



Estudo do potencial de valorização de resíduos sólidos numa indústria agroalimentar e Levantamento de consumos energéticos da ETARI em fase de início

ANA RITA MIRANDA AREIAS

novembro de 2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Química

Mestrado em Engenharia Química

Ramo de Qualidade



**Estudo do potencial de valorização de resíduos sólidos
numa indústria agroalimentar**

**Levantamento de consumos energéticos da ETARI em
início de operação**

Ana Rita Miranda Areias

Outubro de 2019

Orientação na Empresa: Dra. Sandra Nogueira

Orientação: Eng. Teresa Sena Esteves

Co-Orientação: Eng. Leonilde Cristina Morais



Agradecimentos

À minha família, pelo apoio incondicional e compreensão ao longo deste percurso, pois sem eles nada disto seria possível.

À minha mãe, uma particular obrigada, pela força que me transmitiu ao longo destes anos, mesmo nos momentos mais difíceis e pelas palavras de conforto mesmo à distância, pois foi o pilar e a minha segurança.

À minha irmã, que ficava horas a fio ao meu lado a tentar ajudar, nem que fosse com um momento de boa disposição ou um “Tu consegues!”.

Aos meus amigos, que me apoiaram e me transmitiram força ao longo deste trabalho e me perdoaram as ausências com compreensão e palavras de incentivo.

À Eng. Teresa Sena Esteves que esteve sempre disponível para ajudar e para arranjar resposta para todas as minhas perguntas.

À Eng. Cristina Morais pelo acompanhamento ao longo deste trabalho.

À direção e equipa técnica da Maçarico S.A e Maçarico II, que me acolheu e permitiu esta dissertação, em especial à Dra. Sandra Nogueira pela orientação e ajuda.

Ao Eng. Armando Silva, pela disponibilidade e ajuda na parte de análise energética.

À equipa técnica dos laboratórios do ISEP, que me ajudou e trabalhou comigo diariamente, em particular à Eng. Aurora Silva, pelas horas de trabalho ao meu lado, sempre com boa disposição.

Aos docentes do departamento de Engenharia química do ISEP, que sempre se mostraram disponíveis para esclarecer qualquer dúvida.

Ao CTGA pela disponibilidade de equipamento de medição e informação.

Sumário

Atualmente a necessidade de uma produção sustentável é uma preocupação com que as indústrias se deparam diariamente, o que leva à exploração de novos caminhos e novas soluções, garantindo que um resíduo é uma oportunidade e que todos os recursos são utilizados da forma mais eficiente possível.

A presente dissertação foi realizada em ambiente industrial, nomeadamente na unidade industrial Maçarico II, e decorreu em regime diurno no período de Fevereiro a Julho de 2019. O trabalho desenvolvido tinha como objetivo o estudo do potencial de valorização de resíduos provenientes da produção e o estudo do consumo energético da ETARI.

Na unidade da Maçarico II, são produzidos produtos como piri-piri, pickles (couve flor, cenoura, pepino, cebolinho e pimento), molhos e condimentos. Deste modo a valorização incidiu sobre os três resíduos existentes em maiores quantidades, como couve-flor fresca (caules e floretes), couve-flor fermentada (migalha e floretes) e cenoura fermentada (topos e pelagem).

A parte relativa à valorização de resíduos consistiu numa caracterização físico-química das três matrizes em análise, de modo a servir de base para a escolha ou rejeição de propostas de valorização.

Na caracterização são apresentados valores para parâmetros como pH, acidez, cloreto de sódio, humidade, cinzas, hidratos de carbono, óleos e gorduras, proteína e fibra bruta, amido, celulose bruta, açúcares totais, compostos fenólicos, fósforo, potássio, ferro, zinco, cobre, manganês, magnésio, cálcio, iodo, flúor, enxofre e pigmentos. Atualmente os resíduos são enviados para compostagem através de um operador de resíduos certificado.

As opções de valorização analisadas foram a alimentação animal em estado puro, a incorporação em rações animais, a produção de fertilizantes, a extração de componentes de elevado valor e a base de produção de biocombustíveis.

Após uma análise dos valores obtidos para os vários parâmetros da caracterização físico-química foi possível verificar que apenas a compostagem de todas as matrizes em análise e a alimentação em estado puro da couve-flor em fresco, são viáveis.

No respeitante ao levantamento de consumos energéticos da ETARI, o processo teve início com o levantamento dos equipamentos em análise, características de fabricante (fator de potência, potência nominal, gama de trabalho), existência de variadores de frequência e caudais tratados diariamente.

De seguida foi feito uma medição de consumo energético, inicialmente com uma pinça amperimétrica que fornecia apenas valores de tensão e corrente, e o fator de potência era o apresentado na chapa do motor e por fim utilizou-se um multímetro que permitia a análise do fator de potência instantâneo.

As medições decorreram num período de dois meses, em que no segundo mês de medições os valores do fator de potência instantâneo foram registados. Os dados obtidos serviram para dar a indicação do consumo total da instalação, do consumo diário, os custos de funcionamento e ainda o consumo e o custo de cada metro cúbico de efluente tratado.

Com a obtenção de consumos energéticos por equipamento, veio a necessidade de verificar o impacto do consumo total da ETARI no consumo geral de energia elétrica da empresa. A instalação tem um consumo total de 56 kW de potência ativa, 45 kVAR de potência reativa e um fator de potência instantâneo médio de 0,658.

Considerando um dia de funcionamento normal, em que todos os equipamentos funcionaram as horas que lhe foram determinadas a ETARI tem um consumo total de 286 kWh de energia ativa, 221 kVARh para a energia reativa consumida fora das horas de vazio e o consumo nas horas de vazio é de 28 kVARh. O custo diário (energia ativa e energia reativa capacitiva) é de 32 €, o que se forem considerados 22 dias de período laboral se traduz em 813 € mensais.

É necessário referir que após a análise dos consumos totais da instalação verificou-se que a ETARI, representa 14% do consumo de energia elétrica total da instalação.

O consumo de energia ativa por cada metro cúbico de efluente tratado é de 2,3 kWh. e o custo na mesma base é de 0,26 €.

No respeitante às opções de melhoria propostas a substituição de motores por outros de eficiência superior não se mostrou viável, pelo menos nesta fase de início de operação.

A instalação de variadores de frequência nos agitadores de funcionamento contínuo demonstrou uma poupança anual de cerca 460 €, por variador, o que acabaria por compensar o investimento efetuado na instalação ao fim de um ano e meio de laboração.

Por fim a instalação de uma bateria de condensadores de modo a compensar o baixo fator de potência da ETARI é viável apenas se o funcionamento da ETARI se mantiver nas mesmas condições apresentadas neste trabalho e se for do interesse da empresa aumentar a eficiência energética da mesma, pois a energia reativa consumida em horas fora de vazio, atualmente não é paga.

Palavras-Chave: Resíduos sólidos, Caracterização, Avaliação, Valorização, Energia, Consumo, Custo e Optimização

Abstract

Nowadays the need for sustainable production is a concern that industries deal with daily, which leads to a search of new ways and new solutions, ensuring that a waste is an opportunity and all resources are used as efficiently as possible.

This dissertation was carried out in an industrial environment, namely Macarico II industrial unit, and was carried out during the day from February to July 2019. The objective of this work was to study the potential for recovery of solid waste from production and study the consumption of energy from the ETARI.

The Maçarico II unit, produce products such piri-piri, pickles (cauliflower, carrots, cucumbers, chives and peppers), sauces and condiments. In this way the evaluation focused on the three existing residues in larger quantities, such as fresh cauliflower (stems and rapiers), fermented cauliflower (crumb and rapiers), and fermented carrot (tops and fur).

The part of studying ways to recovery waste consisted of a physico-chemical characterization of the three products under analysis in order to serve as a basis for choosing or rejecting recovery proposals.

Values from laboratory parameters such as pH, acidity, sodium chloride, moisture, ashes, carbohydrates, oils and fats, crude protein and fiber, starch, crude cellulose, total sugars, phenolic compounds, phosphorus, potassium, iron, zinc, copper, manganese, magnesium, calcium, iodine, fluorine, sulfur and pigments. Waste is currently sent to compost through a certified waste operator.

The valorization options analyzed were pure animal feed, incorporation in animal feed, fertilizer production, extraction of high value components and biofuel production base.

After the analysis from the various parameters of the physico-chemical characterization, it was possible to verify that only the composting of all the products under analysis and the fresh cauliflower feed are practicable.

Regarding from the study energy consumption from the ETARI, the process began with the search of the equipment under analysis, manufacturer characteristics (power factor, rated power, working range), existence of frequency inverters and daily treated flows.

Next, an energy consumption measurement was made, initially with an amperemeter clamp that provided only voltage and current values, and the power factor was that presented on the motor plate and finally a multimeter was used that allowed the analysis from the instantaneous factor power

The measurements took place over a two-month period, but in the second month of measurements (July) the instantaneous power factor values were recorded. The data obtained served to indicate the total consumption of the installation, daily consumption, operating costs and the consumption and cost of each cubic meter from treated effluent.

With the obtaining of the energy consumption by equipment, came the need to verify the impact of total consumption from the ETARI on the company's overall consumption of electricity. The facility has a total active power consumption of 56 kW, 45 kVAr of reactive power and an average instantaneous power factor of 0.658.

Considering a normal day of operation, when all the equipment has operated at its ETARI hours, it has a total consumption of 286 kWh of active energy, 221 kVArh for reactive energy consumed outside of empty hours and consumption in empty hours was 28 kVArh. The daily cost (active energy and capacitive reactive energy) is 32 €, which if 22 working days are considered translates to 813 € for month.

The active energy consumption for each cubic meter of treated effluent is 2.32 kWh. and the cost on the same basis is 0.26 €.

As regards the proposed upgrade options, replacing engines with higher efficiency engines was not practicable, at least at this early stage.

The installation of frequency inverters in the continuously operating agitators showed an annual saving of around 460 € for each inverter, which would compensate for the investment made in the installation in less than one year and half of operation.

Finally, the installation of a battery capacitor to compensate for the low power factor of the ETARI is only feasible if the operation of the ETARI is maintained under the same conditions presented in this paper and if it, is in the company's interest to increase its energy efficiency. because the reactive energy consumed in off-hours is not currently paid.

Keyword: Solid waste, Characterization, Evaluation, Valorization, Energy, Consumption, Cost and Optimization

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	3
1.2	Tema e objetivos.....	3
1.3	A Empresa	4
1.4	Organização do relatório	5
2.	Estudo do potencial de revalorização de resíduos sólidos	7
2.1	Introdução.....	9
2.2	A fábrica e respetiva produção	10
2.2.1	Processo e resíduos gerados	11
2.2.2	Seleção dos resíduos a valorizar.....	13
2.3	Caracterização dos Resíduos Seleccionados e Estudo do Potencial de Valorização	15
2.3.1	Caracterização aplicável.....	16
2.3.2	Amostragem (Recolha e Acondicionamento).....	17
2.3.3	Opções de valorização	17
2.4	Parâmetros Analisados	21
2.5	Resultados, Discussão e Propostas de Valorização.....	33
2.5.1	Resultados laboratoriais.....	33
2.5.2	Comparação entre resultados obtidos e dados bibliográficos.....	47
2.5.3	Viabilidade das opções de valorização	50
2.5.3.1	Alimentação animal em fresco ou por incorporação em ração da couve flor em fresco.....	50
2.5.3.2	Incorporação em ração animal da cenoura e couve-flor fermentadas	52
2.5.3.3	Fertilizante.....	54
2.5.3.4	Extração de compostos de elevado valor	55
2.5.3.5	Biocombustíveis.....	56

3.	Levantamento de Consumos Energéticos da ETARI.....	57
3.1	Introdução.....	59
3.2	Energia.....	59
3.2.1	Consumos Energéticos em Portugal.....	59
3.2.2	Auditorias Energéticas.....	61
3.2.3	Energia Ativa, Energia Reativa e Energia Aparente	63
3.2.4	Sistemas Trifásicos e Monofásicos	64
3.2.5	Formas de medição e processos de cálculo utilizados.....	67
3.2.6	Opções de melhoria de consumos de equipamento	70
3.3	A ETARI	72
3.3.1	A ETARI e respetivos equipamentos consumidores de energia elétrica....	73
3.3.2	Localização e caracterização dos equipamentos consumidores de energia elétrica...76	
3.4	Resultados, Discussão e Propostas de Valorização	78
3.4.1	Consumos de potência ativa e potência reativa	78
3.4.2	Custos	86
3.4.3	Consumos específicos	90
3.4.4	Avaliação das propostas de melhoria	90
3.4.4.1	Variadores de Frequência.....	91
3.4.4.2	Troca de Motor.....	92
3.4.4.3	Bateria de Condensadores	92
4.	Conclusões Gerais e Sugestões de Trabalhos Futuros	95
	Bibliografia.....	99
	Anexo	107
	A. Revalorização de resíduos sólidos	109
	A.1. Material e Métodos	109

A.2. Protocolos Experimentais	112
A.3. Tratamento de Dados	122
B. Estudo da eficiência energética da ETARI	160
B.1. Resumo equipamentos por localização, potência nominal e frequência de trabalho	160
B.2. Medições	165
B.3. Cálculos de Consumos Energéticos	182
B.4. Dados adicionais	189
B.5. Cálculos dos Custos de Energia	195
B.6. Auxiliares Para a Optimização da Eficiência Energética	205
C. Glossário	206

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Composição da couve-flor e cenoura em fresco, adaptado de INSA [8], passando de % em base húmida para % em base seca.	15
Tabela 2.2 - Comparação de valores de pH, obtidos por métodos diferentes e com diferentes graus de moagem.	35
Tabela 2.3 - Resultados obtidos na análise dos valores de pH, acidez, sal, humidade, cinzas e respetivos desvios padrão para a cenoura fermentada e couve-flor fermentada e fresca.....	37
Tabela 2.4 - Resultados obtidos nas análises de óleos e gorduras (lípidos), proteína bruta, fibra bruta, compostos fenólicos, antioxidantes e pigmentos para a cenoura fermentada e couve-flor fermentada e fresca.	39
Tabela 2.5 - Curvas de calibração, LD, LQ e quantidades obtidas de fósforo, ferro, cobre, magnésio, zinco, manganês, cálcio, potássio, iodo, flúor, enxofre, para a cenoura fermentada e couve-flor fermentada e fresca.	42
Tabela 2.6 - Resultados obtidos para o amido, a celulose bruta e o teor em açúcares, para a couve-flor em fresco.	47
Tabela 2.7 - Comparação entre valores retirados da bibliografia para a couve-flor em fresco e os determinados experimentalmente, nas matrizes de couve-flor em fresco e fermentada.	48
Tabela 2.8 - Comparação entre valores retirados da bibliografia para a cenoura em fresco e os determinados experimentalmente para a cenoura fermentada.	49
Tabela 2.9 - Composição geral obtida em laboratório para a couve-flor em fresco.....	51
Tabela 2.10 - Composição geral da cenoura e da couve-flor fermentadas.....	53
Tabela 3.1 - Equipamentos com variador e gamas de frequência de trabalho.	81
Tabela 3.2 - Poupança diária adquirida com a instalação de variadores.	91
Tabela 3.3 - Características de consumo diário da ETARI.	93
Tabela 3.4 - Potência da bateria de condensadores em função do fator de potência pretendido.....	94
Tabela A.1 - Listagem de equipamentos e especificações dos mesmos.....	109

Tabela A.2 - Quadro resumo dos métodos de análise.	110
Tabela A.3 - Valores de pH obtidos pela medição em solução aquosa com 20 minutos de agitação contínua.	122
Tabela A.4 - Valores obtidos em três medições consecutivas do valor de pH e respetivo valor médio.	123
Tabela A.5 - Valores de pesagens intermédias e resultados obtidos.	125
Tabela A.6 - Resultados obtidos na análise do valor da acidez na amostra de couve-flor em fresco.	126
Tabela A.7 - Resultados obtidos na análise da % de acidez na cenoura e couve-flor fermentadas.	127
Tabela A.8 - Resultados obtidos na determinação do cloreto de sódio nas amostras. .	128
Tabela A.9 - Valores obtidos na determinação da % de óleos e gorduras.	129
Tabela A.10 - Resultados obtidos ao longo da determinação da % de proteína bruta nas três amostras.	130
Tabela A.11 - Valores obtidos em pesagens intermédias e resultados finais na determinação da % de fibra bruta.	131
Tabela A.12 - Resultados obtidos na determinação de pigmentos para as três matrizes em análise.	133
Tabela A.13 - Valores utilizados na construção da curva de calibração dos compostos fenólicos.	134
Tabela A.14 - Valores de absorvância obtidos para diferentes amostras.	135
Tabela A.15 - Resultados obtidos na determinação da concentração de compostos fenólicos.	135
Tabela A.16 - Valores de concentração e absorvância utilizados na construção da curva de calibração na determinação da concentração de fósforo.	136
Tabela A.17 - Absorvâncias obtidas para as diferentes amostras na determinação da concentração de fósforo.	137
Tabela A.18 - Resultados obtidos na determinação da concentração de fósforo e respetivos valores de <i>LD</i> e <i>LQ</i>	137

Tabela A.19 - Concentrações e absorvâncias utilizadas na construção da curva de calibração do ferro.....	138
Tabela A.20 - Valores de absorvância obtidos para as três amostras na determinação da concentração do elemento ferro.....	138
Tabela A.21 - Valores de concentração de ferro e respectivos valores de <i>LD</i> e <i>LQ</i>	139
Tabela A.22 - Concentrações e absorvâncias utilizados na curva de calibração do cobre.	140
Tabela A.23 - Absorvâncias obtidas para as três amostras.....	140
Tabela A.24 - Limites de detecção e quantificação e concentrações do elemento cobre nas três amostras em análise.	141
Tabela A.25 - Concentração e absorvâncias utilizadas na curva de calibração do elemento magnésio.....	142
Tabela A.26 - Absorvâncias, diluições e fator de diluição, lidas e utilizados nas amostras para a determinação da concentração de magnésio.	143
Tabela A.27 - Concentração de magnésio nas amostras e limites de detecção e quantificação.....	143
Tabela A.28 - Dados utilizados na construção da curva de calibração do zinco.....	144
Tabela A.29-Absorvâncias lidas para as amostras na determinação da concentração de zinco.	144
Tabela A.30 - Concentrações de zinco nas amostras e respectivos <i>LD</i> e <i>LQ</i>	145
Tabela A.31 - Concentrações e Absorvâncias utilizadas na curva de calibração do manganês.	145
Tabela A.32 - Determinação da concentração de manganês, absorvâncias lidas nas amostras.	146
Tabela A.33 - Concentrações e limites de detecção e quantificação para o manganês..	146
Tabela A.34 - Dados utilizados na construção da curva de calibração do cálcio.....	147
Tabela A.35 - Absorvâncias, diluições e fator de diluição, lidas e utilizados nas amostras para a determinação da concentração de cálcio.....	148
Tabela A.36 - Resultados de concentração de cálcio e respectivos <i>LD</i> e <i>LQ</i>	149

