogenados” representam a fração menor dos resíduos de natureza perigosa gerados no laboratório do IVDP.

O vidro é evidentemente o resíduo não perigoso principal do IVDP, bem como o papel, cartão e as embalagens (excluíram-se os equipamentos que são considerados resíduos pontuais e não resíduos ordinários); como análise final aferiu-se que 98% dos resíduos gerados no IVDP são considerados não perigosos.

A terceira e última fase do estudo consistiu na identificação e classificação dos principais métodos analíticos (após a aplicação dos critérios definidos) segundo as ferramentas de

avaliação dos seus “perfis verdes” denominadas Eco-Escala Analítica e Certificado Verde. Foram selecionados 19 métodos do setor FQ, 4 métodos do setor CG, 5 métodos do setor CL e 13 métodos do setor AM. Destes, apenas um método conseguiu atingir uma pontuação igual a 100, considerado um método analítico ideal. Do mesmo núcleo, 27% dos métodos foram classificados na categoria A, 51% na categoria B, 17% na categoria C, e apenas 5% na categoria D. Deste modo, é possível concluir que o IVDP, no âmbito da Química Verde Analítica, demonstra um bom desempenho ambiental, uma vez que a maioria dos métodos analíticos (90%) apresentou pontuação superior a 75, que podem ser classificados como métodos analíticos excelentes na ótica da Química Verde. Assim, conclui-se que a inclusão destas ferramentas na avaliação do perfil verde dos métodos do IVDP é uma mais-valia para a instituição, pois permite verificar a adequabilidade ambiental dos outros métodos praticados no laboratório, bem como a avaliação de outros métodos que possam ser otimizados ou desenvolvidos no futuro.

Os métodos analíticos do IVDP integram a lista dos métodos oficiais do OIV, o que se traduziu na maior limitação para a adequabilidade dos métodos analíticos às reais necessidades ambientais verificadas, por não ter sido possível propor medidas que visassem a modificação dos procedimentos experimentais, daí a proposição de medidas de recuperação e reciclagem de solventes orgânicos e sais inorgânicos, integradas no conceito da Economia Circular. Este conceito estratégico permite a minimização de perdas e por conseguinte a minimização do impacto ambiental associado à eliminação desses resíduos.

O tratamento e análise dos dados permitiram inferir que o IVDP demonstra preocupação pelo meio ambiente, pois têm diversas medidas implementadas que sustentam as premissas da responsabilidade e sustentabilidade ambientais, mais concretamente os equipamentos e instrumentos de análise com recurso a baixos volumes de solventes e de rápida análise, como o caso das análises através de técnicas FTIR (*Winescan*), da eletroforese capilar, da espectrofotometria UV/Vis, e da cromatografia gasosa, que, apesar dos grandes consumos de energia elétrica, utiliza volumes pouco significativos de solventes.

No início do projeto o IVDP mostrou-se interessado na obtenção da certificação ambiental, daí propor-se como trabalho futuro um estudo exaustivo dos aspetos e impactes ambientais segundo as normas ISO 14001, e posteriormente a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental. Com esta proposta pretende-se um estudo periódico de todas as vertentes ambientais congregadas às atividades laboratoriais, tendo como objetivo

permanente a melhoria contínua do seu desempenho ambiental. É essencial que sejam identificados os principais focos e benefícios da integração do SGA nas políticas e estratégias da organização, de forma a garantir que a qualidade ambiental seja alcançada, mantida e melhorada continuamente.

5. Referências Bibliográficas

1. Varriano, J. *Wine: a cultural history*. (Reaktion Books Ltd, 2010).
2. Pitte, J.-R. *La bouteille de vin: Histoire d'une révolution*. (Tallandier, 2013).
3. Desseauve, T. *Le livre du vin*. (Flammarion, 1998).
4. Cappellini, E. et al. *A multidisciplinary study of archaeological grape seeds*. *Naturwissenschaften* 97, 205–217 (2010).
5. Schlumbaum, A., Tensen, M. e Jaenicke-Després, V. *Ancient plant DNA in archaeobotany*. *Vegetation History and Archaeobotany* 17, 233–244 (2008).
6. Guedes, A. e Joukes, V. *Hotel Ships on the Douro River and Their Relationship with the Terroir*. em *Wine and Tourism: A Strategic Segment for Sustainable Economic Development* (eds. Peris-Ortiz, M., Rama, M. de la C. del R. & Rueda-Armengot, C.) (Springer, 2016). doi:10.1007/978-3-319-18857-7
7. Winerist. *Douro Valley, Portugal*. Disponível em: <https://www.winerist.com/regions/region/douro-valley>. (Acedido: 23 Novembro 2016)
8. *Decreto-Lei n.º 173 de 3 de Agosto do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento rural e das Pescas*. (2009).
9. Grácio, J. *Monografia de Sanfins do Douro*. (1995).
10. Martins, J. P. *Solo, Clima e Três Sub-Regiões - Um Douro com muitas cores*. em *O Prazer do Vinho do Porto* (Leya, 2011).
11. Carlucci, M. *Vinho do Porto, piccolo vademecum*. *Il TaccuVino* (2016). Disponível em: <https://www.iltaccuvino.com/2016/09/10/vinho-do-porto-piccolo-vademecum/>. (Acedido: 12 Outubro 2016)
12. Peixoto, M. A. *Região Demarcada do Douro*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Disponível em: http://home.utad.pt/~rfvr/reg_dem_douro.html. (Acedido: 3 Dezembro 2016)
13. Peixoto, F. A. C. *Do Corporativismo ao Modelo Interpessoal. O Instituto do Vinho do Porto e a Evolução do Sector do Vinho do Porto (1933-1995)*. (Edições Afrontamento, 2011).

14. Pereira, G. M. *Porto: um vinho com história*. Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (2004). Disponível em: <http://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=9>. (Acedido: 20 Novembro 2016)
15. *Missão*. Instituto dos Vinhos do Douro e Porto .Disponível em: <https://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=8&codSeccao=&idioma=0>. (Acedido: 15 Novembro 2016)
16. *Decreto-Lei n.º 47/2007 de 27 de fevereiro*. (2007).
17. *Lei n.º. 3/2004, 15 de janeiro*. (2004).
18. *Organograma IVDP*. Instituto dos Vinhos do Douro e Porto .Disponível em: [https://www.ivdp.pt/pt/docs/Organograma IVDP.pdf](https://www.ivdp.pt/pt/docs/Organograma%20IVDP.pdf). (Acedido: 12 Abril 2017)
19. *IVDP, I. P. NO PORTO*. Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (2009). Disponível em: <https://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=63>. (Acedido: 12 Dezembro 2016)
20. *Recueil des méthodes internationales d'analyse des boissons spiritueuses d'origine vitivinicole*. Organisation Internationale de la vigne et du vin .Disponível em: <http://www.oiv.int/fr/normes-et-documents-techniques/methodes-danalyse/recueil-des-methodes-internationales-danalyse-des-boissons-spiritueuses-dorigine-vitivinicole>. (Acedido: 23 Outubro 2016)
21. *Prestação de Serviços*. Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (2010). Disponível em: <http://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=59>. (Acedido: 19 Novembro 2016)
22. *Acreditações*. Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (2016). Disponível em: <https://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=194>. (Acedido: 17 Outubro 2016)
23. Barradas, J. A. e Sampaio, P. *Certificação e Acreditação : duas perspetivas num laboratório de metrologia*. Techniques, Methodologies and Quality 4, 111–130 (2013).
24. *Building Trust*. International Organization for Standardization 192 .Disponível em: http://www.iso.org/iso/casco_building-trust.pdf. (Acedido: 3 Dezembro 2016)
25. *A Acreditação*. Instituto Português de Acreditação .Disponível em: <http://www.ipac.pt/ipac/funcao.asp>. (Acedido: 29 Outubro 2016)
26. *Relatório de actividades 2011*. Instituto dos Vinhos do Porto e Douro (2011).

- .Disponível em: [http://www.ivdp.pt/pt/docs/Relatorio Actividades IVDP 2011.pdf](http://www.ivdp.pt/pt/docs/Relatorio%20Actividades%20IVDP%202011.pdf). (Acedido: 1 Dezembro 2016)
27. de Sherbinin, A., Carr, D., Cassels, S. e Jiang, L. *Population and environment*. Annual Review of Environment and Resources 32, 345–373 (2007).
 28. Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D. e Corvalan, C. *Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health*. Public Health 120, 585–596 (2006).
 29. McKie, R. *Rachel Carson and the legacy of Silent Spring*. (2012). .Disponível em: <https://www.theguardian.com/science/2012/may/27/rachel-carson-silent-spring-anniversary>. (Acedido: 22 Outubro 2016)
 30. Resnik, D. B. *Environmental Health Ethics*. (Cambridge University Press, 2012).
 31. *History of Green Chemistry*. ACS Chemistry of Life .Disponível em: <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html>. (Acedido: 15 Novembro 2016)
 32. Parak, G. *Photographs of Environmental Phenomena. Scientifica Images in the Wake of Environmental Awareness, USA 1860s-1970s*. (transcript Verlag, 2016). doi:10.414-415. 10.1086/698261
 33. Andersson. *Change and Continuity in Poland's Environmental Policy*. (Springer Netherlands, 2013). doi:10.1007/978-94-011-4517-6
 34. Cristina, M. D. *Saferational approach to a valid sustainable development*. Procedia Economics and Finance 8, 497–504 (2014).
 35. Organização das Nações Unidas. *Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano*. (1972).
 36. Black, R. *Stockholm: Birth of the green generation*. BBC News (2012). .Disponível em: <http://www.bbc.com/news/science-environment-18315205>. (Acedido: 12 Maio 2017)
 37. Tobiszewski, M., Mechlińska, A., Zygmunt, B. e Namieśnik, J. *Green analytical chemistry in sample preparation for determination of trace organic pollutants*. Trends in Analytical Chemistry 28, 943–951 (2009).

38. Margolin, V. *The Good City : Design for Sustainability*. She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation 1, 34–43 (2015).
39. Veiga, L. B. E. e Magrini, A. *Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development*. Journal of Cleaner Production 1–9 (2009).
40. Johnston, P., Everard, M., Santillo, D. e Robèrt, K. *Discussion Articles Reclaiming the Definition of Sustainability*. Environmental Science and Pollution Research 14, 60–66 (2007).
41. Jiménez-González, C. e Constable, D. J. C. *Green Chemistry and Engineering: A Practical Design Approach*. (John Wiley and Sons, 2011).
42. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P. e Jan, E. *The Circular Economy - A New sustainability paradigm?* Journal of Cleaner Production 143, 757–768 (2017).
43. Savitz, A. *The Triple Bottom Line: How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social and Environmental Success -- and How You Can Too*. (John Wiley & Sons, 2012).
44. Marques, C. A. e Machado, A. A. S. C. *Environmental Sustainability: Implications and limitations to Green Chemistry*. Foundations of Chemistry 16, 125–147 (2013).
45. Blackburn, W. R. *The Sustainability Handbook. The Complete Management Guide to Achieving Social, Economic and Environmental Responsibility*. (2007).
46. Sauv e, S., Bernard, S. e Sloan, P. *Environmental sciences , sustainable development and circular economy : Alternative concepts for trans-disciplinary research*. Environmental Development 17, 48–56 (2016).
47. Cucciniello, R. e Cespi, D. *Recycling within the Chemical Industry : The Circular Economy Era*. Recycling 3, 6–9 (2018).
48. Faria, M. J. da S. *Uma perspetiva da legisla o ambiental em Portugal*. Revista Galega de Administraci n P blica 45, 5–25 (2013).
49. The European Chemical Industry Council. *European Chemical Industry Facts and Figures Report 2016*. (2016).
50. Sanderson, K. *Chemistry: It's not easy being green*. Nature 469, 18–20 (2011).
51. European Environment Agency. *Portugal industrial pollution country profile*. (2016).

52. *Municipal waste management across European countries*. European Environment Agency (2016). Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/municipal-waste/municipal-waste-management-across-european-countries>. (Acedido: 17 Julho 2017)
53. *Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity*. Eurostat (2017). Disponível em: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasgen&lang=en. (Acedido: 30 Julho 2017)
54. *Global water reserves*. Best Water Technology. Disponível em: <https://www.bwt-group.com/en/press/background-information/global-water-reserves/Pages/default.aspx>. (Acedido: 27 Setembro 2017)
55. Sartori, M. e Consalvo, C. *Water Footprint of Italy*. (2014).
56. Hoekstra, A. Y. e Mekonnen, M. M. *The water footprint of humanity*. Proceedings of the national academy of sciences 109, 3232–3237 (2011).
57. WWF Mediterranean. *Water Footprint in Portugal*. (2010).
58. Público e LUSA. *Relatório da WWF. Portugal tem uma das pegadas hídricas mais elevadas entre 140 países*. Público (2010). Disponível em: <https://www.publico.pt/2010/02/26/sociedade/noticia/portugal-tem-uma-das-pegadas-hidricas-mais-elevadas-entre-140-paises-1424606>. (Acedido: 12 Julho 2017)
59. WWF Mediterrâneo. *Pegada hídrica em portugal. Resumo do relatório «Water Footprint in Portugal»*. (2010).
60. Agência Portuguesa do Ambiente. *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. (2012).
61. Sharma, S. K. e Mudhoo, A. *Green Chemistry for Environmental Sustainability*. (CRC Press, 2010).
62. Baird, C. *Química Ambiental*. (Bookman, 2002).
63. Machado, A. A. S. C. *Da Génese do Termo Química Verde às Colorações Discrepantes da Química e da Biotecnologia*. Química Nova 43–48 (2008).

64. Anastas, P. T. e Kirchoff, M. M. *Origins , Current Status , and Future Challenges of Green Chemistry*. *Accounts of Chemical Research* 35, 686–694 (2002).
65. Anastas, P. T. e C. Williamson, T. *Green Chemistry: an overview*. em ACS Symposium Series (1996). doi:10.1021/bk-1996-0626.ch001
66. Arends, I., Sheldon, R. e Hanefeld, U. *Introduction: Green Chemistry and Catalysis*. em *Green Chemistry and Catalysis* (WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007). doi:10.1039/b605047f
67. Royal Society of Chemistry. *About us*. Royal Society of Chemistry (2016). Disponível em: <http://www.rsc.org/>. (Acedido: 12 Dezembro 2016)
68. Machado, A. A. S. C. *Alfred Nobel – O «primeiro químico verde»?* *Química* 103, 45–55 (2006).
69. Machado, A. A. S. C. *Dos Primeiros Aos Segundos Doze Princípios da Química Verde*. *Química Nova* 35, 1250–1259 (2012).
70. Anastas, P. T. e Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. (Oxford University Press, 1998).
71. Machado, A. A. S. C. *Química e Desenvolvimento sustentável*. *Qv, QUIVES, QUISUS*. *Química* 95, 59–68 (2004).
72. Glaze, W. H. *Sustainability Engineering and Green Chemistry*. *Environmental Science & Technology* 34, 449 (2000).
73. Winterton, N. *Twelve more green chemistry principles †*. *Green Chemistry* 73–81 (2001). doi:10.1039/b110187k
74. Anastas, P. T. e Allen, D. T. *Twenty-Five Years of Green Chemistry and Green Engineering: The End of the Beginning*. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 4, 5820–5820 (2016).
75. Ramos, M. A. *Química Verde – potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário*. (Tese de mestrado da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2009).
76. *REQUIMTE. Rede de química e tecnologia*. REQUIMTE Disponível em: <http://www.requimte.pt/>. (Acedido: 11 Dezembro 2016)

77. *Centro de Biotecnologia e Química Fina*. Universidade Católica do Porto .Disponível em: <http://www.cbqf.esb.ucp.pt/en/cbqf>. (Acedido: 11 Dezembro 2016)
78. *About Us*. Instituto de Tecnologia Química e Biológica António Xavier .Disponível em: <http://www.itqb.unl.pt/about-us>. (Acedido: 12 Novembro 2016)
79. *Laboratórios*. Instituto de Tecnologia Química e Biológica (2016). .Disponível em: <http://www.itqb.unl.pt/science-and-society/servico-educativo/visitas/laboratorios>. (Acedido: 23 Outubro 2016)
80. *Educação Ambiental para a Sustentabilidade*. Agência Portuguesa do Ambiente (2016). .Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=142&sub2ref=244>. (Acedido: 20 Dezembro 2016)
81. Murray, R. W. *Analytical Chemistry: The Science of Chemical Measurements*. *Analytical Chemistry* 63, 271A–271–A (1991).
82. Danzer, K. *Analytical Chemistry - today's definition and interpretation*. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* 343, 827–828 (1992).
83. Tobiszewski, M. e Namieśnik, J. *Direct chromatographic methods in the context of green analytical chemistry*. *Trends in Analytical Chemistry* 35, 67–73 (2012).
84. Tobiszewski, M. *Metrics for green analytical chemistry*. *Analytical Methods* 8, 2993–2999 (2016).
85. Gałuszka, A., Migaszewski, Z. M., Konieczka, P. e Namieśnik, J. *Analytical Eco-Scale for assessing the greenness of analytical procedures*. *Trends in Analytical Chemistry* 37, 61–72 (2012).
86. Tobiszewski, M., Mechlińska, A. e Namieśnik, J. *Green analytical chemistry - theory and practice*. *The Royal Society of Chemm* 39, 2869–2878 (2010).
87. Keith, L. H., Gron, L. U. e Young, J. L. *Green Analytical Methodologies*. *Chemical Reviews* 107, 2695–2708 (2007).
88. Płotka, J. *et al.* *Green chromatography*. *Journal of Chromatography A* 1307, 1–20 (2013).
89. Armenta, S., Garrigues, S. e de la Guardia, M. *Green Analytical Chemistry*. *Trends in*