Tabela A.37 - Concentrações e absorvâncias das soluções padrão de potássio utilizadas na curva de calibração.	149
Tabela A.38-Absorvâncias, diluições e fator de diluição, lidas e utilizados nas amostras para a determinação da concentração de potássio.	150
Tabela A.39-Limite de detecção e quantificação e concentrações de potássio obtidas nas amostras.	151
Tabela A.40 - Resultados obtidos por leitura no polarímetro e respetivo resultado em % de amido.	152
Tabela A.41 - Resultados da determinação da % de celulose bruta.	152
Tabela A.42-Valores da diferença de volumes de tiosulfato de sódio 0,1N, para a determinação da massa de açúcar.	153
Tabela A.43 -Percentagem de açúcares existentes na amostra de couve-flor fresca....	154
Tabela A.44 - Resultados obtidos em % Base Húmida, para os parâmetros analisados, nas três matrizes.	155
Tabela A.45 - Resultados obtidos em % Base Seca, para todos os parâmetros analisados, nas três matrizes.....	159
Tabela B.1 - Localização, sub-localização e orientação no quadro elétrico geral da ETARI.	160
Tabela B.2 - Características das chapas dos motores dos equipamentos em análise. ..	162
Tabela B.3 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 04/06/2019.	165
Tabela B.4 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 06/06/2019.	166
Tabela B.5 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 11/06/2019.	167
Tabela B.6 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 13/06/2019.	168
Tabela B.7 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 17/06/2019.	169

Tabela B.8 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 19/06/2019.	170
Tabela B.9 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 25/06/2019.	171
Tabela B.10 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 27/06/2019.	172
Tabela B.11 - Resultados obtidos na medição de tensão e corrente com o equipamento FLUKE 323, para tensões compostas, no dia 03/06/2019.....	173
Tabela B.12 - Resultados obtidos nas medições de dia 09/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.....	175
Tabela B.13 - Resultados obtidos nas medições de dia 12/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.....	176
Tabela B.14 - Resultados obtidos nas medições de dia 19/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.....	178
Tabela B.15 - Resultados obtidos nas medições de dia 26/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.....	180
Tabela B.16 - Dados para o cálculo do consumo energético da BSC1, em tensão simples.	182
Tabela B.17 - Dados para o cálculo do consumo energético da BSC1, em tensão composta.....	183
Tabela B.18 - Consumos obtidos, nas medições com pinça amperimétrica, FLUKE, 323, relativas ao mês de JUNHO.....	184
Tabela B.19 - Consumos obtidos pela medição com multímetro UNI-T, UT-232, relativos ao mês de JULHO.	187
Tabela B.20 - Fatura da eletricidade referente ao mês de Maio, da distribuidora ENDESA [1].	189
Tabela B.21 - Ciclo semanal aplicado a todos os fornecimentos energéticos em Portugal Continental, decretado pela ERSE, para o ano 2019 [60].	190
Tabela B.22 - Taxas aplicadas a distribuição em média tensão, decretado pela ERSE, para o ano de 2019 [61].	190

Tabela B.23 - Resumo de tarifas aplicadas para a distribuição em média tensão, pela distribuidora energética ENDESA, com as taxas de acesso à rede para o período de hora legal de Verão.	191
Tabela B.24 - Valores médios de horas de funcionamento por equipamento e horas de funcionamento por período horário.	192
Tabela B.25 - Caudais por etapa de tratamento e caudal tratado diariamente.....	195
Tabela B.26 - Consumos diários e mensais de energia ATIVA em kWh, relativos ao mês de JULHO, para o período horário legal de Verão.....	196
Tabela B.27 - Consumos diários e mensais de energia REATIVA em kVArh, relativos ao mês de JULHO, para o período horário legal de Verão.	198
Tabela B.28 - Valores totais de consumos diários e mensais em kWh e kVArh.	200
Tabela B.29 - Custos diários e mensais de energia ativa e energia reativa capacitiva fornecida no período de vazio, no período horário legal de Verão.	202
Tabela B.30 - Resumo de consumos e custos, diários e mensais.	202
Tabela B.31 - Custo mensal de cada equipamento e de cada etapa de tratamento.....	203
Tabela B.32 - Resumo de custos por etapa de tratamento e custos totais.	204
Tabela B.33 - Seleção do coeficiente de potência de uma bateria de condensadores [62].	205

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Percentagem de tipo de resíduos no sector alimentar a nível mundial [2]. ..	9
Figura 2.2 - Percentagem de resíduos hortícolas gerados em 2018 na unidade industrial da Maçarico S.A [1].....	13
Figura 2.3 - Varrimento em Ar e Hélio para a cenoura fermentada.	44
Figura 2.4 - Varrimento em Ar e Hélio para a couve-flor fermentada.	45
Figura 2.5 - Varrimento em Ar e Hélio para a couve-flor fresca.	46
Figura 3.1 - Consumo de energia elétrica por tipo de consumidor, em Portugal [45]. ..	60
Figura 3.2 - Consumo de energia elétrica por sectores, em Portugal [45].	60
Figura 3.3 - Triângulo das potências [50].....	63
Figura 3.4 - Representação esquemática da ligação trifásica em estrela (Y) [51].....	66
Figura 3.5 - Representação esquemática da ligação trifásica em triângulo (Δ) [51].	67
Figura 3.6 - Esquema representativo de leitura em tensões simples e em tensões compostas [51].....	68
Figura 3.7 - Esquema representativo do processo da ETARI.	75
Figura 3.8 - Esquema da localização e siglas dos equipamentos.	77
Figura 3.9 - Percentagem de Potência Ativa gasta por etapa de tratamento.	80
Figura 3.10 - Comparação entre potência ativa e potência nominal.	82
Figura 3.11 - Comparação entre fator de potência característico e instantâneo.	84
Figura 3.12 - Consumo de Energia Ativa mensal global da empresa, relativo ao mês de Maio.....	87
Figura 3.13 - Consumo de Energia Ativa mensal global da ETARI.	88
Figura 3.14 - Consumo de Energia Reativa mensal global da ETARI.....	88
Figura 3.15 - Custo mensal por etapa de tratamento.	89
Figura A.1 - Curva de calibração, Concentração de ácido gálico (mg/L) vs Absorbância (nm).	134
Figura A.2 - Curva de calibração para a determinação de fósforo.	136

Figura A.3 - Curva de calibração para a determinação do elemento ferro.....	138
Figura A.4 - Curva de calibração do elemento cobre.....	140
Figura A.5 - Curva de calibração do magnésio.	142
Figura A.6-Curva de calibração do zinco.....	144
Figura A.7 - Curva de calibração do manganês.....	146
Figura A.8 - Curva de calibração do cálcio.....	148
Figura A.9-Curva de calibração do potássio.	150
Figura A.10 - Tabela de conversão de volume gasto de tiosulfato de sódio 0,1N em açúcar [40].....	153
Figura B.1 - Esquema auxiliar na escolha do tipo de compensação [62].....	205

Siglas Gerais

BTE - Baixa Tensão Especial

BTN - Baixa Tensão Normal

CTGA - Centro Tecnológico de Gestão Ambiental

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energético

ET - Elevada Tensão

ETARI - Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais

FAO- The Food and Agriculture Organization

FP - Fator de potência

INSA - Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge

LD - Limite de Detecção

LQ - Limite de Quantificação

MT - Média Tensão

TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo

Siglas de Equipamentos da ETARI

AS- Agitador Submersível

AV- Agitador Vertical

BD- Bomba Doseadora

BL- Bomba de lavagem

BP- Bomba Parafuso

BR- Bomba de Recirculação

BS- Bomba Submersível

CM- Centrifuga Motor

Cx- Compressor

PL- Parafuso de Lamas

R- Raspador

S- Sobrepressor

UMP- Unidade de Mistura de Polímero

1. Introdução

1.1 Enquadramento

O presente trabalho foi realizado no âmbito da disciplina Dissertação, do segundo ano do Mestrado em Engenharia Química, do ramo de Qualidade, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Foi desenvolvido na unidade de produção industrial Maçarico II – Conservas Alimentares, Lda. localizada na zona industrial de Cantanhede, distrito de Coimbra, no Departamento de Ambiente.

Consciente da importância da preservação do Meio Ambiente e da sua responsabilidade nesta área, a Maçarico define a sua Política Ambiental como ponto de partida para uma atuação que tende para a melhoria contínua do seu desempenho competitivo e funcional, transmitindo assim, um sinal claro de mudança a todas as partes interessadas da organização. Deste modo assume o compromisso de estabelecer e rever periodicamente os princípios, os objetivos e as metas, tendo em conta os processos e os impactos significativos de modo a garantir um desenvolvimento sustentável, a prevenção da poluição, a minimização do consumo de matérias-primas, água, energia elétrica e combustíveis, promovendo sempre que possível a sua redução, reutilização e/ou reciclagem e por fim a diminuição da produção de efluentes e resíduos sólidos, através da redução do seu volume e recuperação de materiais secundários.

1.2 Tema e objetivos

A presente dissertação incidiu sobre dois temas. O primeiro tema recaiu sobre a revalorização de resíduos sólidos provenientes do processo produtivo com vista à diminuição do impacto económico que o seu tratamento representa para a empresa e na tentativa de torná-los num subproduto ou num produto de valor acrescentado. O segundo tema consistiu num estudo sobre os consumos energéticos da ETARI, onde foram analisados consumos de energia elétrica dos equipamentos e medidas de minimização dos mesmos.

Para a avaliação do potencial de valorização de resíduos sólidos orgânicos resultantes do processo produtivo, tem-se: caules, folhas, pele (como, por exemplo, no caso da cenoura) e desperdícios de corte de produtos hortícolas, que foram submetidos a análises físico-químicas com vista a avaliar oportunidades de valorização. Atualmente,

estes resíduos são enviados para compostagem, através de um operador de resíduos licenciado para o efeito.

No estudo sobre a otimização do consumo energético da ETARI, pretende-se analisar os principais equipamentos consumidores de energia, recolher e tratar os dados, com o apoio da empresa CTGA (Centro Tecnológico de Gestão Ambiental, Lda), responsável pelo projeto e construção da ETARI.

1.3 A Empresa

A primeira empresa Maçarico iniciou a sua atividade em 1930, na Praia de Mira, com Domingos Ribeiro Maçarico, como um pequeno negócio de azeitona de mesa. Em 1960, começou a exportar para o Brasil, sendo que em 1967 introduziu o processo inovador, de oxidação da azeitona, pioneiro a nível nacional. Em 1970, deu um grande passo para a internacionalização dos seus produtos, nomeadamente em França. Em 1978, ampliou a sua gama de produtos, passando a produzir pickles (conservas em ácido acético de couve-flor, cenoura, pepino, pimento e cebolinha), tremoços, mostarda e um dos seus produtos mais populares, o molho de piri-piri.

Com a entrada no novo século, no ano 2000, a empresa sofreu uma ampliação e reconversão das suas instalações fabris, tendo aproveitado a oportunidade para iniciar o processo de garantia da segurança e qualidade perante os seus consumidores. Deste modo em 2010, a Maçarico adota o modelo de gestão de segurança alimentar estabelecido pela norma ISO 22000. Em 2013, deu mais um passo para a melhoria do Sistema de Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar através da certificação pela norma IFS Food, que garante uma melhoria da eficiência operacional dos seus processos e qualidade dos seus produtos e serviços, permitindo assim a entrada em novos mercados.

Mais recentemente, com o objetivo de aumentar a sua capacidade de produção e alargar a gama de produtos (nomeadamente produção de molho de francesinha, massa/pasta de alho, molho de carne, entre outros) e inovação/automatização de processos, a MAÇARICO investiu na construção de uma nova unidade industrial, a Maçarico II - Conservas Alimentares, Lda., que iniciou a sua atividade fabril em Agosto de 2018, na Zona Industrial de Cantanhede [1].

1.4 Organização do relatório

O presente relatório está dividido em quatro capítulos, constando no primeiro uma introdução geral, com o propósito de enquadrar o tema e apresentar a empresa.

No capítulo dois, apresenta-se o primeiro tema, a revalorização de resíduos sólidos, com uma pequena introdução sobre o tema, a apresentação do processo, a proveniência de amostras, a justificação da escolha do resíduo, a caracterização aplicada e por fim os resultados e as propostas de valorização.

O capítulo três diz respeito ao segundo tema abordado, o estudo de consumos energéticos da ETARI, com uma introdução do estado da arte, os equipamentos, o esquema do processo de tratamento, a análise e o tratamento de dados e por fim as propostas de melhoria da eficiência energética.

Este relatório contém ainda um quarto capítulo conclusivo, respeitante aos dois temas, com as conclusões gerais e propostas de trabalho futuro.

2. Estudo do potencial de revalorização de resíduos sólidos

2.1 Introdução

A gestão e reciclagem de resíduos sólidos é uma questão problemática para sistemas de gestão ambientais de pequenas/grandes cidades e países em desenvolvimento, a crescente produção, gera necessidade de escoamento e tratamento dos resíduos gerados, o que leva a elevados custos de eliminação dos mesmos, aumentando assim uma sobrecarga monetária exercida pelo país.

A nível mundial a produção de resíduos, no sector alimentar e agroalimentar estão distribuídos como se mostra na figura 2.1.

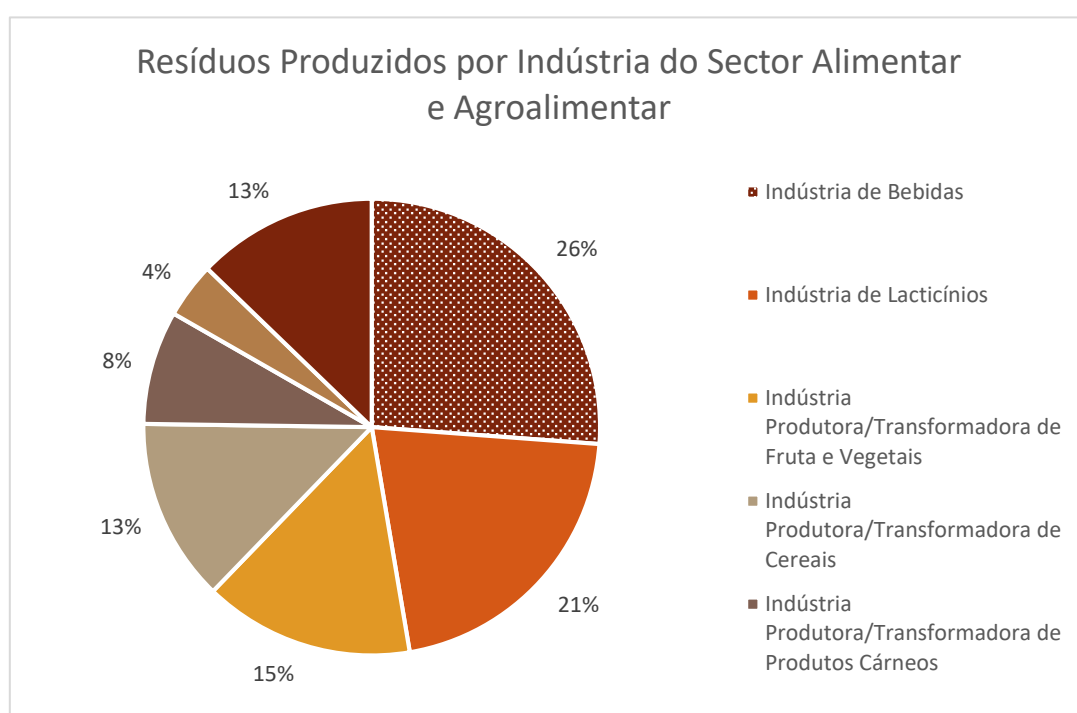


Figura 2.1 - Percentagem de tipo de resíduos no sector alimentar a nível mundial [2].

A indústria de bebidas, a de laticínios e a transformadora de fruta e vegetais aglomeram os três primeiros lugares de maiores produtores de resíduos. Mencionando também que o processamento e conservação destes alimentos gera uma quantidade de resíduo correspondente a 0,4% do volume total [2].

Deste modo os resíduos agroindustriais atingem 1,3 biliões de toneladas por ano, dando conta que, 1/3 dos alimentos potencialmente destinados ao consumo humano são

desperdiçados, seja como resíduos oriundos do processamento ou como perda na cadeia produtiva [3].

Os dados da FAO indicam que nos países em desenvolvimento, a comida está mais sujeita a perda durante a colheita, armazenamento e transporte, enquanto nos países desenvolvidos, o desperdício verifica-se a nível do comércio e do consumo. Conjugados, produzem um impacto direto no número de calorias e nutrientes que estão realmente disponíveis para consumo quer humano quer animal [4].

De acordo com o estudo da FAO, 54% do desperdício alimentar no mundo ocorre na fase inicial da produção, manipulação pós-colheita e armazenagem. Os restantes 46 % ocorrem nas etapas de processamento, distribuição e consumo.

Qualquer que seja a origem dos resíduos, estes são caracterizados por terem elevado teor em humidade, alta instabilidade microbiológica e elevada carga orgânica.

As práticas de disposição inadequadas deste tipo específico de resíduos resultam em danos para o meio ambiente e população, tais como aumento da toxicidade em cursos de água, poluição da superfície e águas subterrâneas, alteração da qualidade do solo, fitotoxicidade, alteração da cor natural e odor das águas. Por esta razão, os requisitos legislativos a nível mundial para o manuseio e disposição de resíduos sólidos, tornaram-se cada vez mais restritivas.

Segundo a direção de gestão de resíduos da União Europeia a melhor opção passa pela prevenção de resíduos, enquanto a melhor opção de reciclagem/reutilização reside na recuperação de energia ou materiais [5].

2.2 A fábrica e respetiva produção

Tendo em conta os produtos comercializados pela Maçarico II, a escolha dos resíduos incidirá na produção de pickles, essencialmente nas matérias-primas em bruto (antes da fermentação) e nos produtos finais (fermentados), pois para molhos e condimentos (matérias primas em bruto como o pimento) os processos são essencialmente de trituração e geram poucos resíduos sólidos.

A Maçarico privilegia a compra de matérias-primas nacionais e se possível, locais. Tratando-se de produtos frescos e naturais a sua colheita é sazonal, ou seja, têm picos de existência em determinadas alturas do ano, e nos restantes momentos pode não existir

disponibilidade de tanta matéria-prima. Os produtos hortícolas como a couve-flor, a cenoura e os pimentos são provenientes de produção agrícola nacional. A compra de piri-piri é essencialmente nacional, pois resulta de um incentivo de produção nacional e quando possível local.

Existem matérias-primas como o pepino e a cebolinha que são exclusivamente importados de mercados externos, em estado de conserva, sendo posteriormente processados e transformados, de modo a obter o produto final desejado. A sua compra passa por um processo criterioso de seleção de fornecedores, iniciando-se pela análise de mercados, passando pelo pedido e análise de amostras e finalmente a encomenda.

Cada remessa de matéria-prima rececionada é ainda controlada e sujeita a um período de reclamação ou devolução, caso não esteja conforme as especificações estabelecidas.

2.2.1 Processo e resíduos gerados

Analisando individualmente o processamento de cada um dos produtos hortícolas, de acordo com os novos processos implementados na Maçarico II, tem-se que:

- A Couve-flor é submetida a lavagem prévia para eliminação de areias e lamas, seguida de corte grosseiro para separação dos caules e eventuais folhas. De salientar que foi neste ponto que se efetuou a recolha de amostras de couve-flor em fresco para posterior caracterização físico-química. Após uma segunda lavagem para eliminação de resíduos remanescentes, é bombeada para depósitos, onde decorre a sua fermentação durante 6 meses a 1 ano. Aquando do consumo, é submetida a um processo de cura, com o aumento da concentração de sal no mesmo depósito, seguindo para a dessalga com posterior escolha em tapete (deste ponto advém resíduos como floretes e migalha). Por fim segue para linha de embalamento.

No processo de acondicionamento e corte da couve-flor ocorreu uma alteração da Maçarico S.A, para a Maçarico II, pois na primeira a couve era rececionada, lavada e transferida para os tanques de fermentação, inteira, o corte era feito após fermentação e cura, em que os resíduos gerados eram caules, floretes e migalha. Já na segunda unidade fabril o corte é feito em fresco, seguindo para tanque através de tubagens, assim os resíduos em fermentado são essencialmente floretes e migalha.

Dado que no momento de recolha de amostras para caracterização físico-química, a couve-flor fermentada na unidade Maçarico II ainda não se encontrava em condições de consumo, recolheu-se as amostras provenientes de corte manual na unidade Maçarico S.A, com a salvaguarda de recolher apenas a migalha e os floretes pois serão os resíduos fermentados de couve-flor provenientes do novo processo da Maçarico II.

- O Piri-piri, após lavagem preliminar para eliminar areias e insetos, é submetido a escolha grosseira para separar frutos com podridão e eventuais folhas. Seguidamente, é fermentado e curado inteiro, com sementes e pedúnculos. Depois de curado, segue para a linha de moagem ou corte de pedúnculo, consoante se destina ao fabrico de molho ou outros fins, respetivamente.
- O Pimento, após lavagem primária segue diretamente para os silos de fermentação. Da fermentação e cura subsequentes, resulta um efluente com sementes e peles. Os que se destinam à produção de pickles são cortados e por fim embalados. Os restantes são moídos, juntamente com o piri-piri, para o fabrico de molho.
- A Cenoura, após lavagem preliminar, é colocada inteira em depósitos de fermentação durante 3 a 6 meses, seguindo-se o processo de cura. A cenoura é em seguida descascada, rodelada e sofre corte dos topos. De salientar que é neste ponto que se faz a recolha da amostra para caracterização físico-química. Segue-se a dessalga para posterior embalamento.
- O Pepino, é comprado já conservado em salmoura acidificada, sendo depois rodelado e embalado.
- A Cebolinha, é importada em conserva, sendo diretamente embalada, pelo que praticamente não gera resíduos, não sendo abordada na restante análise.

Atualmente, todos resíduos orgânicos resultantes do processo produtivo são depositados num mesmo contentor, em conjunto com os gradados da ETARI e produtos finais não conformes, sem qualquer separação por tipologia [1].

2.2.2 Seleção dos resíduos a valorizar

A escolha dos resíduos a revalorizar foi efetuada com base em quantidades de resíduos anuais produzidos na unidade fabril da Maçarico, SA (Praia de Mira), os valores adotaram-se como verdadeiros apesar de alguns dos processos fabris terem sido alterados.

Segundo dados referentes ao ano de 2018, na Unidade Industrial da Maçarico S.A, a couve-flor, entre folhas, caules e desperdícios de corte gerou 400 toneladas (em que 100 toneladas correspondem ao resíduo em fresco e o restante ao fermentado), a cenoura (cascas, topos e resíduos de pelagem) cerca de 30 toneladas, o pimento (folhas, pedúnculos, miolo e sementes) 30 toneladas, o piri-piri (pedúnculos, sementes e peles) 20 toneladas e por fim o pepino, apenas com desperdícios de corte, cerca de 5 toneladas.

A representação percentual de cada resíduo gerado num ano encontra-se descrita na figura 2.2.

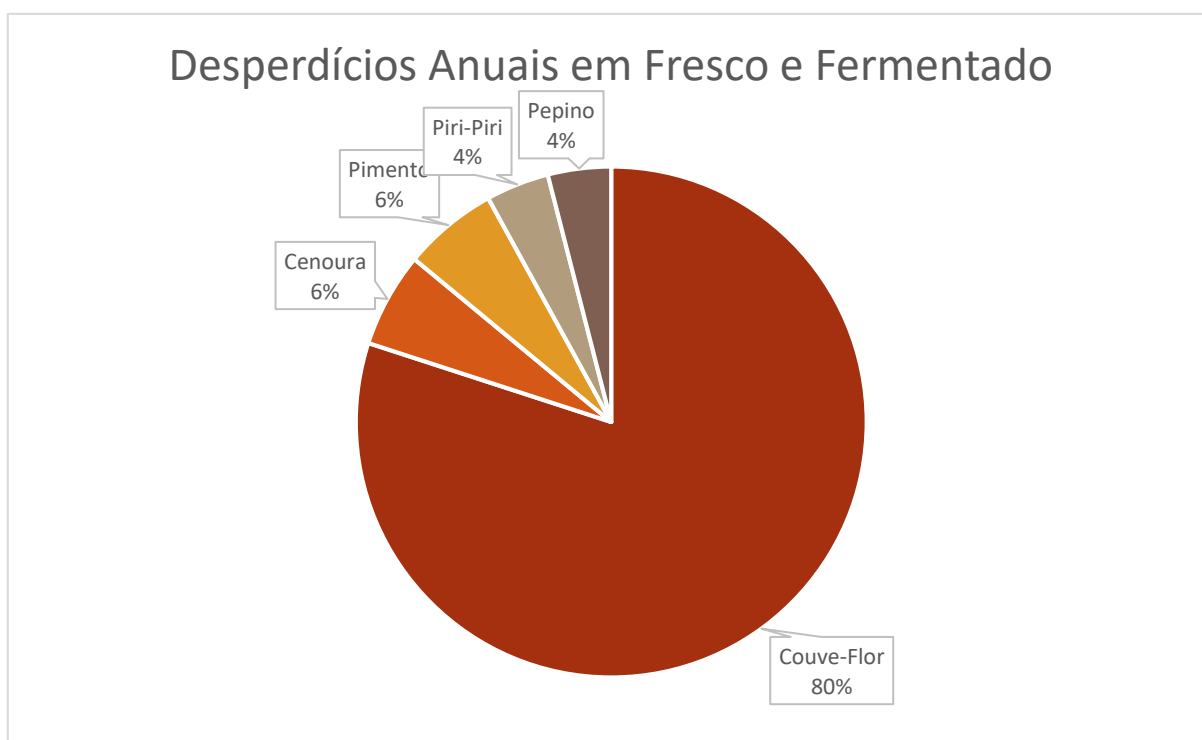


Figura 2.2 - Percentagem de resíduos hortícolas gerados em 2018 na unidade industrial da Maçarico S.A [1].

Após a análise da figura 2.2, é possível concluir que a couve-flor é de longe a matéria-prima que mais resíduo gera, no entanto estes dados são referentes ao processo

de fabrico antigo que consistia no corte manual da couve-flor fermentada, em que o seu resíduo era gerado como produto já fermentado (cuja percentagem de resíduo varia entre 20 a 35% da quantidade inicial).

Atualmente nas instalações da Maçarico II (Cantanhede), a couve-flor é submetida a corte automático em fresco, sendo que a grande maioria dos resíduos são gerados nesta mesma fase, dependendo da profundidade do corte aplicado pelo equipamento a percentagem de resíduo gerado reside entre 13 e 18% da quantidade total.

Com baixa geração de resíduos tem-se o pepino, o pimento, e o piri-piri, ainda que para estes dois últimos exista a possibilidade da extração de capsaicina (composto químico que confere o picante ao piri-piri [6],[7]), a complexidade do processo e baixa quantidade de resíduos não gera, interesse de estudo individual.

A incorporação dos resíduos de pepino, piri-piri e pimento (cujo resíduo gerado é de cerca de 2,5 a 3%), na mistura de couve-flor e cenoura residual pode ser viável em para incorporação em aditivos alimentares humanos e animais, após um estudo de composição.

No caso da cenoura (quando submetida a corte de topos e descasque, gera 6% de resíduo e aquando do corte em rodelas apenas é perdido 2%).

Para a cenoura e couve-flor fermentada, um dos maiores obstáculos é a quantidade de sal que é usada para conservação e fermentação dos mesmos, assim, ainda que esta quantidade seja elevada é possível diluir e misturar, não deve ser utilizada para alimentação animal sem tratamento com a quantidade de sal com que sai do processo de fermentação.

O único resíduo em fresco é a couve-flor proveniente do novo processo instalado, ou seja, caules e floretes provenientes de corte automático.

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos experimentalmente seguiu-se a fonte bibliográfica disponível, no site do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge [8], compondo a tabela 2.1. Os valores encontram-se em % em base seca.

Tabela 2.1 - Composição da couve-flor e cenoura em fresco, adaptado de INSA [8], passando de % em base húmida para % em base seca.

Parâmetros	(% Mássica em Base Seca)	
	Cenoura Fresca	Couve-Flor Fresca
Lípidos	0	1,98
Hidratos de Carbono (expressos em açúcares totais)	51,25	27,72
Sal	1,25	0
Fibra Total	32,50	18,81
Proteína Total	7,50	36,63
Cinza	7,50	9,41
Sódio	0,73	0,14
Potássio	3,88	3,76
Cálcio	0,51	0,21
Fósforo	0,41	0,34
Magnésio	0,09	0,22
Ferro	0,0088	0,0050
Zinco	0,0013	0,0069
Humidade	1150	890,1
	(% Mássica em Base Húmida)	
Parâmetros	Cenoura Crua	Couve-Flor Crua
Humidade	92,00	89,90
Matéria Seca	8,00	10,10

Os valores em fresco presentes na tabela 2.1 foram utilizados como meio de comparação com os resultados obtidos experimentalmente neste trabalho, de forma direta para a couve-flor em fresco e de forma indireta (mesmo sem a análise do produto em fresco, caso da cenoura, é possível estabelecer uma análise de degradação ou consumo de certos elementos) para a couve-flor e cenoura fermentada.

2.3 Caracterização dos Resíduos Seleccionados e Estudo do Potencial de Valorização

Neste ponto irão ser abordados assuntos como a caracterização aplicável e o porquê de cada parâmetro em análise, as condições de amostragem, os resultados e avaliação dos mesmos.

Resultante da avaliação de quantidades de resíduos de cada matriz decidiu-se que, os resíduos sólidos que irão ser avaliados são caules, folhas e desperdícios de corte de couve-flor fresca e fermentada, e cascas e topos de cenoura fermentada.

2.3.1 Caracterização aplicável

Iniciando pela escolha dos parâmetros a analisar, é de conhecimento comum a infinidade de elementos que podem e devem ser analisados numa determinada amostra para um determinado fim. Assim atendendo ao produto a analisar e à finalidade do mesmo, propôs-se uma caracterização físico química, de modo a oferecer uma composição básica, mas capaz de ser utilizada como referência para diferentes finalidades como, incorporação em alimentos de animais, alimentação animal no estado não tratado, extração de compostos de elevado valor, biofertilizantes e biocombustíveis.

Segundo a Direção Geral de Alimentação e Veterinária [9], na lista Integrada de utilizações previstas para alimentos animais com objetivos nutricionais específicos destinados a animais, é necessário verificar a existência de pesticidas e consoante o objetivo nutricional alguns compostos como, cálcio, magnésio, fósforo, sódio, potássio, enxofre, cloretos e vitaminas.

Já o Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária [10], propõe no documento “Determinações físico-químicas efetuadas em alimentos para animais.”, que devem ser analisados parâmetros como acidez, açúcares totais, amido, azoto total, cinza, humidade, matéria gorda bruta, proteína bruta e compostos fenólicos.

Deste modo nos resíduos em fresco, nomeadamente no caule e floretes da couve-flor, a caracterização passa pela composição físico-química (acidez, cloretos, pH, humidade, cinzas, teor em cálcio, ferro, magnésio, cobre, zinco, manganês, sódio, potássio, hidratos de carbono, proteínas, fibra bruta, lípidos, iodo, enxofre, flúor e compostos fenólicos) com vista alimentação direta/indireta animal ou uso como biofertilizante natural.

Para a utilização da couve-flor em fresco como base para biocombustíveis determinou-se também a quantidades de açúcar, celulose e amido.

Nos resíduos fermentados o objetivo principal é a incorporação em ração animal, como tal foi efetuada uma caracterização físico-química (acidez, cloretos, pH, humidade, teor em cálcio, ferro, magnésio, cobre, zinco, manganês, sódio, potássio, hidratos de carbono, proteínas, fibra bruta, lípidos, iodo, enxofre, flúor e compostos fenólicos) de modo a oferecer um padrão geral de quantidade e teores presentes nos resíduos a serem utilizados.

Para o estudo da extração de compostos de elevado valor, foram determinados parâmetros como, fibra e proteína bruta, óleos e gorduras, hidratos de carbono, compostos fenólicos e pigmentos, nas três matrizes.

2.3.2 Amostragem (Recolha e Acondicionamento)

A amostragem dos produtos fermentados foi efetuada nas duas unidades industriais pertencentes ao grupo.

A cenoura, nomeadamente topos e peles foram recolhidos na unidade Maçarico II, tanque 32, com início de fermentação em Agosto de 2018 e fim de processo de fermentação e cura em Fevereiro de 2019.

A couve-flor foi fermentada com base no processo antigo implementado na Maçarico S.A., e neste caso de modo a manter a coerência com os resíduos futuros, foi recolhida migalha e floretes provenientes de corte manual, pertencentes ao tanque TK 57, com início de fermentação em Abril de 2018 e final de processo fermentação e cura em Março de 2019.

O acondicionamento de ambas as amostras foi efetuado em baldes de 2 litros, transparentes e com tampa de encaixe, os resíduos foram acondicionados com a mesma salmoura existente no tanque de onde eram provenientes, foram transportados dentro de um saco hermético com gelo e quando chegaram ao local de análise foram colocados num frigorífico a 4°C. Foram mantidos no frio até ao momento da moagem para análise.

As amostras da couve-flor em fresco, foram compradas numa mercearia local, junto ao ISEP, após a compra foram acondicionadas no frigorífico a 4°C, por um período máximo de 48 horas.

2.3.3 Opções de valorização

Tendo em conta os resíduos que têm aptidão para serem valorizados, neste caso a couve-flor em fresco, a couve-flor e cenoura fermentada, foi necessário estabelecer as possibilidades de valorização tais como, alimentação direta a animais, incorporação em

ração animal, extração de compostos de elevado valor, utilização como biofertilizante e por fim como matéria prima para obtenção de biocombustíveis.

Alimentação animal no estado puro

De acordo com as características de um resíduo ou subproduto alimentar (por exemplo, rico em proteínas e gordura, alto teor de energia, contendo fibras e minerais), é possível considerar a sua utilização como alimento para animais, visto que a transição de produto final para alimentação animal traduz benefícios ambientais e públicos, bem como o efeito positivo sobre os custos de produção animal.

Os resíduos alimentares com alto teor de proteína e gordura podem ser adequados para omnívoros, enquanto a elevada quantidade de celulose e hemicelulose são adequados para ruminantes. Além disso os resíduos que não podem ser utilizados para alimentação animal (elevado teor mineral) podem sempre, mesmo em estado puro (sem tratamento prévio) ser utilizados como fertilizante [11].

Segundo o relatório da Comissão da União Europeia de 14 de Janeiro de 2011, matérias-primas para alimentação animal são, todos os produtos de origem vegetal ou animal cujo principal objetivo é preencher as necessidades alimentares dos animais, no seu estado natural, fresco ou conservado, bem como os produtos derivados da sua transformação industrial, com ou sem aditivos, destinadas a serem utilizadas na alimentação animal por via oral, quer diretamente, quer após transformação, ou para a preparação de alimentos compostos para animais ou como excipiente em pré-misturas [12].

Biofertilizantes

Os biofertilizantes podem ser obtidos de forma natural ou por processamento, nomeadamente digestão anaeróbia, compostagem e inceneração.

Os biofertilizantes obtidos de forma natural são aqueles que provêm da própria produção, ou seja, aquando da colheita se não se encontrarem dentro do padrão de recolha são deixados no campo adubando o solo.

Os biofertilizantes resultantes de processamento, provêm de uma digestão anaeróbia (processo natural de degradação da matéria orgânica) em que é gerado calor

proveniente da digestão (que pode ser utilizado como fonte de energia) e biofertilizante em simultâneo.

O principal objetivo deste sistema é tratar fluxos de resíduos orgânicos produzindo biogás para energia e aglomerar um processo adicional do qual resulta um licor, que após desidratação e controlo de amoníaco pode ser utilizado como biofertilizante.

O processo de obtenção de biofertilizante por compostagem, reside na degradação de produtos orgânicos na presença de humidade e oxigénio.

Por fim os biofertilizantes provenientes de queima direta, que ocorrem em pleno campo, reduzem quase toda a matéria orgânica a gases e a um pequeno número de elementos minerais, como o potássio, que permanece na cinza e passa a ser utilizado como fertilizante.

Embora a queima seja conveniente e rápida, os benefícios em termos de enriquecimento de nutrientes do solo são limitados, mencionando também que este método não é benéfico para o meio ambiente, pois dele resulta, poluição do ar, erosão e perda de matéria orgânica existente no solo [13].

Extração de compostos de elevado valor

Vários estudos atuais têm contemplado a obtenção de inúmeros ingredientes a partir de subprodutos, resíduos de indústrias alimentares e agroalimentares, incluindo subprodutos de vegetais como principal meio de obtenção de fibras e hemiceluloses, açúcares a partir de raízes e tubérculos (resíduos de cana, mandioca, etc), obtenção de polifenóis e ácidos orgânicos, a partir de culturas oleaginosas (soja, bagaço de azeitona, etc), fitoesteróis, polifenóis e pectinas, a partir de frutos e vegetais (como cascas de frutos, polpa de tomate, etc).