- Analytical Chemistry 27, 497–511 (2008).
90. Gałuszka, A., Migaszewski, Z. e Namieśnik, J. *The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices*. Trends in Analytical Chemistry 50, 78–84 (2013).
 91. Koel, M. *Do we need Green Analytical Chemistry?* Green Chemistry 18, 923–931 (2016).
 92. Ribeiro, M. G. T. C. e Machado, A. A. S. C. *Holistic metrics for assessment of the greenness of chemical reactions in the context of chemical education*. Journal of Chemical Education 90, 432–439 (2013).
 93. Ribeiro, M. G. T. C. e Machado, A. A. S. C. *Greenness of chemical reactions – limitations of mass metrics*. Green Chemistry Letters and Reviews 6, 1–18 (2013).
 94. Tobiszewski, M., Marć, M., Gałuszka, A. e Namieśnik, J. *Green chemistry metrics with special reference to green analytical chemistry*. Molecules 20, 10928–10946 (2015).
 95. Mohamed, H. M. *Green, environment-friendly, analytical tools give insights in pharmaceuticals and cosmetics analysis*. Trends in Analytical Chemistry 66, 176–192 (2015).
 96. Anastas, P. T. e Beach, E. S. *Green Chemistry: the emergence of a transformative framework*. Green Chemistry Letters and Reviews 1, 9–24 (2007).
 97. Ribeiro, M. G. T. C., Costa, D. A. e Machado, A. A. S. C. *«Green Star»: a holistic Green Chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments*. Green Chemistry Letters and Reviews 3, 149–159 (2010).
 98. Aken, K. Van, Streckowski, L. e Patiny, L. *EcoScale, a semi-quantitative tool to select an organic preparation based on economical and ecological parameters*. Beilstein Journal of Organic Chemistry 7, 1–7 (2006).
 99. Ribeiro, M. G. T. C. *Uma métrica gráfica para avaliação holística da verduza de reacções laboratoriais - «Estrela verde»*. Química Nova 33, 759–764 (2010).
 100. Machado, A. A. S. C. *Das Dificuldades da Química Verde aos Segundo Doze Princípios*. Química Nova 33–45 (2008).

101. Mohamed, H. M. e Lamie, N. T. *Analytical eco-scale for assessing the greenness of a developed RP-HPLC method used for simultaneous analysis of combined antihypertensive medications*. *Journal of AOAC International* 99, 1260–1265 (2016).
102. Koel, M. e Kaljurand, M. *Green Analytical Chemistry*. (Royal Society of Chemistry (Great Britain), 2010).
103. NEMI. *National Environmental Methods Index*. Disponível em: <https://www.nemi.gov/home/>. (Acedido: 20 Junho 2017)
104. Tobiszewski, M., Tsakovski, S., Simeonov, V. e Namieśnik, J. *Application of multivariate statistics in assessment of green analytical chemistry parameters of analytical methodologies*. *Green Chemistry* 15, 1615 (2013).
105. Young, J. L. e Keith, L. H. *The Greenness of Monitoring Methods*. em National Water Quality Monitoring Conference (2008).
106. Gaber, Y., Törnvall, U., Kumar, M. A., Amin, M. A. e Hatti-Kaul, R. *HPLC-EAT (Environmental Assessment Tool): A tool for profiling safety, health and environmental impacts of liquid chromatography methods*. *Green Chemistry* 13, 2021–2025 (2011).
107. de la Guardia, M. e Armenta, S. *Practical consequences of green analytical chemistry*. em *Comprehensive Analytical Chemistry* 57, 219–232 (Elsevier B.V., 2011).
108. Occupational Safety and Health Administration. *Hazard Communication Standard : Labels and Pictograms*. Disponível em: <https://www.osha.gov/Publications/OSHA3636.pdf>. (Acedido: 27 Julho 2017)
109. PubChem. *GHS Classification*. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ghs/>. (Acedido: 16 Agosto 2017)
110. Armenta, S., Guardia, M. de la e Namieśnik, J. *Green Microextraction*. em *Analytical Microextraction Techniques* (Bentham Science Publishers, 2016).
111. Raynie, D. e Driver, J. L. *Green Assessment of Chemical Methods*. em 13th Annual Green Chemistry & Engineering Conference (2008).
112. Turner, C. *Sustainable analytical chemistry — more than just being green* *. *Pure and Applied Chemistry* 85, 2217–2229 (2013).

113. Castro-Puyana, M., Mendiola, J. A. e Ibañez, E. *Strategies for a cleaner new scientific discipline of green foodomics*. Trends in Analytical Chemistry 52, 23–35 (2013).
114. Woolliams, J., Lloyd, M. e Spengler, J. D. *The case for sustainable laboratories: first steps at Harvard University*. International Journal of Sustainability in Higher Education 6, 363–382 (2005).
115. The University of Texas in Austin. *Green Labs Initiative - Summary Report*. (2011).
116. Duarte, K., Justino, C. I. L., Gomes, A. M., Rocha-Santos, T. A. P. e Duarte, A. C. *Green analytical methodologies for preparation of extracts and analysis of bioactive compounds*. Comprehensive Analytical Chemistry 65, (Elsevier B.V., 2014).
117. Armenta, S., Garrigues, S. e de la Guardia, M. *The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry*. Trends in Analytical Chemistry 71, 2–8 (2015).
118. Goodwin, T. E. *An Asymptotic Approach to the Development of a Green Organic Chemistry Laboratory*. Journal of Chemical Education 81, 1187–1190 (2004).
119. Sherman, J., Chin, B., Huibers, P. D. T., Garcia-Valls, R. e Hatton, T. A. *Solvent replacement for green processing*. Environmental Health Perspectives 106, 253–271 (1998).
120. Welton, T. *Solvents and sustainable chemistry*. Proceedings the Royal Society A 471, 1–26 (2015).
121. Simon, M.-O. e Li, C.-J. *Green Chemistry oriented organic synthesis in water*. Chemical Society Reviews 41, 1415–1427 (2012).
122. Liu, L. e Wang, D. *On Water for Green Chemistry*. em Handbook of Green Chemistry, Volume 5, Green Solvents, Reactions in Water (eds. Anastas, P. T. & Li, C.-J.) 436 (Wiley-VCH, 2013).
123. Clifford, T. *Fundamentals of supercritical fluids*. (Oxford University Press, 1998).
124. Han, X. e Poliakoff, M. *Continuous reactions in supercritical carbon dioxide: problems, solutions and possible ways forward*. Chemical Society reviews 41, 1428–36 (2012).
125. Hintermair, U., Leitner, W. e Jessop, P. G. *Expanded Liquid Phases in Catalysis: Gas-expanded Liquids and Liquid–Supercritical Fluid Biphasic Systems*. em

- Handbook of Green Chemistry 101–187 (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010).
126. Sioumkrou, E., Galindo, A. e Adjiman, C. S. *On the optimal design of gas-expanded liquids based on process performance*. Chemical Engineering Science 115, 19–30 (2014).
 127. Wyatt, V. T. e Hass, M. J. *Production of Fatty Acid Methyl Esters via the In Situ Transesterification of Soybean Oil in Carbon Dioxide-Expanded Methanol*. Journal of the American Oil Chemistry's Sc (2009). doi:10.1007/s11746-009-1438-8
 128. Hallett, J. P. e Welton, T. *Room-Temperature Ionic Liquids: Solvents for Synthesis and Catalysis*. 2. Chemical Reviews 111, 3508–3576 (2011).
 129. Olivier-Bourbigou, H., Magna, L. e Morvan, D. *Applied Catalysis A : General Ionic liquids and catalysis : Recent progress from knowledge to applications*. Applied Catalysis A: General 373, 1–56 (2010).
 130. Feu, K. S. *et al.* *Polyethylene glycol (PEG) as a reusable solvent medium for an asymmetric organocatalytic Michael addition. Application to the synthesis of bioactive compounds*. Green Chemistry 3169–3174 (2014). doi:10.1039/C4GC00098F
 131. Schäffner, B., Schäffner, F., Verevkin, S. P. e Börner, A. *Organic Carbonates as Solvents in Synthesis and Catalysis*. Chemical Reviews 110, 4554–4581 (2010).
 132. Horváth, I. T. *Solvents from nature*. Green Chemistry 10, 1024–1028 (2008).
 133. Alonso, D. M., Wettstein, S. G. e Dumesic, J. A. *Gamma-valerolactone, a sustainable platform molecule derived from lignocellulosic biomass*. Green Chemistry 15, 584–595 (2013).
 134. Clark, J. H. e Tavener, S. J. *Alternative solvents: shades of green*. Organic Process Research 11, 149–155 (2007).
 135. Jessop, P. G. *Searching for green solvents*. Green Chemistry 13, 1391–1398 (2011).
 136. Blackmond, D. G., Armstrong, A., Coomb, V. e Wells, A. *Water in Organocatalytic Processes: Debunking the Myths*. Angewandte Chemie International Edition 46, 3798–3800 (2007).