Na sua maioria, a valorização económica de resíduos e subprodutos em compostos de elevado valor, apesar de atrativa, não é sustentável economicamente, pois contempla uma matéria-prima de baixo custo, implicando um elevado custo de logística, armazenamento, transporte e processamento de elevado consumo energético e técnico (reagentes, mão de obra e laboratórios certificados).

Nesse sentido, de forma assegurar a viabilidade económica da valorização, é fundamental o processamento de quantidades elevadas de matéria-prima, que na maioria

dos casos não é possível, pois a obtenção imediata e com características semelhantes provenientes de várias empresas é muito difícil e a garantia de elevadas quantidades quando apenas se trabalha com apenas uma empresa não é viável [14].

Incorporação em rações animais

Atualmente muitos resíduos urbanos e industriais são utilizados para produção de ração animal, no entanto devido ao elevado teor de humidade e elevada biodegradabilidade o seu uso é condicionado. Deste modo é requerido um processo de secagem para eliminar contaminação química e microbiológica.

Resíduos como, restos de peixe, subprodutos da cevada, subprodutos de moagem de trigo e de arroz, os resíduos de batata, resíduos de corte de topos de canas de açúcar e melaço são alguns dos resíduos utilizados para a produção de alimentos para animais.

No entanto devido a problemas adjacentes ao uso destes foi necessário ter em atenção a composição das misturas de alimentos de modo a evitar doenças nos animais, deste modo a legislação relativa ao uso de resíduos como base para produção de alimentos para animais foi ficando mais restrita [11].

De modo a clarificar o que se pode usar e como usar o Jornal Oficial da União Europeia de 14 de Janeiro de 2011, define o que são matérias-primas para alimentação animal, alimentos para animais, o método de produção e transformação, a garantia de segurança, o modo de utilização e a funcionalidade destes alimentos ou aditivos [12].

Garantindo uma referência regulamentada, que permite aos interessados uma avaliação dos resíduos em questão.

Biocombustíveis

Como fonte renovável de carbono, a biomassa ganha elevada importância no conceito de biorrefinaria, que tem como base a conversão de biomassa (como proteínas, hidratos de carbono, ácidos gordos entre outros compostos) em biocombustíveis (como bioetanol, biogás ou biodiesel).

A matéria-prima da biorrefinaria de primeira geração engloba culturas tais como, cana-de-açúcar, beterraba, oleaginosas (como fonte de açúcares simples e óleos), milho,

batata e trigo (como fonte de amido), o que origina uma concorrência direta entre a produção de alimentos para consumo humano e animal, e a produção de energia.

A biorrefinaria de segunda geração envolve resíduos provenientes de atividades agrícolas, de indústrias alimentares e de silvicultura (essencialmente resíduos e subprodutos de baixo valor como o melaço, por exemplo), na de terceira geração são utilizadas matérias-primas como algas e na de quarta geração são utilizados óleos vegetais, essencialmente usados para a produção de biodiesel.

Neste trabalho apenas foi focada a biorrefinaria de segunda geração, uma vez que a indústria de vegetais e frutas tem métodos de processamento que geram grande volume de resíduos com componentes valiosos como, compostos fenólicos, carotenóides, oligoelementos, mono e dissacarídeos entre outros.

O processamento de biomassa na biorrefinaria de segunda geração consiste num pré-tratamento (físico ou enzimático), numa extração de químicos naturais primários (antioxidantes, vitaminas, pectina, fibras alimentares e similares), numa conversão de produtos primários em produtos secundários (celulose em glucose por exemplo), num processo de obtenção de energia como fermentação ou digestão (produzindo etanol, metano ou hidrogênio) e separação da parte não aproveitável (que segue para compostagem) [11].

2.4 Parâmetros Analisados

Para a determinação dos parâmetros analíticos de interesse, foi necessário recorrer a normas portuguesas, regulamentos europeus, notas técnicas e métodos internos (dos laboratórios do ISEP e dos laboratórios de controlo de qualidade de produção da Maçarico S.A e II), no entanto devido à indisponibilidade de algumas normas, seguiu-se as determinações propostas no Manual de Análise Alimentar em edição digital, e sempre que foi possível utilizou-se normas portuguesas disponíveis e os métodos regulamentados pela comissão europeia.

Os parâmetros físico-químicos descritos dizem respeito ao que foi analisado em cada amostra, o porquê ou importância da sua análise e uma breve explicação de como foi efetuada a sua determinação. **Os protocolos experimentais completos encontram-se no Anexo A.2.**

pH

O valor de pH tem sido determinado com frequência em trabalhos que realizam análises físico-químicas para avaliar a qualidade de alimentos de origem vegetal, bem como os de origem animal.

É importante determinações de deterioração do alimento, pois influencia o crescimento de microrganismos, a atividade das enzimas, a textura de geleias e gelatinas, a retenção de sabor e odor de produtos, a estabilidade de corantes artificiais em produtos, a verificação de estado de maturação e a escolha da embalagem [15].

A amostra foi triturada em moinho industrial e passada por uma varinha mágica de modo a obter uma polpa uniforme, de seguida no mesmo copo de homogeneização foi colocada uma sonda de pH de sólidos, onde foi lido o valor, em cada uma das matrizes [1].

Acidez

Os ácidos orgânicos presentes em alimentos influenciam o sabor, o odor, e a cor, a estabilidade e a manutenção da qualidade.

A determinação da acidez total em alimentos é bastante importante, uma vez que, através dela, é possível obter dados valiosos relativos ao processamento e estado de conservação do alimento.

A acidez resulta dos ácidos orgânicos existentes no alimento, dos adicionados propositadamente e também daqueles provenientes das alterações químicas dos mesmos [15].

A determinação foi efetuada por um método titulométrico, em que o titulante é hidróxido de sódio 0,1 M e o indicador solução de fenolftaleína, O ponto de viragem dá-se na alteração da cor da solução para rosa. A amostra foi previamente homogeneizada em moinho industrial e varinha mágica [1].

Humidade

Humidade, ou teor de água, de um alimento constitui um dos mais importantes e mais avaliados parâmetros na área alimentar. É de grande importância económica por refletir o teor de sólidos de um produto e sua perecibilidade.

O teor de humidade fora das recomendações técnicas resulta em grandes perdas ao nível da estabilidade química, deterioração microbiológica, alterações fisiológicas e de qualidade geral do alimento [16].

Limpu-se os cadinhos em mufla a 600 °C. Colocou-se a amostra previamente homogeneizada num cadinho, procedendo-se há desidratação em placa eléctrica, seguida de estufa a 105°C durante três horas, deixou-se arrefecer em exsiccador até peso constante [17].

Cinzas Totais

Cinzas de um alimento é o nome dado ao resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica (entre 500 e 570°C), a qual é transformada em CO₂, H₂O e NO₂, assim sendo, a cinza de um alimento é o ponto de partida para a análise de minerais específicos.

Estes minerais são analisados tanto para fins nutricionais como também para segurança. Como exemplo os resíduos metálicos provenientes de inseticidas e outros agrotóxicos ou o estanho proveniente de corrosão de latas [16].

As amostras provenientes dos ensaios da humidade foram colocadas em mufla a 550°C durante uma hora, deixou-se arrefecer em exsiccador e pesou-se [17].

Cloretos

O Cloreto de sódio (sal) é uma substância sólida branca, que tem o objetivo salgar os alimentos deixando-os mais saborosos. Também é um dos conservantes mais antigos, tanto de uso doméstico como industrial, impedindo o desenvolvimento de microrganismos que deterioram os alimentos.

O consumo do cloreto de sódio é fundamental para a saúde, pois o sódio participa nas funções básicas no corpo, como equilíbrio ácido/base, equilíbrio de água no organismo, contração muscular, impulsos nervosos e ritmo cardíaco [18].

Após homogeneização da amostra em moinho industrial e varinha mágica a amostra foi colocada num erlenmeyer com cerca de 50 mL de água destilada. A determinação foi feita pelo método titulométrico, com nitrato de prata a 0,1N como titulante e cromato de potássio a 5% e carbonato de cálcio para favorecer a reação. O ponto final é a alteração da cor para vermelho-tijolo [1].

Proteína Bruta

As proteínas são as moléculas mais abundantes e funcionais, presentes em praticamente todos os processos vitais. Apresentam uma incrível diversidade de funções, embora todas compartilhem a característica estrutural comum, a de serem constituídos por aminoácidos [19].

Nos alimentos possuem função nutricional, têm propriedades organolépticas e de textura e podem aparecer associadas a lípidos e hidratos de carbono [20].

É determinada pelo método de Kjeldahl modificado, em que a digestão foi feita com catalisador e a destilação, com ácido bórico a 2% e hidróxido de sódio a 40%, de seguida titulou-se com ácido clorídrico a 0,01 M, com indicador vermelho de metilo e verde de bromocresol, o ponto de equivalência verifica-se quando a solução passa de verde a rosa acinzentado [21].

Lípidos ou Óleos e Gorduras-Extração Direta em Soxhlet

O termo lípido é utilizado para designar matéria gorda ou gorduras, representa componentes insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, tais como éter etílico, éter de petróleo, acetona e benzeno.

Estes solventes apolares extraem a fração lipídica que inclui ácidos gordos livres, mono, di e tri glicerídeos e fosfolípidos.

São componentes que contribuem na alimentação como fonte energia e são extraídos de forma parcial, pois na extração podem aparecer pigmentos e vitaminas [20].

Pesou-se cerca de 15 g de amostra, colocou-se num cartucho de extração e tapou-se com papel de filtro, adicionou-se éter de petróleo, montou-se o equipamento de extração em Soxhlet e deixou-se a extrair por 8 horas [17].

Fibra Bruta

A Fibra consiste num grupo extremamente heterogéneo de compostos. Todos os constituintes, à exceção da lenhina, são polissacáridos pertencentes ao grupo dos glúcidos como, pectinas, hemiceluloses, celulose, oligossacáridos, amido e polissacáridos não vegetais.

Os polissacáridos são polímeros de alto peso molecular constituídos por centenas ou mesmo milhares de monómeros, não apresentam sabor doce como os glúcidos mais simples, mas são determinantes na textura dos alimentos e responsáveis por características como a viscosidade e consistência, tal como os oligossacáridos, podem ser ou não uma fonte de energia [22].

É necessária uma extração durante 40 minutos, com solução ácida (à base de ácido acético glacial) e com agente de filtração (areia de diatomácea). De seguida filtrou-se em cadinho de Gooch, levou-se à estufa durante 2 horas a 105°C, de seguida incinerou-se em mufla a 550°C. A perda de peso representa a quantidade de fibra bruta existente [17].

Hidratos de Carbono

Os hidratos de carbono podem ser também conhecidos por um termo mais generalista como açúcares sendo, essencialmente compostos orgânicos ternários, ou seja, constituídos por átomos de Carbono, Oxigénio e Hidrogénio [23].

Juntamente com o oxigénio, os açúcares são a principal fonte de energia das células, indispensável a todas as reações metabólicas que fazem o corpo funcionar [24].

Juntou-se a amostra com ácido clorídrico e água e deixou-se a extrair durante 3 a 4 horas, com equipamento de refluxo. Deixou-se arrefecer e neutralizou-se com hidróxido de sódio a 40%, de seguida colocou-se num balão volumétrico de 250 mL e transferiu-se para uma bureta de modo a servir de titulante. O titulado é uma mistura equitativa de solução de Fehling A, B e água [17].

Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos são originados pelo metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o seu crescimento e reprodução, além disso formam-se em condições de stress como, infecções, ferimentos e radiações UV.

Esses compostos encontram-se largamente distribuídos em plantas e são um grupo muito diversificado de fitoquímicos derivados de fenilalanina e tirosina. Os fenólicos, em plantas, são essenciais no crescimento e reprodução, além de atuarem como agente anti patogénico e contribuírem para a pigmentação.

Os fenólicos englobam desde moléculas simples até moléculas com alto grau de polimerização. Estão presentes nos vegetais na forma livre ou ligados a açúcares e proteínas.

Este mecanismo de ação dos antioxidantes, presentes em extratos de plantas, possui um papel importante na redução da oxidação lipídica em tecidos, vegetais e animais, pois quando incorporado na alimentação não conserva apenas a qualidade do alimento, mas também reduz o risco de desenvolvimento de patologias, como arteriosclerose e cancro [25].

Realizou-se uma extração em metanol e água (50%), após maceração a frio, em agitação constante, durante aproximadamente 4 horas. A determinação foi efetuada em espectrofotómetro UV/VIS, a um comprimento de onda de 760 nm, em que os padrões foram preparados a partir de uma solução mãe de ácido gálico (com uma concentração de 5g/L), solução de Folin Ciocalteu a 10% e solução de carbonato de sódio a 4% [25],[26],[27].

Pigmentos

A clorofila é um pigmento que tem como papel principal a absorção de luz no processo de fotossíntese e divide-se em seis tipos, cujos principais são a clorofila A e B.

O pigmento primário da fotossíntese é a clorofila A, uma vez que esta absorve a luz laranja-avermelhada e violeta-azulada do espectro eletromagnético. A clorofila A transfere energia para o centro de reação.

A clorofila B é um pigmento acessório, absorve a luz azul e tem como objetivo expandir o espectro de absorção eletromagnética, deste modo absorvem energia de maior

frequência. Ter mais clorofila B nos cloroplastos das células é uma medida adaptativa de cada planta. Deste modo plantas que recebem menos luz solar têm mais clorofila B nos cloroplastos, sendo que a clorofila A existem em todas as plantas e vegetais já a clorofila B pode estar presente ou não [28].

Carotenoides, como licopeno e o β -caroteno, são importantes componentes antioxidantes na defesa contra a oxidação lipídica em células vivas.

O licopeno é o pigmento que confere uma cor avermelhada, contém carotenoides acíclicos insaturados, com 11 ligações duplas conjugadas que atuam como depuradores de radicais livres.

O β -Caroteno é o pigmento responsável pela cor laranja, é uma das principais fontes alimentares de vitamina A, pois é responsável pela bioconversão do retinol em pró-vitamina A [29].

A quantificação de pigmentos existentes nas amostras foi determinada com recurso a uma extração em meio líquido com Acetona e Hexano (4:6) em espectrofotómetro de UV a diferentes comprimentos de onda [30].

Iodo, Fluor e Enxofre

Na alimentação animal, o iodo está presente em folhagens (estando na forma de iodeto livre ou ligado a moléculas orgânicas) e em rações (adicionado geralmente nas formas de iodeto de potássio ou iodato de cálcio).

O iodo é indispensável para o normal metabolismo celular. Uma quantidade insuficiente de iodo no corpo pode diminuir o metabolismo, o que pode resultar em ganho de peso, cansaço e depressão, uma vez que, o iodo no corpo de qualquer mamífero está concentrado nas células da tiroide [31].

O flúor é um elemento químico abundante na crosta terrestre. No grupo dos halogénios é o elemento mais eletronegativo e reativo. Na natureza, o flúor está presente sob a forma de fluoretos, os quais, podem ser encontrados em pequenas quantidades, na água, ar, solo, plantas e animais. Os fluoretos não são essenciais para o crescimento e desenvolvimento humano, encontrando-se no corpo humano em pequenas concentrações, essencialmente nos dentes e ossos. No entanto, a ingestão de fluoretos, em doses moderadas, é benéfica na prevenção da cárie dentária e na manutenção da estrutura óssea,

principalmente nas crianças. Os fluoretos também têm sido utilizados no tratamento da osteoporose [32].

Sulfitos, ou agentes sulfitantes, são aditivos conservadores eficazes, muito utilizados em alimentos e bebidas. Essas substâncias, em geral, evitam o escurecimento enzimático e não enzimático e impedem o crescimento de microrganismos indesejáveis (leveduras, fungos e bactérias), que causam a deterioração de alimentos durante o seu processamento e armazenamento.

Os agentes sulfitantes mais usados pela indústria de alimentos e bebidas são o sulfito de sódio, metabissulfito e bissulfito de sódio e potássio, que liberam o SO_2 nas condições de uso. Existe certa preocupação acerca da segurança dos sais de sulfito, pois podem causar dificuldades respiratórias em algumas pessoas sensíveis, reações alérgicas, como irritação da pele, irritação gástrica e asma. Outras reações que têm sido reportadas, associadas à sua ingestão são reação anafilática, hipotensão, cefaleia, náusea e dor abdominal [33].

A determinação de Iodo, Fluor e Enxofre, efetuou-se com recurso a fluorescência de RX, que consiste em colocar a amostra previamente triturada na cápsula de leitura e isolar com filme transparente e garantindo a inexistência de rugas. De seguida lê-se no equipamento em dois varrimentos diferentes um em Ar e outro em Hélio, e por fim análise do espectro. A análise é meramente qualitativa [34].

Cálcio

Sendo um dos minerais essenciais ao metabolismo, este componente está presente na estrutura óssea, nos tecidos e nos órgãos. É utilizado como catalisador nos sistemas enzimáticos e hormonais ou então como ativador de sistemas [35].

Os oligoelementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, com padrões derivados de uma solução mãe de 100 ppm. A gama de trabalho com maior sensibilidade no cálcio é a de 1 a 4 mg/L, cujo comprimento de onda é de 422,7 nm [17], [36].

Ferro

No corpo humano o ferro aparece regularmente como componente constituinte de enzimas e atua no transporte e armazenamento de oxigênio. Nos ruminantes é um ativador de enzimas bacterianas [35].

Os oligoelementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, com padrões derivados de uma solução mãe de 100 ppm. A gama de trabalho com maior sensibilidade no ferro é a de 2 a 9 mg/L, com um comprimento de onda de 248,3 nm [17], [36].

Magnésio

O magnésio faz parte da composição de fluídos e tecidos, atua na pressão osmótica, no equilíbrio ácido-básico e na permeabilidade das membranas. Está presente nos órgãos, ossos e dentes e atua como catalisador nos sistemas enzimáticos [35].

Os oligoelementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, com padrões derivados de uma solução mãe de 100 ppm. A gama de trabalho com maior sensibilidade no magnésio é a de 0,1 a 0,4 mg/L, com um comprimento de onda de 285,2 nm [17], [36].

Cobre

O cobre é um componente das enzimas, favorece a absorção de ferro no organismo, a mineralização dos ossos e a manutenção do tecido do miocárdio [35].

Os oligoelementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, com padrões derivados de uma solução mãe de 100 ppm. A gama de trabalho com maior sensibilidade no cobre é a de 1 a 5 mg/L, com um comprimento de onda de 324,7 nm [17], [36].

Zinco

O zinco atua essencialmente na estabilidade de moléculas e membranas, geralmente nos ruminantes é um ativador de enzimas bacterianas [35].

Os oligoelementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, com padrões derivados de uma solução mãe de 100 ppm. A gama de trabalho com maior sensibilidade no zinco é a de 0,4 a 1,5 mg/L, com um comprimento de onda de 213,9 nm [17], [36].

Manganês

Este elemento está presente em enzimas e atua como ativador enzimático, no caso de deficiência em animais, por exemplo, está associado a problemas de infertilidade [35].

Os oligoelementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, com padrões derivados de uma solução mãe de 100 ppm. A gama de trabalho com maior sensibilidade no manganês é a de 1 a 3,6 mg/L, com um comprimento de onda de 279,5 nm [17], [36].

Potássio

O potássio atua como catalisador em sistemas enzimáticos e hormonais, está presente em fluídos e tecidos como eletrólito e está envolvido no controle da pressão osmótica, no entanto para os ruminantes assume um papel importante no estomago devido ao seu efeito tampão e regulação da concentração relativa de iões [35].

A determinação de potássio foi efetuada por fotometria de chama. Os padrões da curva de calibração foram preparados a partir de uma solução mãe de 100 ppm, numa gama de trabalho de 0 a 10 ppm. A calibração do equipamento deve ser sempre efetuada através do padrão com maior concentração, ajustando a sensibilidade máxima a este [17], [37].

Fósforo

O Fósforo é o elemento constituinte das proteínas dos músculos, é responsável pela estabilidade estrutural de moléculas e membranas, está presente em órgãos, ossos e tecidos, atua como catalisador em sistemas enzimáticos e quando ingerido por ruminantes atua em processos de conversão de energia e de reprodução celular [35].

A sua determinação foi efetuada por espectrofotometria de UV/VIS, a um comprimento de onda de 700 nm, em que os padrões foram diluídos a partir de uma solução mãe de fosforo com uma concentração de 0,5 g/L. A preparação das amostras seguiu a mesma linha dos padrões, no entanto partiu-se de amostra incinerada [38].

Açúcares Totais

A determinação da concentração de açúcares é um indicador de características do produto final que será distribuído no mercado. Os açúcares são utilizados como sensores de estado do processo, por exemplo, em processos de fermentação, o acompanhamento da concentração de açúcares permite verificar as taxas de consumo dos microrganismos e, assim, estudar a cinética do processo.

Os açúcares são edulcorantes, ou seja, aditivos alimentares, que são utilizados devido à sua propriedade organolética de doçura. Esta propriedade é subjetiva e intrínseca aos açúcares. A ingestão de açúcares sacia a fome e implica um consumo energético [39].

Foi necessária uma extração com solução de Carrez I e II, seguida de uma filtração, a determinação foi efetuada pelo método de Luff-Choorl. Este método consiste numa titulação com iodeto de potássio, em excesso de nitrato de prata com indicador de solução de amido [40].

A análise da quantidade de açúcares totais é importante para a viabilidade da amostra poder ou não ser considerada como matéria-prima para a produção de biocombustíveis, através de fermentação.

Amido

O amido é o segundo polissacárido mais abundante nas plantas, é constituído por duas macromoléculas, a amilose e a amilopectina, ambas são polímeros de glicose que diferem quanto ao número de monómeros e estrutura. Representa uma das principais fontes energéticas para o ser humano por ser degradado e absorvido no intestino delgado.

Além da composição e estrutura natural do amido afetar a ação enzimática de α -amílases, por impedir o acesso às ligações glicosídicas, a forma como as leguminosas e grãos são processados (por exemplo moagem) bem como a confeção final dos alimentos, também influenciam significativamente a sua digestibilidade [22].

A quantidade de amido foi determinada com recurso ao método polarimétrico, pela medição do poder rotatório total e o poder rotatório para substâncias solúveis em álcool etílico a 40% [41].

Celulose Bruta

Os materiais lignocelulósicos são compostos por três diferentes tipos de polímeros associados entre si: celulose, hemicelulose e lignina.

A celulose é um polímero linear que possui como unidade básica de repetição a celobiose, um dímero de glucose, que tem como função dar proteção, forma e suporte às células vegetais. As cadeias de celulose são constituídas por camadas unidas por forças de Van der Waals, sendo que na sua estrutura existem de vários grupos de hidroxila interligados por ligações de hidrogênio da mesma molécula (intramoleculares) e entre os grupos de hidroxila das moléculas adjacentes (intermoleculares).

É devido às fortes ligações de hidrogênio a celulose possui uma estrutura rígida e é praticamente insolúvel em água e em solventes orgânicos comuns. A organização das cadeias de celulose forma regiões cristalinas intercaladas por regiões amorfas, sendo que a região cristalina é fortemente organizada conferindo resistência e proteção contra a degradação externa, a região amorfa não possui uma organização molecular, tornando-a mais suscetível à degradação externa.

A lignina é uma macromolécula aromática que possui uma estrutura polifenólica complexa, sendo composta basicamente por unidades de fenilpropano. Esta apresenta uma conformação tridimensional, amorfa e age como material adesivo, agente de enrijecimento, como barreira contra a degradação enzimática, microbiana e oxidação da parede celular. A lignina é depositada juntamente com hidratos de carbono, formando ligações covalentes com unidades monossacarídicas de hemicelulose.

A hemicelulose é uma estrutura amorfa formada por polímeros heterogêneos de pentose (xilose, arabinose), hexoses (glicose, manose, galactose) e ácidos de açúcar. A sua estrutura apresenta ramificações e cadeias laterais que interagem facilmente com a celulose, dando estabilidade, elasticidade e flexibilidade à estrutura final.

A hemicelulose serve de conexão entre a celulose e a lignina, uma vez que, as suas cadeias laterais permitem que ela interaja com a lignina.

Quando existente em quantidade suficiente num dado resíduo, este pode ser utilizado para a produção de etanol de segunda geração envolvendo quatro principais etapas: pré-tratamento da biomassa, seguido de hidrólise com produção de açúcares simples, que serão levados para a etapa de fermentação e por fim a separação do produto pelo processo de destilação [42].

A quantidade de celulose foi determinada com recurso a um ataque ácido e um ataque básico, seguido de secagem e inceneração [43].

2.5 Resultados, Discussão e Propostas de Valorização

Após avaliação dos resíduos gerados na unidade industrial, e estudo do estado da arte foi possível definir quais os parâmetros a estudar de modo a obter uma caracterização que pudesse ser apresentada quando surgisse uma proposta de valorização para os resíduos em análise.

Deste modo foram caracterizados parâmetros como pH, acidez, sal (cloretos), humidade, cinzas, lípidos (óleos e gorduras), fibra bruta, proteína bruta, hidratos de carbono, pigmentos, antioxidantes totais expressos em vitamina C, compostos fenólicos, fósforo, ferro, cobre, magnésio, zinco, manganês, cálcio, potássio, iodo, flúor e enxofre.

Os parâmetros foram analisados para três matrizes diferentes, cenoura fermentada (topos e pele), couve-flor fermentada (caule, floretes e migalha) e couve-flor fresca (caule e migalha).

No caso da matriz couve-flor em fresco foram ainda avaliados parâmetros como açúcares totais, amido e celulose bruta, com vista o estudo do potencial de optimização como matéria prima para a produção de biocombustíveis.

2.5.1 Resultados laboratoriais

Iniciou-se pela caracterização primária para as três matrizes, com o valor de pH, acidez, sal, humidade e cinzas. O processo teve início com homogeneização da amostra que nos laboratórios do ISEP foi efetuada na trituradora Moulinex (especificação do equipamento tabela A.1, Anexo A.1) com uma segunda passagem na varinha mágica (tabela A.1, Anexo A.1), que originou uma mistura de partículas que não se dissolviam

na água, já nos laboratórios da empresa, utilizou-se um moinho industrial e uma varinha mágica de modo a obter as partículas o mais finas possível.

Todos os ensaios foram realizados nos laboratórios do ISEP, com a exceção do valor de pH, acidez e cloretos, que foram feitos nos laboratórios do ISEP e nos laboratórios da empresa.

O valor de pH foi inicialmente (Método 1) determinado pela dissolução da amostra homogeneizada em água desmineralizada, agitando constantemente durante 20 minutos, partindo do princípio que o líquido fica em equilíbrio com o sólido relativamente a este parâmetro. Obtiveram-se os resultados apresentados na tabela 2.2.

De seguida de modo a verificar o valor obtido testou-se a medição com um medidor de pH de sólidos diretamente na amostra, no entanto como a amostra não estava bem homogeneizada e ficou presa nas ranhuras do medidor e o valor acabou por nunca estabilizar, assim o ensaio não foi considerado.

Por fim já nos laboratórios da Maçarico II (Método 2), em moinho industrial homogeneizou-se a amostra efetuou-se uma segunda passagem em varinha mágica, e leu-se com um medidor de pH de sólidos. Os valores obtidos foram coerentes com o historial do controlo de rotina, no entanto o controlo de rotina é sempre feito no líquido de cobertura do tanque (assumindo equilíbrio sólido-líquido) e neste caso foi feito nos produtos sólidos. Os resultados de pH para a três matrizes encontram-se na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Comparação de valores de pH, obtidos por métodos diferentes e com diferentes graus de moagem.

Método 1-Laboratórios ISEP			Método 2-Laboratórios Maçarico		
Couve-flor Fermentada					
pH	Média	Desvio padrão	pH	Média	Desvio padrão
4,65	4,59	0,03	4,14	4,14	0
4,59			4,14		
4,57			4,14		
4,56					
4,56					
Cenoura Fermentada					
pH	Média	Desvio padrão	pH	Média	Desvio padrão
4,71	4,65	0,03	4,02	4,02	0,01
4,66			4,01		
4,63			4,02		
4,63					
4,63					
Couve-flor Fresca					
pH	Média	Desvio padrão			
6,45	6,46	0,01			
6,46					
6,46					

Verifica-se que não existem diferenças muito significativas entre o método realizado no ISEP e o efetuado nos laboratórios da empresa Maçarico. As diferenças podem ser devidas ao grau de moagem da amostra e ao líquido usado no ISEP que foi água desmineralizada enquanto na empresa Maçarico o líquido é o que está misturado com a amostra devido à necessidade de conservação da matriz. Será ainda de salientar que o facto de se obterem diferenças pouco significativas no valor de pH, permitem supor que a moagem das matrizes no ISEP é suficiente para a realização da caracterização dos parâmetros seguintes.

Analisando os resultados da tabela 2.2, o pH da cenoura fermentada e couve flor fermentada é inferior ao da couve-flor fresca (4,02, 4,14 e 6,46, respetivamente), o que pode ser devido à fermentação malo-láctica que decorre durante o processo, em que existe respiração bacteriana, libertando dióxido de carbono, acidificando o meio. O valor de pH foi determinado pela média das três leituras efetuadas e verificado pelo valor de desvio padrão para os valores lidos. Sendo que o desvio padrão indica a dispersão dos valores lidos em relação ao valor médio, é possível verificar que as leituras efetuadas para o valor de pH nas três matrizes não apresentaram uma grande dispersão do valor médio

(0,01 %, 0 %, 0,01 % para a cenoura fermentada, couve-flor fermentada e couve-flor fresca, respetivamente)

A determinação da acidez começou por um processo de mistura da amostra moída em água destilada, adicionando 3 gotas de fenolftaleína com NaOH 0,1 M como titulante, no entanto devido à dimensão das partículas a mistura da solução (água + amostra) não ocorreu como esperado pois no protocolo dizia que a titulação devia ser feita logo após a mistura e mesmo com 20 minutos de contacto os valores calculados para a acidez eram 0, sendo assim estes ensaios não foram considerados.

Tentou-se então seguir o protocolo descrito na norma NP-1421 (Determinação da acidez em géneros alimentícios derivados de frutos e produtos hortícolas), no entanto no momento da transferência da solução do balão de extração para o balão volumétrico ocorria muita perda de massa de amostra o que comprometia a veracidade dos resultados finais. Este método foi feito 3 vezes com diferentes formas de transferir a amostra, no entanto aquando dos cálculos do valor final obteve-se valores de acidez superiores a 100 %, pelo que ambos os ensaios não foram considerados.

Por fim por método titulométrico partindo da amostra moída em moinho industrial (nos laboratórios da empresa), com indicador de fenolftaleína e NaOH, com um fator de correção de 0,0098162 g/mL como titulante. Neste caso foi possível obter valores de acidez expressos em ácido láctico, ácido cítrico e ácido acético (tabela 2.3).

Na determinação dos cloretos foram também utilizados três métodos diferentes. Iniciou-se com o método de Mohr adaptado em que tudo era igual ao método de Mohr comum (utilização de dicromato de potássio como indicador e nitrato de prata como titulante), exceto o tratamento da amostra em que esta era seca, incinerada, lavada e filtrada o que acabou por resultar em percentagem de cloretos de 0, levando a crer que o processo de tratamento da amostra acabou por facilitar a mistura do cloreto de sódio existente na amostra com a água de lavagem, e deste modo foi “lavado” da amostra. Os resultados deste ensaio não foram considerados.

À semelhança do que aconteceu com a determinação da acidez decidiu-se utilizar a norma NP-1422 (Determinação de cloretos em géneros alimentícios derivados de frutos e produtos hortícolas) como método de referência e mais uma vez entre extração e acondicionamento ocorreram elevadas perdas de matéria, o que resultou em resultados erróneos. Pelo que ao fim de 4 tentativas foi necessário arranjar alternativas.

Foi então utilizado o método de controlo da quantidade de sal em produção, da empresa Maçarico, com a amostra previamente moída em moinho industrial e varinha mágica (tabela A.1, Anexo A.1), por meio de titulação com nitrato de prata com dicromato de potássio como indicador e cálcio para favorecer a reação, foi possível obter valores aproximados de cloretos que após a multiplicação pelo fator (converter o Cl em NaCl) forneceram o valor da percentagem de sal na amostra.

Os resultados obtidos foram comparados com o histórico de controlo de qualidade das amostras na produção, no entanto é necessário referir que o controlo da produção é feito no líquido assumindo equilíbrio sólido-líquido, e que se trata de resíduos que já sofreram contacto com água (consequência da lavagem em linha de corte).

Os resultados obtidos para o valor de acidez, cloretos, humidade e cinzas encontram-se descritos na tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Resultados obtidos na análise dos valores de pH, acidez, sal, humidade, cinzas e respetivos desvios padrão para a cenoura fermentada e couve-flor fermentada e fresca.

Parâmetro	Resultados						Unidades	
	Cenoura Fermentada	D.P.	Couve-Flor Fermentada	D.P.	Couve-Flor Fresca	D.P.		
pH	4,02	0,02	4,14	0,03	6,46	0,01	-	
Acidez	Ácido Láctico	2,02	0,02	0,57	0,02	2,77	0,01	% (Mássica em Base Seca)
	Ácido Cítrico	1,44	0,01	0,40	0,02	2,00	0,01	% (Mássica em Base Seca)
	Ácido Acético	1,35	0,01	0,38	0,02	1,74	0,02	% (Mássica em Base Seca)
Cinzas	64,27	0,30	87,28	0,08	8,39	0,12	% (Mássica em Base Seca)	
Sal	61,79	0,36	81,50	0,13	0,67	0,02	% (Mássica em Base Seca)	
Humidade	475,40	0,54	276,34	0,03	1190,58	0,14	% (Mássica em Base Seca)	
Humidade	82,62	0,54	73,43	0,03	92,25	0,14	% (Mássica em Base Húmida)	
Matéria Seca	17,38	0,54	26,57	0,03	7,75	0,14	% (Mássica em Base Húmida)	

Analisando os resultados da tabela 2.3, relativamente aos valores dos ácidos é notório que o valor do ácido láctico presente tem um valor superior ao dos restantes

ácidos. No caso dos fermentados, isto é, devido à fermentação láctica que as matrizes sofrem no processo produtivo. Já para a couve-flor em fresco o ácido láctico faz parte da acidez natural da planta (proveniente de processos de respiração celular).

Com base na tabela 2.1, os valores de humidade para a cenoura e couve-flor fresca deveriam ser iguais ou superiores a, 92,00 % e 89,90 %, respetivamente. Pela análise dos resultados obtidos experimentalmente verifica-se que no caso da couve-flor em fresco o valor é superior sendo de 92,25%, comparando os fermentados (tabela 2.3) com os valores em fresco da bibliografia (tabela 2.1), verifica-se que estes têm um valor de humidade inferior. Facto que pode ocorrer devido à alteração da estrutura (diminuição da quantidade de fibra por exemplo) da amostra durante a fermentação, diminuindo a capacidade de agregação de água na matriz, diminuindo assim a percentagem de humidade na amostra.

Para a avaliação do teor em humidade e em cinzas foram utilizadas amostras em triplicado para cada uma das matrizes em análise, sendo que o que resultou dos ensaios para o teor em humidade deu entrada para os ensaios do teor em cinza.

Pela avaliação da dispersão dos valores obtidos para os triplicados verifica-se que no caso da cenoura fermentada tanto para as cinzas como para a humidade (valores de desvio padrão de 0,30 % e 0,54 %, respetivamente), existe uma maior diferença entre os resultados obtidos e o ponto médio. No caso das cinzas isto pode dever-se ao facto de na cinza da cenoura as partículas serem grandes e após extração da água, muito leves, pelo que pode ter ocorrido perda de amostra no momento da passagem do exsicador para a balança. No caso da humidade poderá não se ter atingido a estabilização do peso num, ou dois, dos três ensaios realizados.

Já na determinação do teor em cinzas dos produtos fermentados, após incineração da matéria seca, foi possível observar na matéria mineral que ficou, a existência de pequenos cristais na amostra no momento da pesagem o que pode ser devido à presença de cloreto de sódio. Assim quanto maior o teor em cloreto de sódio maior o teor em cinzas (Couve-flor fermentada 87,28 % de cinzas e 81,50 % de sal, cenoura fermentada 61,50 % de sal e 64,27 % de cinzas, no caso da couve-flor fresca a % de matéria mineral é de 8,39 % e de sal é 0,67 %).

Para a determinação do teor de sal (cloreto de sódio) foram realizados três ensaios para cada matriz, sendo que o resultado apresentado na tabela 2.3, corresponde ao valor médio da totalidade de ensaios realizados. Na determinação do teor em sal, também na

cenoura fermentada, ocorreu uma maior dispersão nos resultados obtidos (0,36 %), pois a cenoura deixava a solução com uma coloração alaranjada o que dificultava a percepção do ponto de equivalência (solução a alterar a cor para vermelho-tijolo).