137. Kaplowitz, M. D., Thorp, L., Coleman, K. e Kwame, F. *Energy conservation attitudes, knowledge , and behaviors in science laboratories*. Energy Policy 50, 581–591 (2012).
138. Grimm, D. *This Man Wants to Green Your Lab*. Science 318, 39–41 (2007).
139. Lopez, J. B. e Badrick, T. *Proposals for the mitigation of the environmental impact of clinical laboratories*. Clinical Chemistry and Laboratory Medicine 50, 1559–1564 (2012).
140. Wesolowski, D. *et al. The use of feedback in lab energy conservation: fume hoods at MIT*. International Journal of Sustainability in Higher Education 11, 217–235 (2010).
141. Cottrell, B. *Green Labs are Gold : Evaluating and Improving the Environmental Impact of USF's Laboratories*. (2012).
142. Nascimento, E. D. S. e Filho, A. T. *Chemical waste risk reduction and environmental impact generated by laboratory activities in research and teaching institutions*. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences 46, 187–197 (2010).
143. El-Haggar, S. M. *Sustainable Industrial Design and Waste Management. Cradle-to-cradle for Sustainable Development*. (Elsevier, 2007).
144. *Missão*. Agência Portuguesa do Ambiente .Disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=5&subref=633>. (Acedido: 2 Dezembro 2016)
145. *Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março dos Ministérios da Economia, da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente*. 1188–1206 (2004).
146. Ferreira, M. S. R. *Sistemas de gestão ambiental de acordo com a norma ISO 14001 : 2012 : Aplicação à Empresa de Consultoria Gliese - Work Solutions , Lda*. (Instituto Politécnico de Bragança, 2013).
147. *CIRVER - Centro Integrado de Recuperação, Valorização e Eliminação de Resíduos - SISAV*. EGEO .Disponível em: <http://www.sisav.pt/ver.php?cod=0B>. (Acedido: 28 Outubro 2016)
148. Ecodeal. *O Cirver Ecodeal*. (2016). .Disponível em: <https://www.ecodeal.pt/unidades-de-tratamento/o-cirver-ecodeal>. (Acedido: 22

Outubro 2016)

149. Carmona. *Serviços*. Disponível em: <http://www.carmona.pt/carmona/display?numero=36631&servicos>. (Acedido: 9 Dezembro 2016)
150. García-Serna, J., Pérez-Barrigón, L. e Cocero, M. J. *New trends for design towards sustainability in chemical engineering: Green engineering*. Chemical Engineering Journal 133, 7–30 (2007).
151. Bertozzi, C. R. *Ingredients for a Positive Safety Culture*. ACS Central Science 2, 764–766 (2016).
152. European Chemical Agency. *Understanding REACH*. Disponível em: <https://echa.europa.eu/regulations/reach/understanding-reach>. (Acedido: 7 Agosto 2016)
153. Barth, M. e Rieckmann, M. *Academic staff development as a catalyst for curriculum change towards education for sustainable development: An output perspective*. Journal of Cleaner Production 26, 28–36 (2012).
154. Ramos, T. B. *et al. Experiences from the implementation of sustainable development in higher education institutions: Environmental Management for Sustainable Universities*. Journal of Cleaner Production 106, 3–10 (2015).
155. Harvard University. *Harvard University Sustainable Plan. Fiscal Year 2015-2020*. (2015).
156. The University of Texas in Austin. *Sustainability Master Plan*. (2016).
157. Griffith University. *Green Labs Pilot Program 2016 highlights energy saving benefits*. (2016).
158. University of Cambridge. *Environmental Sustainability Vision, Policy and Strategy*. (2014).
159. Pubchem. National Center for Biotechnology Information. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. (Acedido: 12 Maio 2017)
160. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. *Proposta de alteração da recomendação sobre rotulagem de energia eléctrica*. (2011).

161. *Despacho n.º 17313/2008 de 26 de junho do Ministério da Economia e da Inovação.* (2008).
162. *Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de abril do Ministério da Economia e da Inovação.* (2008).
163. Ribeiro, F. *et al.* *Silver nanoparticles and silver nitrate induce high toxicity to Pseudokirchneriella subcapitata, Daphnia magna and Danio rerio.* *Science of the Total Environment* 466–467, 232–241 (2014).
164. Thomas, N. *Recovering silver nitrate from silver chloride residues in about thirty minutes.* *Journal of Chemical Education* 794 (1990). doi:10.1021/ed067p794

6. Anexos

6.1. Legislação ambiental portuguesa

Tabela 15: Evolução da legislação ambiental portuguesa desde os anos 80 até à atualidade (adaptada ⁴⁸).

Instrumentos Normativos	Designação/ação
Decreto-Lei n.º 488/85	Classificação e normas de gestão dos resíduos em geral
Lei n.º 10/87	Lei das Associações de Defesa do Ambiente
Lei n. 11/87	Lei de Bases do Ambiente
Decreto-Lei n.º 25/87	Aprovação do Regulamento Geral sobre o ruído
Decreto-Lei n.º 176-A/88	Planos Regionais de Ordenamento do Território
Decreto-Lei n.º 172/88	Proteção do montado de sobro
Decreto-Lei n.º 174/88	Obrigatoriedade de manifestar o corte de ou arranque de árvores
Decreto-Lei n.º 175/88	Obrigatoriedade de autorização oficial para plantações de eucaliptos com mais de 50 hectares de contínuo
Decreto-Lei n.º 139/88	Rearborização de áreas aridas
Decreto-Lei n.º 180/89	
Decreto-Lei n.º 196/89	Definição das áreas de Reserva Agrícola Nacional (RAN)
Despacho n.º 16/90	Tratamento dos resíduos hospitalares
Decreto-Lei n.º 68/90	Planos Municipais de Ordenamento de Território
Decreto-Lei n.º 74/90	Normas da qualidade da água
Decreto-Lei n.º 93/90	Definição das áreas de Reserva Ecológica Nacional (REN)
Decreto-Lei n.º 186/90	Obrigatoriedade da elaboração dos estudos de Impacto Ambiental
Decreto-Regulamentar n.º 38/90	(EIA) para grandes projetos
Decreto-Lei n.º 352/90	Regulamentação da qualidade do ar
Decreto-Lei n.º 367/90	Revisão do Decreto-Lei anterior
Decreto-Lei n.º 213/92	Aplicação da REN aos Planos Diretores Municipais (PDM)
Decreto-Lei n.º 274/92	Aplicação da RAN aos PDM
Lei n.º 65/93	Acesso à informação sobre Ambiente
Decreto-Lei n.º 19/93	Estabelecimento das normas das áreas protegidas
Decreto-Lei n.º 309/93	POOC-Planos de Ordenamento da Orla Costeira
Decreto-Lei n.º 379/93	Permissão e regulamentação no acesso dos privados à captação,
Decreto-Lei n.º 319/94	tratamento e rejeição de efluentes, e abastecimento de águas de
Decreto-Lei n.º 25/95	consumo
Decreto-Lei n.º 46/94	Regime de licenciamento (utilização do Domínio público hídrico).
Decreto-Lei n.º 45/94	Regulamentação do Planeamento dos recursos hídricos
Portaria n.º 1058/94	Fixação dos valores-limite e valores-guia para diversos poluentes
Resolução do Conselho de Ministros n.º 38/95	Plano Nacional da Política de Ambiente
Portaria n.º 189/95	Aprovação do mapa de registo de resíduos industriais
Decreto-Lei n.º 310/95	Lei dos resíduos – definição das regras para a gestão de resíduos
Decreto-Lei n.º 33/96	Lei de Bases da Política Florestal
Portaria n.º 313/96	Regras de funcionamento para as embalagens reutilizáveis
Portaria n.º 125/97	Redução dos valores-limite de emissão dos principais poluentes
Portaria n.º 174/97	Regras para tratar os resíduos perigosos hospitalares
Portaria n.º 178/97	Mapas obrigatórios de resíduos hospitalares
Decreto-Lei n.º 59/99	Aprovação da Convenção sobre a Avaliação dos Impactes Ambientais num contexto transfronteiriço
Decreto-Lei n.º 60/2000	Aprovação do regime jurídico da avaliação e impacte ambiental, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 85/337/CEE, com as alterações introduzidas pela Diretiva n.º 97/11/CE, do Conselho, 3 de março de 1997

Portaria n.º 330/2001	Fixação das normas técnicas para a estrutura da proposta de definição do âmbito do EIA e normas técnicas para a estrutura do estudo do impacte ambiental.
Despacho n.º 11091/2001	Determinação dos procedimentos para projetos de instalações de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis
Despacho n.º 11874/2001 (2ª série)	Definição do formato das aplicações informáticas dos ficheiros que o proponente fica obrigado a entregar, contendo as peças escritas e desenhadas das diferentes fases da AIA, para divulgação na internet
Despacho n.º 12006/2001	Definição dos procedimentos para o licenciamento de parques eólicos em zonas sensíveis e a sua articulação com os regimes da REN e da AIA
Portaria n.º 123/2002	Definição da composição e o modo de funcionamento e regulamentação da competência do Conselho Consultivo de Avaliação de Impacto Ambiental.
Resolução da Assembleia da República n.º 11/2003	Aprovação, para ratificação, da Convenção sobre Acesso à Informação, Participação do Público no Processo de Tomada de Decisão e Acesso à Justiça em Matéria de Ambiente, assinada em Aarhus, na Dinamarca (25 de abril de 1998)
Portaria n.º 1257/2005	Revisão das taxas a cobrar no âmbito do procedimento de avaliação de impacte ambiental (AIA)
Decreto-Lei n.º 232/2007	Estabelecimento do regime a que fica sujeita a avaliação dos efeitos de determinados planos e programas
Decreto-Lei n.º 285/2007	Aprovação do regime dos projetos PIN+, estabelecendo regras para a AIA destes projetos e encurtando prazos dos respetivos procedimentos.
Decreto-Lei n.º 316/2007	Alteração do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 380/99, introduzindo alterações decorrentes da transposição da Diretiva 2001/42/CE sobre a avaliação ambiental dos planos e programas
Decreto-Lei n.º 171/2009	Criação do Fundo para a Conservação da Natureza e da Biodiversidade (Revogado pelo Decreto-Lei n.º 42-A/2016, 12 de agosto)
Decreto-Lei n.º 172/2009	Criação do Fundo de Proteção dos Recursos Hídricos (Revogado pelo Decreto-Lei n.º 42-A/2016, 12 de agosto)
Portaria n.º 172/2009	Aprovação do Regulamento dos Centros Integrados de Recuperação, Valorização e Eliminação de Resíduos Perigosos (CIRVER)
Decreto-Lei n.º 195/2009	Estabelecimento do regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos (alterado pelo Decreto-Lei n.º 195/2009)
Decreto-Lei n.º 277/2009	Aprovação da orgânica da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, I.P.
Despacho n.º 9062/2009	Licença à Amb3e – Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (Amb3e)
Portaria n.º 1067/2009	Fixação do valor das tacas a cobrar pela autoridade de AIA no âmbito do procedimento de avaliação de impacte ambiental e procede à sua republicação
Portaria n.º 485/2010	Aprovação do Regulamento de Gestão do Fundo de Intervenção Ambiental
Portaria n.º 487/2010	Aprovação do Regulamento de Gestão do Fundo para a Conservação da Natureza e da Biodiversidade
Despacho n.º 12778/2010 (2ª série)	Criação da Comissão Permanente de Acompanhamento para Responsabilidade Ambiental
Portaria n.º 1202/2010	Estabelecimento dos termos aplicáveis às licenças de utilização privativa do domínio público para a instalação de pontos de carregamento de baterias de veículos elétricos em local público de acesso público
Portaria n.º 26/2011	Aprovação do regulamento de Gestão do Fundo de Eficiência Energética

Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011	Lançamento do Programa de Eficiência Energética na Administração Pública – ECO.AP, de forma a alcançar um aumento da eficiência energética de 20% até 2020.
Decreto-Lei n.º 103/2010	Estabelecimento das normas de qualidade ambiental no domínio da política da água e transpõe a Diretiva n.º 2009/90/CE, 31 de julho; alterado pelo Decreto-Lei n.º 832011 de 20 de junho; revogado e republicado pelo Decreto-lei n.º 218/2015 de 7 de outubro
Decreto-Lei n.º 126/2010	Estabelecimento do regime jurídico das medidas necessárias para garantir o bom estado ambiental do meio marinho até 2020
Despacho n.º 6484/2011	Diretiva Ambiental para a Defesa Nacional
Portaria n.º 8/2012	Aprovação do regulamento de funcionamento da Entidade Coordenadora do Cumprimento dos Critérios de Sustentabilidade (ECS)
Resolução do Conselho de Ministros n.º 74/2012	Lançamento do Programa da Indústria Responsável com vista à melhoria do ambiente de negócios, à redução de custos de contexto e à otimização do enquadramento legal e regulamentar relativo à localização, instalação e exploração da atividade industrial
Decreto-Lei n.º 7/2012	Aprovação da Lei Orgânica do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, e instituição da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.
Decreto-Lei n.º 60/2012	Estabelecimento do regime jurídico da atividade de armazenamento geológico de CO ₂ , alterando os anexos I e II do Decreto-Lei n.º 69/2000
Decreto-Lei n.º 130/2012	Procede à segunda alteração à Lei n.º 58/2005, de 20 de dezembro, que aprova a Lei da Água, transpondo a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. Procede à republicação da Lei n.º 58/2005, 29 de dezembro; alterada pela Lei n.º 44/2017, 19 de junho.
Decreto-Lei n.º 140/2012	Criação do Gabinete de Prevenção e de Investigação de Acidentes Marítimos e aprovação da respetiva estrutura orgânica
Decreto-Lei n.º 201/2012	Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 108/2010, 13 de outubro, que define o regime jurídico das medidas necessárias para garantir o bom estado ambiental do meio marinho até 2020.
Decreto-Lei n.º 92/2013	Definição do regime de exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de captação, tratamento e distribuição de águas para consumo público, de recolha, tratamento e rejeição de efluentes e de recolha e tratamento de resíduos sólidos; revoga o Decreto-Lei n.º 379/93, 5 de novembro; alterado pelo Decreto-Lei n.º 72/2016, 4 de novembro
Decreto-Lei n.º 127/2013	Estabelecimento do regime de emissões industriais aplicável à prevenção e ao controlo integrados da poluição, bem como as regras destinadas a evitar e/ou reduzir as emissões de ar, a água e o solo e a produção de resíduos (IPPC)
Lei n.º 31/2014	Lei de bases gerais da política pública dos solos, de ordenamento do território e de urbanismo
Decreto-Lei n.º 75/2015	Aprovação do Regime de Licenciamento Único de Ambiente, que visa a simplificação dos procedimentos dos regimes de licenciamento ambientais, regulando o procedimento de emissão do título único ambiental (Declaração de Retificação n.º 30/2015, 18 de junho)
Decreto-Lei n.º 150/2015	Estabelecimento do regime de prevenção de acidentes graves que envolvem substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para a saúde humana e para o ambiente. Transposição da Diretiva 2012/18/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias

Portaria n.º 345/2015	Estabelecimento da lista de resíduos com potencial de reciclagem e/ou valorização
Lei n.º 114/2015	Segunda alteração à Lei n.º 50/2006, que aprova a lei-quadro das contraordenações ambientais
Portaria n.º 399/2015	Estabelecimento dos elementos que devem instruir os procedimentos ambientais previstos no regime de Licenciamento Único de Ambiente, para atividades industriais ou similares a industriais, nomeadamente, operações de gestão de resíduos e centrais termoelétricas, exceto centrais solares
Resolução do Conselho de Ministros n.º 56/2015	Aprovação do Quadro Estratégico para a Política Climática, o Programa Nacional para as Alterações Climáticas e a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, determinando os valores da redução das emissões de gases com efeito de estufa para 2020 e 2030 e criação da Comissão Interministerial do Ar e das Alterações Climáticas
Portaria n.º 404-A/2015	Primeira alteração á Portaria n.º 57-B/2015, de 27 de fevereiro, que adota o Regulamento Específico Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos
Resolução da Assembleia da República n.º 102/2016	Recomendação ao Governo que legisle no sentido de permitir que a APA, I.P. possa partilhar com o Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente (SEPNA) atribuições no âmbito dos crimes ambientais
Decreto-Lei n.º 42-A/2016	Criação do Fundo Ambiental, estabelecendo as regras para a respetiva atribuição, gestão, acompanhamento e execução e extingue o Fundo Português de Carbono, o Fundo de Intervenção Ambiental, o Fundo de Proteção dos recursos Hídricos e o Fundo para a Conservação da Natureza e da Biodiversidade (alterado pelo Decreto-Lei n.º 46/2017, 3 de maio)
Decreto-Lei n.º 55/2016	Definição da missão e atribuições da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., nos domínios do litoral, da proteção costeira, das alterações climáticas e da proteção do ar, procedendo à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 56/2012, 12 de março
Resolução da Assembleia da República n.º 208/2016	Por uma política de defesa da natureza ao serviço do povo e do País
Despacho n.º 2568/2017	Criação do Grupo de Trabalho de acompanhamento e monitorização da implementação da Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas 2020
Despacho n.º 3434/2017	Criação de uma rede de investigação em ecossistema de montanha, denominada “Montanhas de Conhecimento. Rede Nacional de Investigação de Montanhas”
Portaria n.º 91/2017	Autorização do Fundo Ambiental para a repartição de encargos relativos à aquisição de serviços para apoio à elaboração do Roteiro Nacional de Baixo Carbono para 2050
Resolução do Conselho de Ministros n.º 100/2017	Aprovação da estratégia Nacional de educação Ambiental.