Os resultados obtidos para os componentes de elevado interesse como, óleos e gorduras (lípidos), proteína bruta, fibra bruta, compostos fenólicos, hidratos de carbono e pigmentos encontram-se descritos na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Resultados obtidos nas análises de óleos e gorduras (lípidos), proteína bruta, fibra bruta, compostos fenólicos, antioxidantes e pigmentos para a cenoura fermentada e couve-flor fermentada e fresca.

Parâmetro	Resultados						Unidades	
	Cenoura Fermentada	D.P.	Couve-Flor Fermentada	D.P.	Couve-Flor Fresca	D.P.		
Óleos e Gorduras	0,97	-	0,29	-	0,94	-	% (Mássica em Base Seca)	
Fibra Bruta	6,25	-	4,22	-	19,49	-	% (Mássica em Base Seca)	
Proteína Bruta	0,46	0,003	0,39	0,01	3,68	0,010	% (Mássica em Base Seca)	
Compostos fenólicos	1,79	-	1,56	-	2,00	-	mg Ácido Gálico/L	
Hidratos de carbono (em açúcares totais)	Não Detetável	-	Não Detetável	-	Não Detetável	-	% (Mássica em Base Seca)	
Pigmentos	Clorofila A	0,00011	0,002	0,00028	0,007	$3,5 \times 10^{-5}$	0,001	% (Mássica em Base Seca)
	Clorofila B	0,00013	0,004	0,00048	0,012	$2,7 \times 10^{-5}$	0,0004	% (Mássica em Base Seca)
	Licopeno	0	0,002	0,00019	0,005	0	0,0002	% (Mássica em Base Seca)
	β -Caroteno	0,0032	0,021	0	0,004	$8,8 \times 10^{-6}$	0,0003	% (Mássica em Base Seca)

No processo de determinação da quantidade de óleos e gorduras foram necessárias duas avaliações, uma com a massa de 2 g com a qual não foi possível obter qualquer resultado, e de seguida uma com massa de amostra superior a 15 g da qual se obtiveram os valores representados na tabela 2.4. O processo de extração foi feito com éter e demorou cerca de 8h cada. Estes ensaios revelaram-se muito morosos, e a disponibilidade de amostra para o uso de elevadas quantidades como era requerido neste ensaio, levou à realização de apenas uma extração, para cada matriz em análise. Analisando os valores do teor de lípidos verifica-se que no caso da couve-flor fermentada em relação à fresca que o valor é inferior (0,29% e 0,94%, respetivamente), e que o valor para a cenoura

fermentada é de 0,97%, valores baixos, mas de acordo com o esperado, uma vez que, se trata de produtos hortícolas com baixos teores em gordura.

Relativamente à fibra bruta, por comparação do resultado obtido para a couve-fresca e fermentada, verifica-se que existe uma diminuição da percentagem, pois durante a fermentação ocorre destruição e consumo da fibra existente, o que leva à diminuição do seu valor relativamente ao produto em fresco (19,49% para a couve-flor fresca e 4,22% para a couve-flor fermentada). A análise da fibra bruta consiste num processo longo e com recurso a equipamentos e material que no caso do laboratório em utilização se encontravam com períodos de disponibilidade limitados, pelo que apenas foi realizado um ensaio por matriz.

A proteína bruta expressa em azoto, comprova que ocorreu um consumo do mesmo durante a fermentação, levando à diminuição da percentagem deste no produto fermentado relativamente ao fresco (0,39 % para a couve-flor fermentada e 3,68 % para a couve-flor em fresco). Na percentagem de azoto, foram realizados três ensaios para cada matriz e três ensaios para o branco. A dispersão entre os valores obtidos e o valor médio é cerca de 0,01 %.

Os compostos fenólicos são antioxidantes naturais que retardam a degradação do alimento, atuam ao nível da pigmentação, e a sua avaliação é expressa em quantidade de ácido gálico, partindo de uma curva de calibração ($Abs = 0,0297 \times [mg \text{ ácido gálico/L}] + 0,0027$) avaliada num espectrofotómetro de UV/VIS (foi lido o valor de absorvância para cada matriz, contra o branco). Devido à dificuldade de estabilização deste composto, foram realizados 3 ensaios obtendo três curvas de calibração diferentes, no entanto, apenas a última foi considerada (nos dois primeiros ensaios a curva de calibração tinha um coeficiente de correlação de 0,95 e 0,97, pelo que não foram utilizadas). Os limites de deteção e quantificação são 0,71 mg (ácido gálico) /L e 2,40 mg (ácido gálico) /L, respetivamente. Foram realizados dois ensaios para determinação dos compostos fenólicos sendo necessário efetuar extrações para isolar os referidos compostos. No segundo ensaio a extração foi efetuada com 10 vezes mais amostra do que no primeiro ensaio, pois os primeiros valores obtidos encontravam-se abaixo do valor do limite de deteção. O valor obtido para a couve-flor em fresco foi de 2,00 mg (ácido gálico) /L, sendo superior aos obtidos para a cenoura e couve-flor fermentadas (1,79 mg (ácido gálico) /L, 1,56 mg (ácido gálico) /L, respetivamente), pelo que, todos os valores são detetáveis, mas não são quantificáveis.

Os ensaios para os hidratos de carbono foram realizados segundo o protocolo, numa fase inicial, em que a quantidade de amostra para extração foi a indicada, no entanto não se conseguiu atingir o ponto de equivalência na titulação. Numa segunda tentativa aumentou-se a quantidade de amostra (para um valor 10 vezes superior) e partiu-se para a extração, mas mais uma vez o ponto de equivalência não foi atingido. Sendo que a quantidade de amostra disponível era limitada, os ensaios para este parâmetro foram dados como terminados, pois, o método não é suficientemente sensível, para as pequenas quantidades de açúcares presentes nas amostras.

Relativamente aos pigmentos presentes na couve-flor em fresco, estes encontram-se em quantidades vestigiais, na couve-flor fermentada verificou-se a existência de clorofila A e B, sendo a quantidade de clorofila B é superior. No caso da cenoura fermentada, o licopeno não existe e verifica-se a superioridade da quantidade de β -caroteno em relação à quantidade de clorofila A e B. Para todas as matrizes foram realizados três ensaios, com três extrações em separado e por consequente três leituras no espectrofotómetro UV. Os valores de dispersão entre os valores lidos rondam os 0,02 %, pelo que o erro nas leituras e a diferença de condições (evaporação de acetona na transferência do tubo de preparação para o frasco de leitura), se ocorreu não interferiu com a precisão dos valores obtidos.

Seguidamente analisam-se os resultados obtidos para os oligoelementos como fósforo, ferro, cobre, magnésio, zinco, manganês, cálcio, potássio, iodo, flúor e enxofre. Os resultados obtidos, curvas de calibração e respetivos limites de deteção e quantificação encontram-se na tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Curvas de calibração, LD, LQ e quantidades obtidas de fósforo, ferro, cobre, magnésio, zinco, manganês, cálcio, potássio, iodo, flúor, enxofre, para a cenoura fermentada e couve-flor fermentada e fresca.

Parâmetro	Curva de calibração				Resultado			Unidades
	Equação	R2	LD	LQ	Cenoura Fermentada	Couve-Flor Fermentada	Couve-Flor Fresca	
Fósforo	$Abs = 0,0012 \times [mg_{Fósforo/L}] + 0,0263$	0,9974	51,76	172,5	226,4	36,42**	123,9	mg Fósforo/L
Ferro	$Abs = 0,0111 \times [mg_{Ferro/L}] + 0,0032$	0,9957	1,52	5,06	6,11	11,87	12,23	mg Ferro/L
Cobre	$Abs = 0,2343 \times [mg_{Cobre/L}] + 0,0296$	0,9942	0,23	0,78	0,26*	0,49*	0,61*	mg Cobre/L
Magnésio	$Abs = 2,3868 \times [mg_{Magnésio/L}] + 0,0135$	0,9912	0,03	0,09	28,1	15,9	243,0	mg Magnésio/L
Zinco	$Abs = 1,3668 \times [mg_{Zinco/L}] + 0,0464$	0,9833	0,08	0,25	0,22*	0,27	0,53	mg Zinco/L
Manganês	$Abs = 0,3239 \times [mg_{Manganês/L}] + 0,0364$	0,9903	0,47	1,56	0,19**	0,14**	0,32**	mg Manganês/L
Cálcio	$Abs = 0,0446 \times [mg_{Cálcio/L}] + 0,0157$	0,9828	0,09	0,31	284,0	389,0	288,0	mg Cálcio/L
Potássio	$Abs = 0,0111 \times [mg_{Potássio/L}] - 0,013$	0,9973	0,56	1,86	$1,2 \times 10^3$	$9,3 \times 10^2$	$3,8 \times 10^3$	mg Potássio/L

*Inferior ao LQ, ** Inferior ao LD

Analisando os resultados expressos na tabela 2.5, o fósforo tem um limite de detecção de 51,76 mg fósforo/L e um limite de quantificação de 172,5 mg fósforo/L, pelo que o valor para a couve-flor fermentada não é detetável e conseqüentemente também não é quantificável. No caso da couve-flor fresca o fósforo é detetável, mas não quantificável. Como se pode verificar o valor de fósforo na couve-flor fresca é superior ao valor da fermentada, pois o fósforo é consumido durante a fermentação. O valor de fósforo existente na amostra de cenoura fermentada é detetável e quantificável, com um valor de 226,42 mg fósforo/L.

O ferro é detetável e qualificável em todas as matrizes. Verifica-se um decréscimo no valor da couve-flor fermentado (11,87 mg ferro/L) em relação ao valor para a couve-flor em fresco (12,23 mg ferro/L), o que acontece, porque, este participa ativamente na respiração celular, e embora o processo de fermentação decorra durante seis meses a um ano, a respiração celular continua o que leva a um consumo de ferro.

O cobre é detetável em todas as matrizes, no entanto não é qualificável em nenhuma. Verifica-se um decréscimo no valor da couve-flor fermentado (0,49 mg cobre/L) em relação ao valor para a couve-flor em fresco (0,61 mg cobre/L).

O magnésio é um dos principais componentes da couve-flor, pelo que na matriz em fresco o valor é de 243 mg_{magnésio}/L, e o valor para a couve-flor fermentada é de 15,90 mg_{magnésio}/L, sendo um valor significativamente mais baixo, demonstra que ocorre um consumo de oligoelementos essenciais como é o caso do magnésio (tem como principal função auxiliar as enzimas destinadas à transferência de fosfatos).

O elemento zinco está bastante presente na couve-flor em fresco (0,53 mg_{zinco}/L), já nos fermentados isso não acontece, sendo que para a cenoura fermentada é detetável, no entanto não é quantificável.

O manganês acaba por ser um elemento vestigial tanto no fermentado como no fresco e para todas as matrizes não é detetável nem quantificável.

O cálcio e o potássio são os dois componentes com mais representação na composição total tanto da couve-flor como da cenoura. No caso do cálcio o valor na couve-flor fermentada (389,49 mg_{cálcio}/L) é superior ao da couve-flor em fresco (288,00 mg_{cálcio}/L) pois é adicionado ao líquido de acondicionamento, uma vez que este é responsável pela estabilização da parede celular de leveduras e bactérias, é adicionado por vezes cálcio, o que altera os valores finais deste componente no fermentado. Para o potássio como seria de esperar o valor do fresco é superior ao do fermentado (3783,75 mg_{potássio}/L e 927,93 mg_{potássio}/L), sendo um ativador enzimático, é quantificável para todas as matrizes.

De um modo geral os oligoelementos como ferro, zinco, manganês, magnésio, cálcio, fósforo, potássio, cobre, cloro e sódio são necessários ao desenvolvimento microbiano, dependendo da quantidade presente na amostra favorece a reação de fermentação.

É possível verificar que para os elementos considerados vestigiais como cobre, zinco, manganês e ferro, o método de absorção atómica, utilizado para os restantes oligoelementos, não é suficientemente sensível para garantir uma quantificação fundamentada.

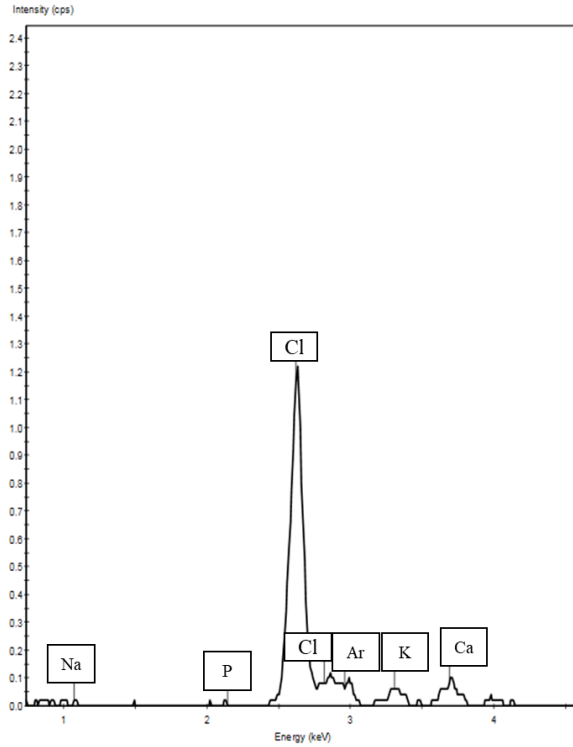
Os elementos iodo, fluor e enxofre em elevadas quantidades podem ser considerados contaminantes alimentares, de modo a verificar a sua existência foi utilizado um método meramente qualitativo, de fluorescência de RX, com dois varrimentos um em ar e outro em Hélio. Ter em atenção que o Hélio é usado quando não se quer a presença de Árgon existente no ar e que o facto de não aparecerem exatamente os mesmos

elementos nos dois varrimentos pode dever-se a filtros que o próprio equipamento coloca quando se faz o varrimento com um ou com outro gás. Os espectrogramas para as diferentes amostras encontram-se nas figuras 2.3 a 2.5.

Spectrum scan :Spectrum Report

ROI table (cps)

ROI name	Range (keV)	Rate
		Pts: 2019/05/19_Amostr a3_Ar



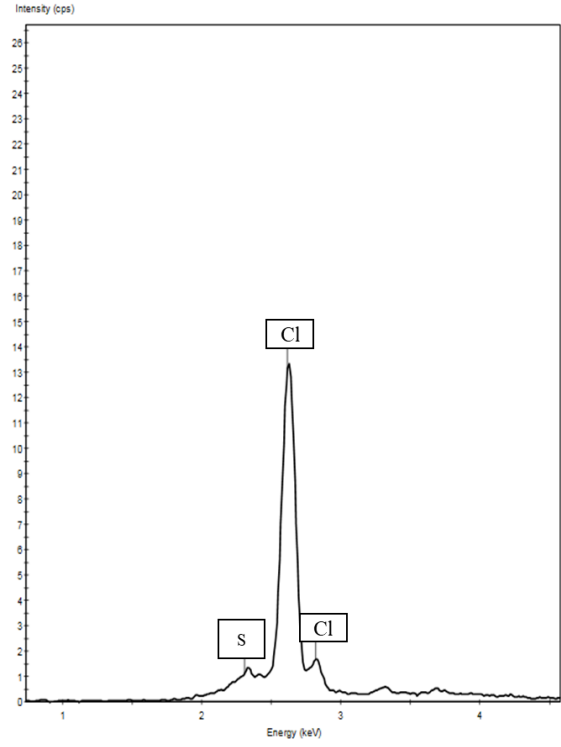
Printed on 15/05/2019

page 1 of 1

Spectrum scan :Spectrum Report

ROI table (cps)

ROI name	Range (keV)	Rate
		Pts: 2019/05/15_Amostr a3_Helio



Printed on 15/05/2019

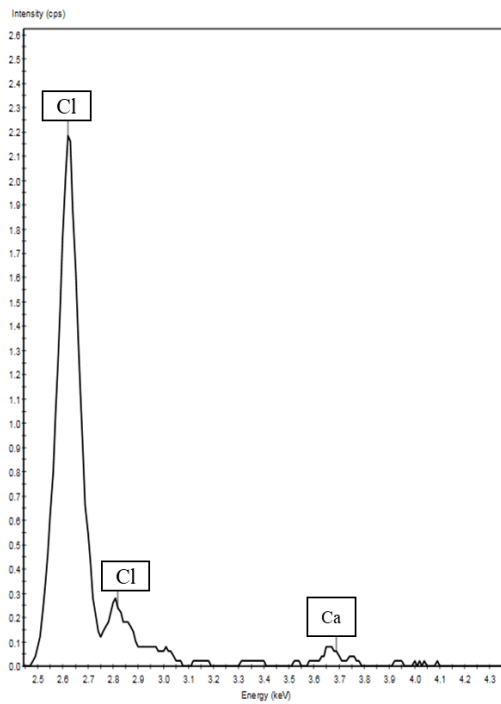
page 1 of 1

Figura 2.3 - Varrimento em Ar e Hélio para a cenoura fermentada.

Por observação da figura 2.3, para a cenoura fermentada é possível verificar a existência de enxofre, sendo que o iodo e o flúor não estão presentes em nenhum dos varrimentos.

ROI table (cps)

ROI name	Range (keV)	Rita_2019/05/15_Amostr a1_Ar

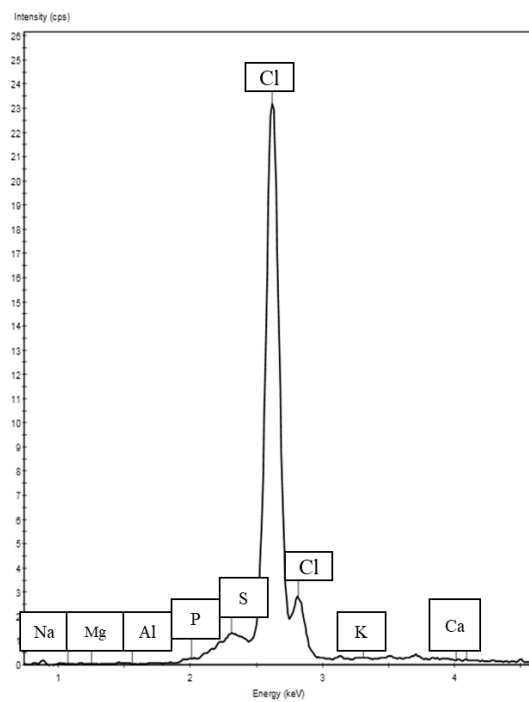


Printed on 15/05/2019

page 1 of 1

ROI table (cps)

ROI name	Range (keV)	Rita_2019/05/15_Amostr a1_Helio



Printed on 15/05/2019

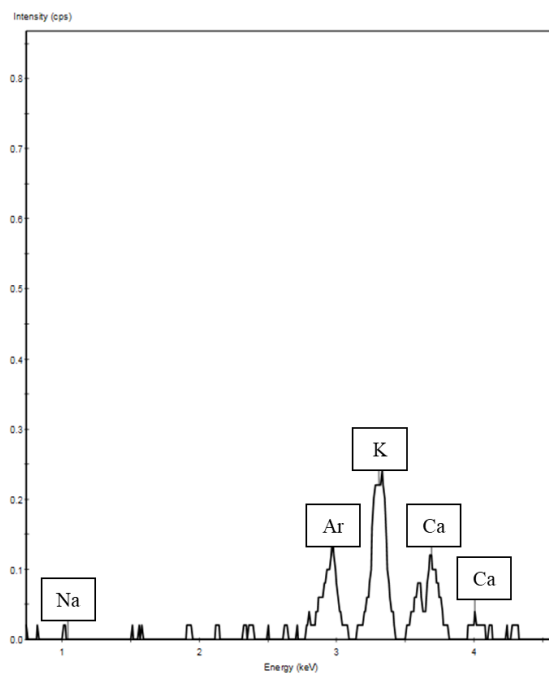
page 1 of 1

Figura 2.4 - Varrimento em Ar e Hélio para a couve-flor fermentada.