6.2. Plantas dos setores FQ, CL, CG e AM do laboratório do IVDP

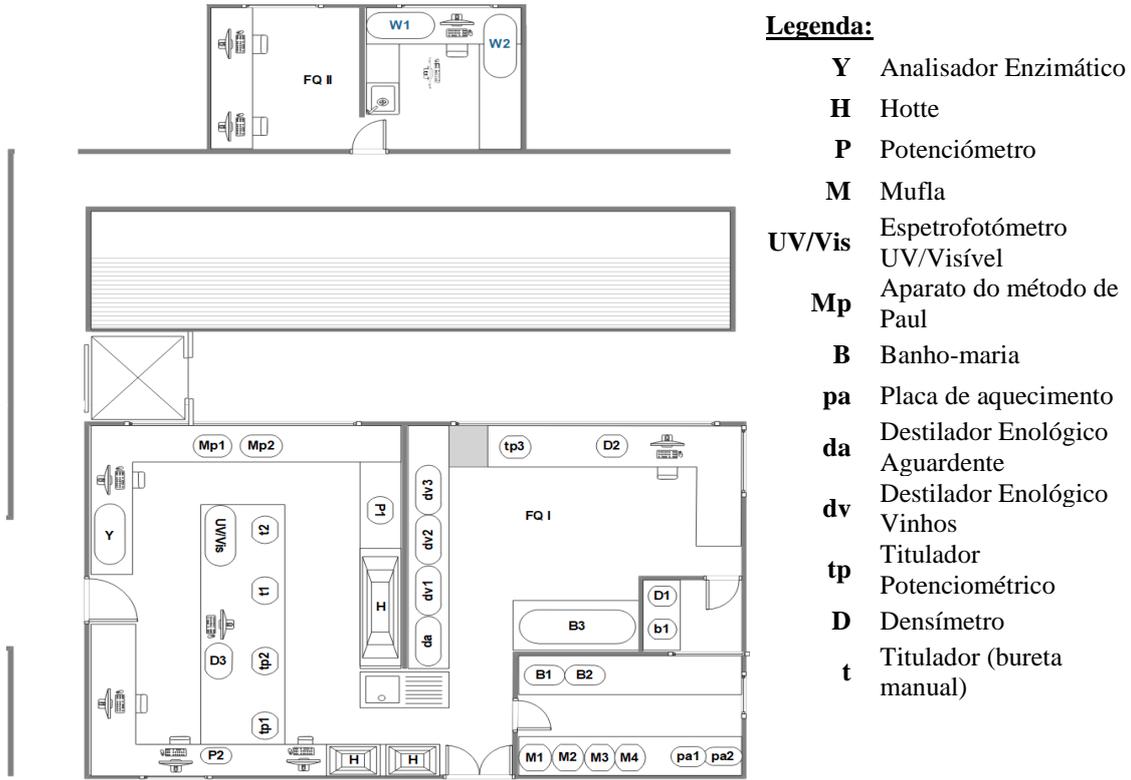


Figura 43: Planta dos dois laboratórios que integram o Setor Físico-Química (FQ I e FQ II).



Figura 44: Planta do Setor Análise Mineral (AMI e AM II).

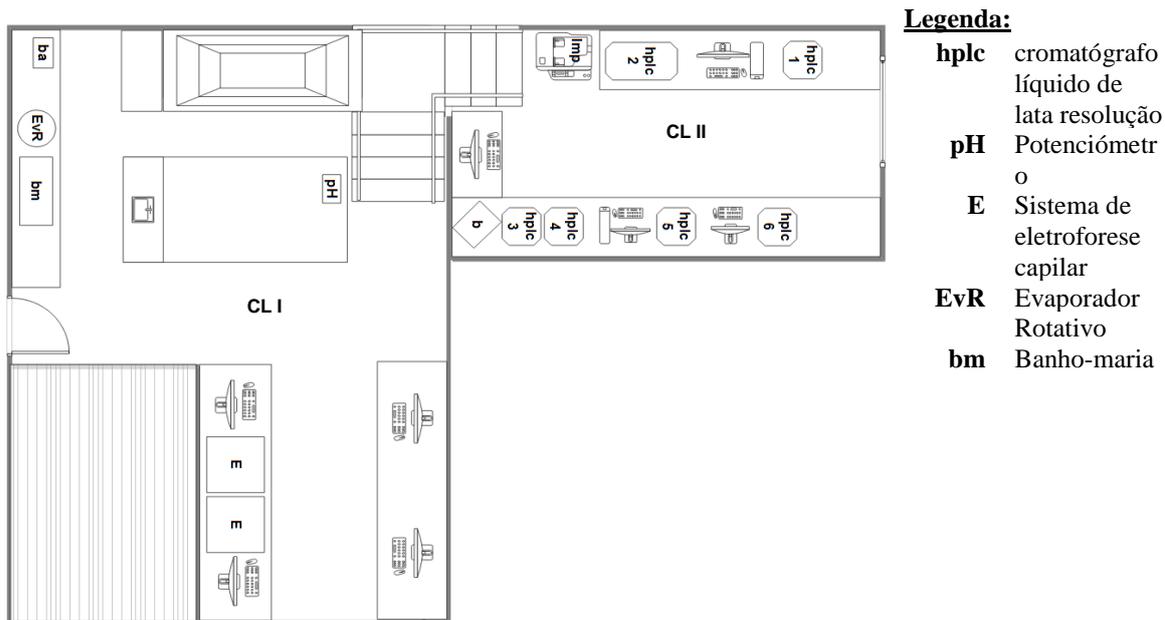


Figura 45: Planta dos laboratórios que integram o Setor Cromatografia Líquida (CL I e CL II).

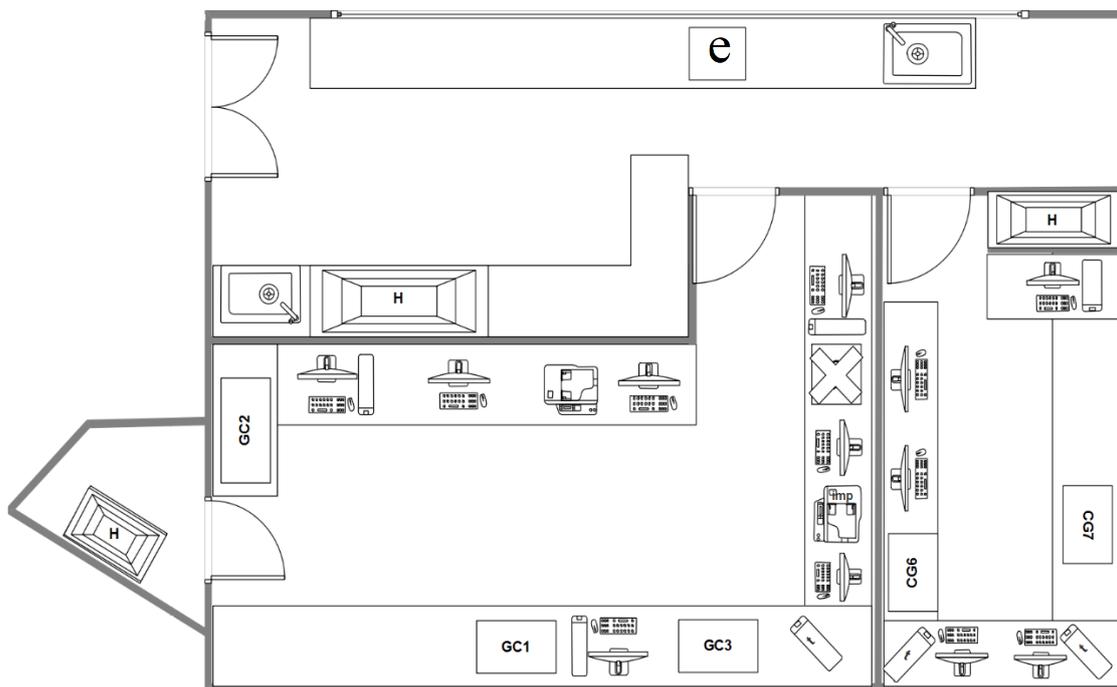


Figura 46: Planta do laboratório do Setor Cromatografia Gasosa.

6.3. Principais parâmetros analisados nos setores do SL do IVDP

Tabela 16: Principais parâmetros analisados no Setor FQ (FQI, FII, ISO).

Cód.	Parâmetro	Método	Análises/Ano*	Setor	Tipo de Amostra
12	Massa Volúmica	MIVDP 62	1070	FQI	Vinho Porto e Douro
22	TAV	MIVDP 61	3465	FQI	Vinho Porto e Douro
61	Acidez Volátil	MIVDP 17	1736	FQI	Vinho Porto e Douro
91	Acidez Total	MIVDP 20	1621	FQI	Vinho Porto e Douro
102	Dióxido de Enxofre Livre	OIV-AS323-04A	144	FQI	Vinho Porto e Douro
112	Dióxido de Enxofre Total		196	FQI	Vinho Porto e Douro
105	Dióxido de Enxofre Livre	MIVDP 76	2895	FQI	Vinho Porto e Douro
115	Dióxido de Enxofre Total	MIVDP 71	4553	FQI	Vinho Porto e Douro
121	Cinza	OIV-AS2-04	103	FQI	Vinho Douro e Porto
131	Alcalinidade da Cinza	OIV-AS2-05	89	FQI	Vinho Douro e Porto
232	Cloretos	MIVDP 32	165	FQI	Vinho Douro e Porto
742	TAV Bruto	OIV-BS-06	200	FQI	Aguardente
1471	Massa Volúmica		123	FQI	Aguardente
751	Acidez Total	OIV-BS-12	151	FQI	Aguardente
901	Acidez Fixa		105	FQI	Aguardente
931	Resíduo	MIVDP 53	122	FQI	Aguardente
1491	TAV Real	R2870/00-IB	111	FQI	Aguardente
1154	Açúcares Totais (G+F)	MIVDP 96	2811	ISO	Vinho Porto e Douro
51	pH	MIVDP 16	1095	FQII	Vinho Porto e Douro
341	Malvidol (pesquisa)	NP2276:1988	1831	FQII	Vinho Porto e Douro
561	Coordenada Cromática L		869	FQII	Vinho Porto
571	Coordenada Cromática a	MIVDP 42	869	FQII	Vinho Porto
581	Coordenada Cromática b		870	FQII	Vinho Porto
591	Percurso Ótico		875	FQII	Vinho Porto
13	Massa Volúmica		5347	FQII	Vinho Porto e Douro
23	TAV		3611	FQII	Vinho Porto e Douro
53	pH		5264	FQII	Vinho Porto e Douro
63	Acidez Volátil		4786	FQII	Vinho Porto e Douro
93	Acidez Total		4669	FQII	Vinho Porto e Douro
123	Cinza		3044	FQII	Vinho Porto e Douro
133	Alcalinidade da cinza		3033	FQII	Vinho Porto e Douro
153	Extrato seco total		855	FQII	Vinho Porto e Douro
163	Açúcares Redutores		3398	FQII	Vinho Porto e Douro
173	Extrato Não Redutor		4545	FQII	Vinho Porto e Douro
223	Sulfatos		4661	FQII	Vinho Porto e Douro
233	Cloretos	MIVDP 65	1762	FQII	Vinho Porto e Douro
243	Glicerol		2200	FQII	Vinho Porto e Douro
253	Índice de Folin		1767	FQII	Vinho Porto
273	Ácido Tartárico		1858	FQII	Vinho Porto e Douro
283	Ácido Málico Total		1357	FQII	Vinho Porto
353	Etanal		1652	FQII	Vinho Porto e Douro
363	Acetato de Etilo		1654	FQII	Vinho Porto e Douro
373	Metanol		2529	FQII	Vinho Porto e Douro
393	1-Propanol		2056	FQII	Vinho Porto e Douro
403	Isobutanol		2058	FQII	Vinho Porto e Douro
443	Álcoois Superiores Totais		2059	FQII	Vinho Porto e Douro
1153	Açúcares Totais (G+F)		2936	FQII	Vinho Porto e Douro

* - este número surge de uma média do número de análises realizadas entre os anos de 2014 e 2016

Tabela 17: Principais parâmetros analisados no setor AM (AMI e AMII).

Cód.	Parâmetro	Método	Análises/Ano*	Setor	Tipo de Amostra
451	Sódio	MIVDP 38	96	AMII	Vinho Porto e Douro
461	Potássio	MIVDP 39	109	AMII	Vinho Porto e Douro
471	Cobre	MIVDP 05	781	AMII	Vinho Porto e Douro
491	Cálcio	MIVDP 04	133	AMII	Vinho Porto e Douro
501	Manganês	MIVDP 07	67	AMII	Vinho Porto e Douro
521	Ferro	MIVDP 06	125	AMII	Vinho Porto e Douro
531	Chumbo	MIVDP 02	661	AMII	Vinho Porto e Douro
541	Cádmio	MIVDP 54	137	AM	Vinho Porto e Douro
				II	
861	Ácido Cianídrico	MIVDP 50	97	AMI	Vinho Porto
981	Cálcio	MIVDP 08	113	AMII	Aguardente
991	Cobre	MIVDP 09	130	AMII	Aguardente
1001	Ferro	MIVDP 10	113	AMII	Aguardente
1051	Manganês	MIVDP 98	74	AMII	Aguardente

* - este número surge de uma média do número de análises realizadas entre 2014 e 2016

Tabela 18: Principais parâmetros analisados no setor CL (CLI e CLII).

Cód.	Parâmetro	Método	Análises/Ano*	LAB.	Tipo de Amostra
211	Hidroximetilfurfural	MIVDP 01	775	CLII	Vinho Porto e Douro
241	Glicerol		170	CLII	Vinho Porto e Douro
1131	Glucose	MIVDP 57	82	CLII	Vinho Porto e Douro
1141	Frutose		83	CLII	Vinho Porto e Douro
1151	Açúcares Totais (G+F)		168	CLII	Vinho Porto e Douro
222	Sulfatos		670	CLI	Vinho Porto e Douro
272	Ácido Tartárico	MIVDP 64	518	CLI	Vinho Porto e Douro
282	Ácido Málico Total		537	CLI	Vinho Porto e Douro
622	Ácido Cítrico		526	CLI	Vinho Porto e Douro
1211	Ocratoxina A	MIVDP 67	130	CLII	Vinho Porto e Douro
292	Ácido Salicílico		465	CLII	Vinho Porto e Douro
302	Ácido Sórbico	MIVDP 73	1447	CLII	Vinho Porto e Douro
652	Ácido Benzóico		468	CLII	Vinho Porto e Douro

* - este número surge de uma média do número de análises realizadas entre 2014 e 2016

Tabela 19: Principais parâmetros analisados no setor CG.

Cód.	Parâmetro	Método	Análises/Ano*	Setor	Tipo de Amostra
351	Etanal		788	CG	Vinho Porto e Douro
361	Acetato de Etilo		780	CG	Vinho Porto e Douro
371	Metanol		818	CG	Vinho Porto e Douro
381	2-Butanol		789	CG	Vinho Porto e Douro
391	1-Propanol		799	CG	Vinho Porto e Douro
401	Isobutanol		799	CG	Vinho Porto e Douro
411	Álcool Alílico		783	CG	Vinho Porto e Douro
421	1-Butanol		785	CG	Vinho Porto e Douro
431	Álcoois Amílicos	MIVDP 55	787	CG	Vinho Porto e Douro
771	Etanal		177	CG	Aguardente/Espirituosas
781	Acetato de Etilo		175	CG	Aguardente/Espirituosas
791	Metanol		176	CG	Aguardente/Espirituosas
801	2-Butanol		176	CG	Aguardente/Espirituosas
811	1-Propanol		176	CG	Aguardente/Espirituosas
821	Isobutanol		176	CG	Aguardente/Espirituosas
831	Álcool Alílico		176	CG	Aguardente/Espirituosas
841	1-Butanol		176	CG	Aguardente/Espirituosas

851	Álcoois Amfílicos		176	CG	Aguardente/Espirituosas
1851	2-metil-1-butanol		124	CG	Aguardente/Espirituosas
1861	3-metil-1-butanol		124	CG	Aguardente/Espirituosas
6611	2-metil-1-butanol		216	CG	Vinho Porto e Douro
6621	3-metil-1-butanol		216	CG	Vinho Porto e Douro
332	Carbamato de etilo	MIVDP 56	132	CG	Aguardente
1221	Carbamato de etilo	MIVDP 68	95	CG	Vinho Porto e Douro
1804	Isobutanol		133	CG	Aguardente
1814	Formiato de etilo		133	CG	Aguardente
1824	Acetal		137	CG	Aguardente
1834	Butirato de etilo		136	CG	Aguardente
1844	Acetato de Isoamilo		125	CG	Aguardente
1874	Caproato de etilo		133	CG	Aguardente
1884	Acetato de hexilo		132	CG	Aguardente
1894	Lactato de etilo		136	CG	Aguardente
1814	cis-3-hexenol	MIVDP 70	135	CG	Aguardente
1924	Caprilato de etilo		136	CG	Aguardente
1944	Benzaldeído		131	CG	Aguardente
1954	Caprato de etilo		136	CG	Aguardente
1964	Succinato de Dietilo		136	CG	Aguardente
1974	Acetato de 2-feniletano		132	CG	Aguardente
1984	Laurato de etilo		136	CG	Aguardente
1994	Álcool Benzílico		131	CG	Aguardente
2004	2-Feniletanol		134	CG	Aguardente

* - este número surge de uma média do número de análises realizadas entre 2014 e 2016

6.4. Lista completa das finalidades dos serviços e produtos analisados pelo SL e SP do IVDP

Tabela 20: Finalidades dos serviços prestados pelo IVDP e a tipologia dos produtos passíveis de serem analisados pelo IVDP.