Na couve-flor fermentada (figura 2.4) salienta-se as elevadas quantidades de cloro, associado à elevada quantidade de cloreto de sódio, bem como a presença de enxofre, potássio, cálcio, magnésio e sódio, no varrimento com Hélio. Não se verifica a presença de iodo e flúor. O alumínio e escândio têm tendência a aparecer devido a interferências do tabuleiro de leitura do equipamento ou indução por elementos do mesmo grupo.

ROI table (cps)

ROI name	Range (keV)	Rita_2019/05/15_Amostr a2_Ar



ROI table (cps)

ROI name	Range (keV)	Rita_2019/05/15_Amostr a2_Helio

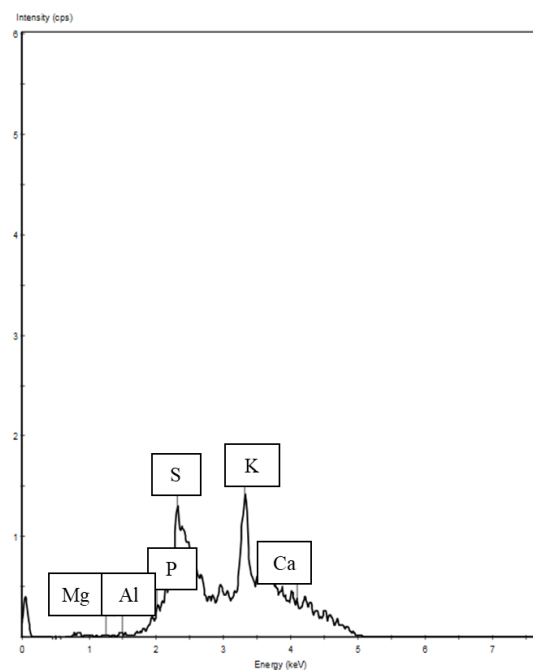


Figura 2.5 - Varrimento em Ar e Hélio para a couve-flor fresca.

No caso da couve-flor em fresco (figura 2.5) verifica-se uma elevada quantidade de enxofre e potássio, e a inexistência de iodo e flúor.

De salientar que elementos com o mesmo número de eletrões de valência pertencentes ao mesmo grupo, podem aparecer na espectrograma por arrasto.

Parâmetros analisados apenas na matriz couve-flor em fresco

Por fim e apenas para a matriz em fresco foram analisados três parâmetros como o amido, a celulose bruta e os açúcares totais. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Resultados obtidos para o amido, a celulose bruta e o teor em açúcares, para a couve-flor em fresco.

Parâmetro	Resultado	Unidades
	Couve-Flor Fresca	
Amido	182,4	% (Base Seca)
Celulose Bruta	154,7	% (Base Seca)
Teor em Sacarose	2,12	% (Base Seca)
Teor açúcares totais expresso em sacarose	2,82	% (Base Seca)

O amido foi determinado com recurso a um polarímetro pela leitura dos graus de rotação, com diferentes bases de solução, o valor obtido foi de 182,36 %, seguindo o método descrito na norma NP-2026. Devido ao erro associado a este tipo de medição, o valor obtido é superior a 100 %, pelo que não pode ser considerado. Como não existiu tempo para refazer o ensaio ou preparar mais do que uma amostra de cada vez, a avaliação deste parâmetro entra nas propostas de trabalho futuro.

Para a celulose bruta utilizou-se o processo descrito na norma NP-2029, em que a solução contendo a amostra sofreu dois ataques, um ácido e um básico. No momento da filtração ocorreram alguns percalços pois a amostra ficou presa no filtro, pelo que o peso do filtro teve de ser descontado no final, tendo o valor obtido sido de 154,67 % o que é manifestamente impossível. Este erro no valor da celulose bruta pode também ser devido a problemas na filtração e passagem de massa entre balões e filtros. Como só foi possível realizar um ensaio, não existe termo de comparação para poder avaliar o erro que ocorreu durante o ensaio.

Para o teor em açúcares totais o valor obtido foi de 2,82 % tendo-se seguido o protocolo descrito na norma NP-1785. Este valor foi determinado com base em duas soluções em que uma tinha açúcares que sofreram inversão a partir do tratamento da amostra e outra contendo os açúcares que não inverteram.

Relativamente às normas utilizadas, tentou-se utilizar sempre as mais recentes e as que mais se adequavam à matriz ou ao destino de valorização desta.

2.5.2 Comparação entre resultados obtidos e dados bibliográficos

Após determinação experimental, foi momento de comparar alguns parâmetros analisados com os que se encontram na bibliografia.

Deste modo segue uma comparação entre a couve-flor em fresco na bibliografia e experimental e entre a couve-flor em fresco da bibliografia com a couve-flor em fresco e fermentada experimental. Os valores para comparação encontram-se na tabela 2.7 (resumo de dados extraídos das tabelas 2.2 a 2.6).

Tabela 2.7 - Comparação entre valores retirados da bibliografia para a couve-flor em fresco e os determinados experimentalmente, nas matrizes de couve-flor em fresco e fermentada.

Parâmetro	Bibliografia	Determinado experimentalmente	
	(% Mássica em Base Seca)	(% Mássica em Base Seca)	
	Couve-Flor Fresca	Couve-flor Fresca	Couve-Flor Fermentada
Lípidos	1,98	0,94	0,29
Sal	0	8,39	87,28
Fibra Total	18,81	19,49	4,22
Proteína Total	36,63	3,68	0,39
Cinza	9,41	0,67	87,28
Potássio	3,76	11,37	5,94
Cálcio	0,21	0,87	2,49
Fósforo	0,34	2,34	0,46
Magnésio	0,22	0,73	0,10
Ferro	0,0050	0,037	0,019
Zinco	0,0069	0,0016	0,00043
Humidade	890,10	1190,58	276,34
Parâmetro	Bibliografia	Determinado experimentalmente	
	(% Mássica em Base Húmida)	(% Mássica em Base Húmida)	
	Couve-Flor Fresca	Couve-flor Fresca	Couve-Flor Fermentada
Humidade	89,90	92,25	73,43
Matéria Seca	10,10	7,75	26,57

Relativamente à amostra de couve-flor em fresco é possível verificar que o valor de humidade, de potássio, de fósforo, de cálcio, de magnésio e de ferro obtidos experimentalmente são superiores aos apresentados na bibliografia. Apesar de ser a mesma matriz, em alimentos naturais a composição não é fixa, pelo que os valores bibliográficos são um guia e não uma certeza.

Será de salientar a quantidade de sal determinada para a couve-flor em fresco que segundo dados da bibliografia deveria ser 0, no entanto, conta com uma percentagem em base seca de 8,39 %, um valor de humidade superior ao documentado na bibliografia e a

elevada diferença entre a quantidade de potássio, que sendo um nutriente da planta varia de unidade para unidade.

Olhando para os resultados obtidos experimentalmente é possível retirar algumas notas importantes como a clara presença de cloreto de sódio nas cinzas obtidas e a diferença da capacidade que o vegetal tem para reter água quando se encontra em fresco e quando provém de um processo de fermentação. De notar também a diferença entre os valores de proteína e fibra bruta que revelam um notório consumo durante a fermentação.

Com base na tabela 2.8 (resumo de dados extraídos das tabelas 2.2 a 2.6), é possível comparar as diferenças entre os dados bibliográficos existentes para a cenoura em fresco e os resultados obtidos experimentalmente para a cenoura em fermentado.

Tabela 2.8 - Comparação entre valores retirados da bibliografia para a cenoura em fresco e os determinados experimentalmente para a cenoura fermentada.

Parâmetro	Bibliografia	Determinado experimentalmente
	(% Mássica em Base Seca)	(% Mássica em Base Seca)
	Cenoura Fresca	Cenoura Fermentada
Lípidos	0	0,97
Sal	1,25	61,79
Fibra Total	32,50	6,25
Proteína Total	7,50	0,46
Cinza	7,50	64,27
Potássio	3,88	7,67
Cálcio	0,51	1,83
Fósforo	0,41	2,90
Magnésio	0,088	0,18
Ferro	0,0088	0,039
Zinco	0,0013	0,00072
Humidade	1150,00	475,40
Parâmetro	Bibliografia	Determinado experimentalmente
	(% Mássica em Base Húmida)	(% Mássica em Base Húmida)
	Cenoura Fresca	Cenoura Fermentada
Humidade	92,00	82,62
Matéria Seca	8,00	17,38

Tendo em conta que as matrizes são diferentes pois uma encontra-se em estado natural e a outra fermentada, verifica-se mais uma vez a diferença na capacidade de retenção de água, bem como a presença de sal na cinza do produto fermentada, o consumo

de fibra e proteína no processo de fermentação e os valores dos oligoelementos são diferentes pois a unidade da qual se partiu não era a mesma.

2.5.3 Viabilidade das opções de valorização

Tendo em vista a valorização das matrizes selecionadas, couve-flor em fresco e cenoura e couve-flor fermentadas, nesta secção são então apresentadas e analisadas várias hipóteses de viabilização dos resíduos.

2.5.3.1 Alimentação animal em fresco ou por incorporação em ração da couve flor em fresco

Para a couve-flor em fresco uma das valorizações propostas seria a doação dos resíduos de corte para uma quinta de criação animal ou a uma indústria de produção de rações, de modo a servir como adjuvante ou complemento na alimentação diária dos animais.

A ideia seria distribuir o produto no seu estado integral sem tratamento, apenas lavado e cortado, o que é possível segundo a legislação em vigor pela comissão europeia.

O estado em que se encontra este resíduo é viável para ser considerado alimento animal, no entanto deve trazer benefícios, como conter proteína ou elementos benéficos ao metabolismo do animal como cálcio, potássio ou fósforo.

Segundo o Diário da República n.º 8/2007, Série I de 2007-01-11, emitido pelo Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, é necessário inscrever os produtos em grupos consoante a sua composição, de seguida garantir a composição desses produtos e verificar quais os produtos autorizados a distribuir. Deve-se também garantir que não exercem qualquer influência desfavorável na saúde humana, animal ou no ambiente e não prejudicam o consumidor pela alteração das características dos produtos animais.

Analisando os resultados laboratoriais para a caracterização da couve-flor em fresco (tabela 2.9, resumo das tabelas 2.2 a 2.6) verifica-se que ela está apta para ser utilizada como complemento alimentar animal, exceto pelo facto de ser um alimento que contém elevada quantidade de água na sua composição o que acelera o seu estado de

degradação, pelo que seria necessário transporte e disponibilidade do recetor para entrega quase imediata, implicava o consumo no mesmo dia em que foi cortado no caso da alimentação em fresco ou desidratação de modo a poder ser incorporado em ração, nem que seja como carga (sacia a fome e não prejudica o animal).

Tabela 2.9 - Composição geral obtida em laboratório para a couve-flor em fresco.

Parâmetro		Resultados	Unidades	Parâmetro	Resultados	Unidades	
		Couve-Flor Fresca			Couve-Flor Fresca		
pH		6,46	-	Fósforo	2,342	% (Mássica em Base Seca)	
Acidez	Ácido Láctico	2,77	% (Mássica em Base Seca)	Ferro	0,037		
	Ácido Cítrico	2,00		Cobre	0,0018		
	Ácido Acético	1,74		Magnésio	0,731		
Cinzas		8,39		Zinco	0,0016		
Sal		0,67		Manganês	0,001		
Óleos e Gorduras		0,94		Cálcio	0,867		
Pigmentos	Clorofila A	$3,5 \times 10^{-5}$		Potássio	11,368		
	Clorofila B	$2,7 \times 10^{-5}$		Iodo	Não Detetável		-
	Licopeno	0		Flúor	Não Detetável		-
	β -Caroteno	$9,0 \times 10^{-6}$		Enxofre	Detetável		-
Fibra Bruta		19,49					
Proteína Bruta		3,68					
Compostos fenólicos		0,056					
Hidratos de carbono (em açúcares totais)		Não Detetável					
Amido		-					
Celulose Bruta		-					
Teor em Sacarose		2,12					
Teor açúcares totais expresso em sacarose		2,82					
Humidade		1190,58					
Humidade		92,25					
Matéria Seca		7,75	% (Mássica em Base Húmida)				

Pela tabela de composição determinada experimentalmente (tabela 2.9) é possível comparar com os grupos existentes, registar e verificar se existe algum tipo de animal com a necessidade nutricional que corresponda aos componentes da couve-flor fresca e encontrar recetores cuja transferência possa ser feita de forma breve.

Como foi referido o resíduo pode ser desidratado, por secagem ou por utilização de um filtro prensa (reduz a humidade para 40 % ou menos), o que origina a possibilidade da introdução em rações, e ainda que seja mantido o mesmo processo de enviar para compostagem por meio de um operador de resíduos certificado, os custos seriam reduzidos, pois o peso seria significativamente menor. Ter em atenção que estas duas opções incluiriam um custo à empresa, pelo facto de ser necessário adquirir um secador ou um filtro prensa.

2.5.3.2 Incorporação em ração animal da cenoura e couve-flor fermentadas

Relativamente aos resíduos provenientes de couve-flor e cenoura fermentada, estes, devido ao elevado teor de sal e humidade acabam por necessitar de lixiviação e desidratação para poder ser reavaliados como resíduo, no entanto a nível económico não é viável para a empresa, pelo que atualmente estes são enviados para compostagem (através de um operador de resíduos certificado).

Do mesmo modo que foi determinada a composição para a couve-flor em fresco também se determinou a composição para a couve-flor e cenoura fermentada.

Tendo em conta o Jornal Oficial da União Europeia de 14 de Janeiro de 2011, que define “Matérias-primas para alimentação animal, como sendo produtos de origem vegetal ou animal cujo principal objetivo é preencher as necessidades alimentares dos animais, no seu estado natural, fresco ou conservado, bem como os produtos derivados da sua transformação industrial e as substâncias orgânicas ou inorgânicas, com ou sem aditivos, destinadas a serem utilizadas na alimentação animal por via oral, quer diretamente, quer após transformação, para a preparação de alimentos compostos para animais ou como excipiente em pré-misturas”.

Adotando o mesmo artigo aplicado à alimentação em estado natural ou fresco, é permitido por lei a incorporação de resíduos industriais em alimentação animal desde que sejam comprovados benefícios associados.

A composição geral determinada experimentalmente para a couve-flor e cenoura fermentada encontra-se na tabela 2.10 (resumo das tabelas 2.2 a 2.6).

Tabela 2.10 - Composição geral da cenoura e da couve-flor fermentadas.

Parâmetro		Resultados		Unidades	Parâmetro	Resultados		Unidades	
		Cenoura Fermentada	Couve-Flor Fermentada			Cenoura Fermentada	Couve-Flor Fermentada		
pH		4,02	4,14	-	Fósforo	2,900	0,463	% (Mássica em Base Seca)	
Acidez	Ácido Láctico	2,02	0,57	% (Mássica em Base Seca)	Ferro	0,039	0,019		
	Ácido Cítrico	1,44	0,40		Cobre	0,00083	0,00078		
	Ácido Acético	1,35	0,38		Magnésio	0,180	0,102		
Cinzas		64,27	87,28		Zinco	0,00072	0,00043		
Sal		61,79	81,50		Manganês	0,00060	0,00022		
Óleos e Gorduras		0,97	0,29		Cálcio	1,827	2,494		
Pigmentos	Clorofila A	0,00011	0,00028		Potássio	7,668	5,942		
	Clorofila B	0,00013	0,00048		Iodo	Não Detetável	Não Detetável		-
	Licopeno	0	0,00019		Flúor	Não Detetável	Não Detetável		-
	β-Caroteno	0,0032	0		Enxofre	Detetável	Detetável		-
Fibra Bruta		6,25	4,22						
Proteína Bruta		0,46	0,39						
Compostos fenólicos		0,051	0,045						
Hidratos de carbono (em açúcares totais)		Não Detetável	Não Detetável						
Humidade		475,40	276,34						
Humidade		82,62	73,43	% (Mássica em Base Húmida)					
Matéria Seca		17,38	26,57						

Assim foi analisada a composição presente na tabela 2.10, em que se verificou que a quantidade de sal existente, ainda que para misturar era demasiado elevada, a elevada percentagem de humidade traria elevados problemas de degradação e devido ao consumo de oligoelementos e proteína durante a fermentação bem como a destruição de fibra, não existe uma componente nutricional que efetivamente favoreça a incorporação destes resíduos em alimentação animal.

De modo a eliminar a dúvida contactou-se a empresa “Soja de Portugal” sobre um parecer quanto à viabilidade da incorporação destes resíduos em alimentação animal, em que a resposta foi negativa, uma vez que a humidade e o teor em sal são muito elevados e não existe nenhum comprovativo de que alguns dos elementos presentes, sejam benéficos ao ponto de ser necessária a sua incorporação.

No entanto se for possível a desidratação dos resíduos e ainda que sem uma finalidade específica, podem ser incorporados como carga em rações, isto é, saciam a fome do animal, enquanto que na falta de nutrientes e gorduras não afetam o aspeto e saúde do mesmo.

É possível a eliminação da salmoura do resíduo pela utilização de um filtro prensa (que consegue atingir valores de humidade inferiores a 40 %) do qual sai um resíduo com menos água e sal, o que permite a incorporação em rações, fertilizantes, diminui os custos de transporte e gera um resíduo de salmoura que pode ser posteriormente vendido (por exemplo a uma indústria de curtumes).