Finalidades	Produtos	
Registo	Act. Características registo	Vinho Tinto
Renovação de Registo	Consulta Pericial	Vinho Branco
Atribuição Denominação Origem (ADO)	Apreciação Mista	Aguardente
Fiscalização Denominação Origem Completa (FDO)	Controlo Qualitativo	Vinho da Vindima
Assistência Laboratorial	Apreciação Prévia	Outro Produto
Assistência Prova	Aguardente	
Assistência Mista	Capacidade de Venda	Produto Enológico
Registo de Aguardente	Devoluções	Produto Embalagem
Complemento de Registo	ADO-Modificado	Vinho Aromatizado
Ensaio	Assistência-Modificado	Vinho Rosado
Prova de Comparação	FDO SAQ	Álcool
Recurso	FDO Pre	Vinho Licoroso
Desnaturação de Aguardente	Certificados de Existência	Bebida Espirituosa
Apreciação Prévia Reg – Prova	FDO Exportação	Aguardente Vínica
Apreciação Prévia Reg – Lab	Exportação – Trans	AD Vínica DO Douro
	FDO In Engarrafamento	Aguardente Bagaceira
Varejo	Renovação Registo	
	Aguardente	
Cedência	Parecer Técnico	
Prova de Classificação	Auditoria	
Verificação de características	Complemento Exportação	

Fiscalização de Origem	Assistência Exportação
Fiscalização de Investigação	Registo
Processo de Controlo	Renovação de Registo
	Verificação Técnica
	Aguardente

6.5. Fichas MIRR referentes a 2014 e a 2015

Tabela 21: Formulário MIRR dos resíduos do IVDP referentes a 2014.

Código LER	Designação LER	Quantidade resíduos produzidos (Kg)	Destinatário	Operação	Transportador
030101	Resíduos do descasque de madeira e de cortiça	40	*	*	*
140602(*)	Outros solventes e misturas de solventes halogenados	57	Carmona, S.A.	R13	Carmona, S.A.
140603(*)	Outros solventes e misturas de solventes	292	Carmona, S.A.	R13	Carmona, S.A.
150106	Mistura de Embalagens	402	Lipor	R13	Lipor
150107	Embalagens de vidro	12240	Lipor	R13	Lipor
160214	Equipamento fora de uso não abrangido em 160209 e 160213	4000	Gadgetmoments, Lda	R13	Gadgetmoments, Lda
160506(*)	Produtos químicos de laboratório contendo ou compostos por substâncias perigosas, incluindo misturas de produtos químicos de laboratório	9	Carmona, S.A.	D15	Carmona, S.A.
200101	Papel e Cartão	1848	Lipor	R13	Lipor
200399	Resíduos urbanos e equiparados não anteriormente especificados	229	CLEANSTATION, S.A.	R13	CLEANSTATION, S.A.

* Resíduos perigosos

** O IVDP entrega estes resíduos diretamente à Amorim Cork Supply.

Tabela 22: Formulário MIRR dos resíduos do IVDP referentes a 2015.

Código LER	Designação LER	Quantidade resíduos produzidos (Kg)	Destinatário	Operação	Transportador
030101	Resíduos do descasque de madeira e de cortiça	20	**	**	**
140602(*)	Outros solventes e misturas de solventes halogenados	10	Carmona, S.A.	R13	Carmona, S.A.
140603(*)	Outros solventes e misturas de solventes	360	Carmona, S.A.	R13	Carmona, S.A.
150106	Mistura de Embalagens	312	Lipor	R13	Lipor
150107	Embalagens de vidro	21840	Lipor	R13	Lipor
150202(*)	Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas	27	Carmona, S.A.	R13	Carmona
160506(*)	Produtos químicos de laboratório contendo ou compostos por substâncias perigosas, incluindo misturas de produtos químicos de laboratório	73	Carmona, S.A.	D15	Carmona, S.A.
200101	Papel e Cartão	316	Greenpapers, Lda	R13	Greenpapers, Lda
		1456	Lipor	R13	Lipor
200399	Resíduos urbanos e equiparados não anteriormente especificados	230	CLEANSTATION, S.A.	R13	CLEANSTATION, S.A.

* Resíduos perigosos

** O IVDP entrega estes resíduos diretamente à Amorim Cork Supply.

6.6. Avaliação EEA e classificação CV dos métodos analíticos praticados no SL do IVDP

Tabela 23: Pontos de penalização atribuídos a cada um dos métodos dos setores do SL em cada uma das categorias: reagentes/solventes, energia, perigo ocupacional e resíduos, Resultados EEA e respetiva letra e cor da classificação CV.

Métodos	Código do(s) parâmetro(s) analisados	Pontos de Penalização (PPs)				Resultado EEA	Categoria CV
		Reagentes /Solventes	Energia	Perigo Ocupac.	Resíduos		
MIVDP 12	12	8	0	0	8	84	
MIVDP 61	22	8	3	0	8	81	
MIVDP 17	61	17	1	0	8	74	
MIVDP 20	91	2	0	0	8	90	
OIV-AS323-04A	102,112	20	0	3	8	69	
MIVDP 76	105	4	0	0	8	88	
MIVDP 71	115	8	0	0	8	84	
OIV-AS2-04	121	0	4	0	0	96	
OIV-AS2-05	131	6	1	3	8	82	
MIVDP 32	232	19	1	0	8	72	
OIV-BS-06	742, 1471	8	0	0	8	84	
OIV-BS-12	751,901	4	2	0	8	86	

SETOR FÍSICO-QUÍMICA

	MIVDP 53	931	0	1	0	0	99	
	R2870/00-IB	1491	8	3	0	8	81	
	MIVDP 96	1154	0	0	0	6	94	
	MIVDP 16	51	0	0	0	6	94	
	NP 2276:1988	341	30	0	0	6	64	
	MIVDP 42	561, 571, 581, 591	0	0	0	0	100	
	MIVDP 65	Todos os parâmetros do WINESCAN	0	0	0	5	95	
SETOR CROMATOGRAFIA GASOSA	MIVDP 55	351, 361, 371, 381, 391, 401, 411, 421, 6611, 6621, 771, 781, 791, 801, 811, 821, 831, 841, 851, 1851, 1861	0	2	0	4	94	
	MIVDP 56	323	2	2	0	4	92	
	MIVDP 68	1221	6	4	3	5	82	
	MIVDP 70	1804, 1814, 1824, 1834, 1844, 1874, 1884, 1894, 1914, 1924, 1944, 1954, 1964, 1974, 1984, 1994, 2004	0	2	0	4	94	

SETOR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA	MIVDP 01	211	16	1	0	6	77	
	MIVDP 57	192, 241, 1131, 1141, 1151, 1172	12	1	0	6	81	
	MIVDP 64	222, 272, 282, 622, 632, 1352, 1362	3,6	1	0	4	91,4 (91)	
	MIVDP 67	1211	14	1	0	6	79	
	MIVDP 73	292, 302, 652	17	1	0	6	76	
SETOR ANÁLISE MINERAL	MIVDP 38	451	3	1	3	8	85	
	MIVDP 39	461	3	1	3	8	86	
	MIVDP 05	471	2	1	3	8	86	
	MIVDP 04	491	8	1	3	8	80	
	MIVDP 07	501	2	1	3	8	86	
	MIVDP 06	521	4	1	3	8	84	
	MIVDP 02	531	4	2	3	8	83	
	MIVDP 54	541	2	2	3	8	85	
	MIVDP 50	861	12	0	3	7	78	
	MIVDP 08	981	7	2	3	8	80	

MIVDP 09	991	1	2	3	8	86	
MIVDP 10	1001	8	2	3	8	79	
MIVDP 98	1051	0	2	3	8	87	