2.5.3.3 Fertilizante

Tanto para a couve-flor em fresco como para a cenoura e couve-flor fermentada, foi avaliada a possibilidade de utilização destes resíduos como fertilizantes de solo. Geralmente os fertilizantes são obtidos de três formas:

- Por digestão anaeróbia em que os teores de nutrientes como azoto, fósforo e potássio não são degradados; este é um processo que gera calor produzindo energia e biofertilizante em simultâneo;
- Por compostagem, que é realizada uma degradação microbiológica na presença de oxigénio e humidade;
- Queima que não é uma escolha viável pois gera grandes quantidades de gases que prejudicam o meio ambiente (a não ser que com a escolha deste tipo de tratamento se implemente uma estação de tratamento de gases libertados).

Devido à composição específica de cada resíduo o processo para a obtenção de biofertilizante deve ser adaptado aos componentes existentes no mesmo, ou seja, digerir com recurso a adubos ou resíduos verdes de modo a ajustar quantidade de carbono e azoto. Neste tipo de valorização torna-se importante a rastreabilidade dos resíduos de modo a verificar a adição de componentes químicos indesejados.

Por análise das composições gerais descritas nas tabelas 2.9 e 2.10, verifica-se que a couve-flor fresca está apta para a digestão anaeróbia ou para a compostagem comum (digestão aeróbia) uma vez que tem nutrientes favoráveis ao solo, tem elevada humidade,

mas para este processo não é um interferente e por fim tem um pH praticamente neutro o que facilita a proliferação microbiana.

No caso dos fermentados, implica a mistura com outros resíduos que não contenham sal de modo a tornar a mistura menos salgada, preferencialmente com um teor inferior a 5% de modo a não prejudicar o desenvolvimento microbiano. Outra opção é a lixiviação dos resíduos, no entanto este passo tem um custo adicional pois o tratamento de efluente com excesso de cloretos é dispendioso.

2.5.3.4 Extração de compostos de elevado valor

Como elementos de elevado valor foram considerados os oligoelementos, as proteínas, a fibra, os pigmentos, os açúcares e os lípidos. A recolha destes elementos é possível devido a tratamentos em diferentes meios e processos de extração com diferentes solventes e em diferentes condições.

Mais uma vez analisando os resultados apresentados nas tabelas 2.9 e 2.10, para todas as matrizes em análise verifica-se que a nível de oligoelementos, proteínas, fibra, lípidos e açúcares a cenoura e a couve-flor fermentada, contêm pouca quantidade, o que implicada uma elevada disponibilidade de resíduo a cada processo de extração de modo a compensar o custo do processo [14]. No caso dos pigmentos a cenoura mesmo após a fermentação ainda tem uma quantidade atrativa de β -carotenos, o que é de fácil extração, no entanto para ser utilizado como pigmento natural teria de sofrer um processo de desidratação de modo a obter um pigmento estável e duradouro.

No caso da couve-flor em fresco, os valores dos oligoelementos magnésio, cálcio e potássio são bastante atrativos, já os açúcares, o amido e a celulose bruta que através de processos de inversão possam vir a originar açúcares simples, têm valores baixos e com as perdas em cada etapa de tratamento, tornam a extração destes pouco atrativa.

Na sua maioria, a valorização económica de resíduos em compostos de elevado valor, apesar de atrativa, não é facilmente sustentável a nível económico, embora a matéria-prima seja de baixo custo de obtenção, implica elevados custos de armazém e processamento. Para que o processo compense é necessária uma elevada disponibilidade de matéria prima com as mesmas características.

2.5.3.5 Biocombustíveis

Na viabilidade de transformação de um resíduo agroalimentar em bioetanol, biodiesel ou biogás, apenas foi considerada a matriz, couve-flor em fresco, uma vez que o elevado teor em cloreto de sódio presente nas amostras em fermentado torna difícil todos os processos subsequentes à transformação de uma matéria biológica em biocombustível.

A atenção foi concentrada na quantidade de açúcares no estado de mono ou dissacarídeo. Assim para a avaliação da viabilidade desta matriz como matéria prima para biocombustíveis apenas se avaliaram os valores da percentagem de lípidos (0,94 % Mássica em Base Seca), a percentagem de amido, a percentagem de celulose bruta e a percentagem de açúcares totais expressos em sacarose (2,82 % Mássica m Base Seca).

Eliminada a possibilidade de valorização pela quantidade de açúcares totais e de lípidos, pois não existiam em quantidade suficiente para se prosseguir, é necessário pensar no amido e na celulose bruta como principais fontes de açúcares após um processo de inversão e no caso da celulose de um tratamento prévio para remoção de hemicelulose e lignina.

No entanto a viabilidade destes não é significativa pois seria necessária uma elevada quantidade de matéria-prima, uma moagem primária e tratamento, o que leva a perda de material e a um processo muito dispendioso para pouco retorno. Devido a erros laboratoriais na determinação do amido e da celulose não foi possível obter uma quantidade guia, assim para melhor avaliação os ensaios teriam de ser realizados de novo.

Quanto à totalidade da couve-flor fresca em bruto, é possível considerar a produção de bio hidrogénio através de atividade microbiológica. Ainda que este tipo de valorização se encontre em fase de estudo [11], tem apresentado resultados promissores.

3. Levantamento de Consumos Energéticos da ETARI

3.1 Introdução

A energia elétrica é considerada um recurso fundamental para o crescimento económico, segundo dados fornecidos pelo Pordata, Base de Dados Contemporâneo, em 2017, em Portugal, cerca de 40,9 % da energia elétrica produzida provem de fontes renováveis, pelo que em prol do meio ambiente e da sustentabilidade de recursos, o uso consciencioso de eletricidade deve ser considerado.

Os estudos de otimização energética são geralmente considerados como pré-condição para avaliar possibilidades de redução do consumo de energia e melhoramento da eficiência energética [44].

3.2 Energia

A energia elétrica está presente no quotidiano de qualquer pessoa, sendo um bem considerado essencial, é então necessário compreender como evitar consumos desnecessários aplicando, planos de otimização energética que beneficiem economicamente os utilizadores e permitam um crescimento sustentável.

3.2.1 Consumos Energéticos em Portugal

Segundo a Pordata, Base de Dados Contemporâneo, sabe-se que em Portugal o grande consumidor, ao longo dos anos, é a indústria. No entanto, com as empresas a requerer certificações ambientais, com vista a diminuição de custos e eficiência de processos industriais, de 2010 para 2017, verificou-se uma diminuição no consumo de energia elétrica pelas indústrias portuguesas (Figura 3.1).

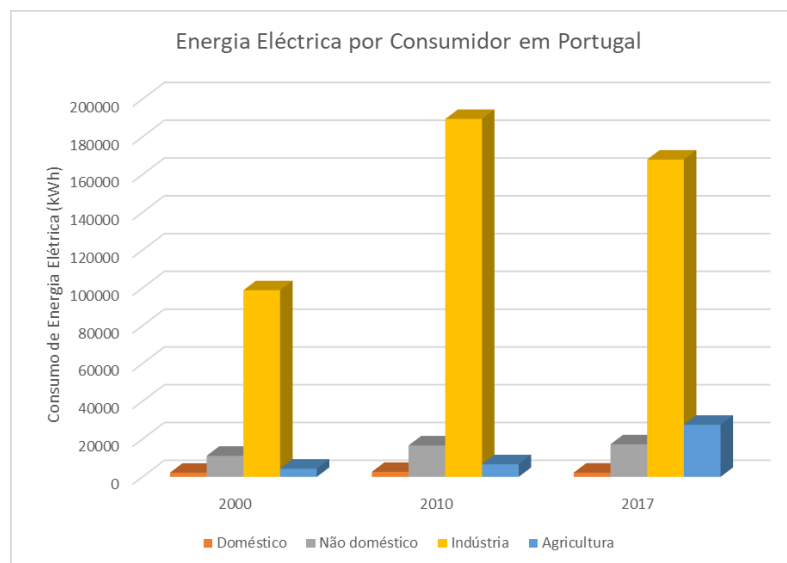


Figura 3.1 - Consumo de energia eléctrica por tipo de consumidor, em Portugal [45].

Sendo que o sector de indústria/comércio que mais consome energia eléctrica é a indústria transformadora (Figura 3.2), o que no presente trabalho remete para a importância da avaliação de consumos de energia eléctrica na indústria, nomeadamente na indústria transformadora de alimentos como é o caso da Maçarico.

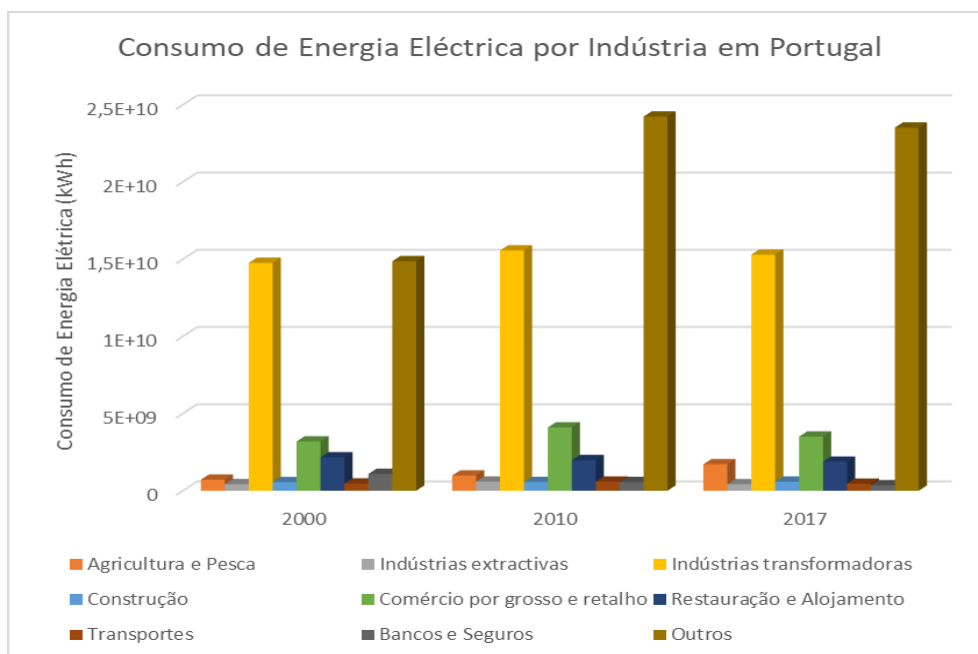


Figura 3.2 - Consumo de energia eléctrica por sectores, em Portugal [45].

Com base na figura 3.2, é possível observar que a indústria transformadora se manteve como uma das maiores consumidoras, sendo que a partir de 2010, as indústrias indiferenciadas têm tomado o lugar de maior consumidor.

Avaliando dados e grandes consumidores, o governo Português, segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, estruturou um plano de eficácia energética que se rege por:

1. Promover e cooperar na elaboração de normas, regulamentos e especificações técnicas relativos ao incremento da eficiência no uso da energia;
2. Acompanhar a evolução tecnológica dos equipamentos de consumo final de energia e promover a divulgação desse desenvolvimento;
3. Promover a eficiência energética e a diversificação de utilização de fontes de energia primária;
4. Assegurar o cumprimento da legislação em vigor relativa à gestão de energia;
5. Apoiar, técnica e tecnologicamente, os consumidores visando uma maior eficiência na utilização de energia;
6. Analisar e emitir um parecer técnico sobre programas, projetos de gestão, conservação de energia e diversificação de fontes energéticas;
7. Apoiar a gestão dos sistemas de incentivos e regimes de apoio estabelecidos a nível nacional ou comunitário, destinados aos recursos endógenos e à eficiência energética;
8. Proceder ao estímulo e enquadramento das Agências de Energia.

Tentando garantir uma opinião informada, foi também publicada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 que aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020) [46].

3.2.2 Auditorias Energéticas

As Auditorias energéticas podem ser efetuadas de diferentes formas, dependendo do consumo da empresa/entidade em questão. Em Portugal o órgão responsável é o SGCIE, ou seja, o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia. Uma entidade

para ser considerada Consumidora Intensiva de Energia (CIE) tem que ter um consumo anual superior a 500 tep [47].

Uma Auditoria Energética de forma geral consiste em três etapas. Inicialmente é feita a verificação dos consumos específicos, de seguida uma avaliação da necessidade de um Plano de Racionalização Energético (PREn) e por último a determinação da classe energética e a emissão do Certificado Energético [46],[48].

Segundo o Despacho 17449/2008, descrito no Diário da República, 2.ª série de 27 de Junho de 2008, uma auditoria Energética deve seguir as seguintes etapas:

1. Quantificar os consumos energéticos (por instalação global e principais secções e ou equipamentos) e a sua importância no custo final do(s) produto(s);
2. Efetuar uma inspeção visual dos equipamentos e ou sistemas consumidores de energia, complementada pelas medições necessárias;
3. Esclarecer como é transformada a energia e quais os seus custos;
4. Efetuar um levantamento e caracterização detalhados dos principais equipamentos consumidores de energia, sobretudo com maior peso em termos de potência instalada, quer elétrica, quer térmica;
5. Obter diagramas de carga (DDC) elétricos dos sistemas considerados grandes consumidores de eletricidade;
6. Determinar a eficiência energética de geradores de energia térmica eventualmente existentes, pelos métodos das perdas ou direto;
7. Verificar o estado das instalações de transporte e distribuição de energia;
8. Verificar a existência do bom funcionamento dos aparelhos de controlo e regulação do equipamento de conversão e utilização de energia;
9. Realizar balanços de massa e energia aos principais equipamentos consumidores de energia térmica;
10. Determinar consumos específicos de energia durante o período de realização da auditoria, para posterior comparação com os valores médios mensais e anuais e deteção de eventuais variações sazonais;
11. Determinar o quociente entre o consumo energético total e o valor acrescentado bruto (kgep/VAB) da atividade empresarial diretamente ligada à instalação consumidora intensiva de energia, bem como, o consumo específico de energia (kgep/unidade de produção);

12. Identificar e quantificar as possíveis áreas onde as economias de energia são viáveis, como resultado das situações encontradas/anomalias detetadas e medições efetuadas;
13. Definir intervenções com viabilidade técnico -económica, conducentes ao aumento da eficiência energética e ou à redução da fatura energética;
14. Definir as linhas orientadoras para a implementação ou melhoria de um esquema operacional de Gestão de Energia [49].

Deste modo, antes de se iniciar uma auditoria em concreto é necessário, por parte do auditor, um estudo complementar de equipamentos, funções, regimes e um bom planeamento de atuação no local, de modo a facilitar as medidas a serem tomadas.

Na presente dissertação foi realizado um levantamento e quantificação de consumos energéticos, uma caracterização de todos os equipamentos analisados e uma avaliação de possíveis melhorias.

3.2.3 Energia Ativa, Energia Reativa e Energia Aparente

O consumo de energia elétrica pode ocorrer de duas formas, por absorção total, ou seja, toda a energia recebida é convertida em luz e/ou calor em recetores/equipamentos resistivos (caso das resistências elétricas e das lâmpadas incandescentes), ou por absorção parcial, em recetores/equipamentos indutivos (caso dos motores elétricos), em que, uma parte da energia absorvida é utilizada para a criação de um campo de indução ou eletromagnético e a restante é efetivamente utilizada.

A potência elétrica pode ser dividida em três componentes, a potência ativa ($P = U \times I \times \cos \phi$), a potência reativa ($Q = U \times I \times \sin \phi$) e a potência aparente ($S = U \times I$) sendo U a tensão elétrica, I a intensidade da corrente e ϕ o desfasamento entre a tensão e a intensidade da corrente elétrica [50].

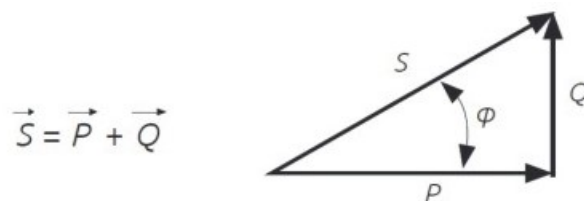


Figura 3.3 - Triângulo das potências [50].

Potência ativa é a potência que é efetivamente utilizada pelo equipamento de modo a desempenhar a função que lhe é respecitante (produzir trabalho, calor ou luz).

A potência reativa é a potência utilizada pelos recetores indutivos de modo a criar corrente eletromagnética nas bobinas, necessária ao funcionamento dos equipamentos, no entanto esta potência não gera trabalho.

Por observação do triângulo das potências (figura 3.3) tem-se que, a potência aparente é igual à soma vetorial das potências ativa e reativa. O valor do desfasamento entre U e I é dado pelo $\cos \phi$, designado por fator de potência, e calcula-se pela razão entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S). Assim a energia aparente é a potência real que circula no circuito, ou seja, é toda a potência que chega aos equipamentos, quer seja só ativa ($\cos \phi = 1$, situação ideal) quer seja a soma vetorial da potência ativa com a reativa ($\cos \phi < 1$) [50].

Por vezes, devido ao sobredimensionamento de equipamentos, a energia reativa que circula na rede é elevada podendo passar a ser cobrada, se o valor da energia reativa gasta for superior a 30% do valor da energia ativa consumida. O estudo dos consumos provocados por esta potência, tornam-se assim importantes, pois existem soluções que permitem evitar gastos excessivos, como a instalação de uma bateria de condensadores, ou seja, equipamentos que quando alimentados com corrente alternada, consomem a potência reativa, conduzindo a intensidade da corrente antes da tensão, compensando assim o circuito indutivo e diminuindo o consumo de energia reativa [50].

3.2.4 Sistemas Trifásicos e Monofásicos

Existem dois tipos de sistemas elétricos comuns, o sistema monofásico e o sistema trifásico, para o uso de cada um é necessário conhecer a forma como atua, onde se aplica, vantagens e desvantagens.

Apresentam-se a seguir algumas vantagens dos sistemas trifásicos em relação aos monofásicos, a nível da sua produção, transporte e utilização:

- Considerando dois alternadores, um monofásico e outro trifásico, de igual volume e preço, o segundo tem uma potência aproximadamente 50 % superior ao primeiro. Tal deve-se ao facto de haver um maior aproveitamento do perímetro das bobinas que trabalham com forças eletromotrizes induzidas;

- O somatório dos condutores necessários para transportar uma determinada potência, em trifásicos é menor que nos sistemas monofásicos, em igualdade de condições de potência transportada, perdas e tensão nominal;
- Para transportar uma dada quantidade de energia bastam três (ou quatro, com o neutro) fios em trifásico, enquanto em monofásico seriam necessários seis fios de igual secção (ou dois de secção tripla);
- A capacidade dos sistemas trifásicos de produzir campos magnéticos girantes, permite a utilização de motores trifásicos simples, robustos e económicos.

Alternador trifásico, dado que produz três tensões alternadas com fases diferentes. A partir de um sistema trifásico podem obter-se três sistemas monofásicos. O alternador que apenas produz uma tensão designa-se por Alternador Monofásico, geralmente constituído por uma fase e um neutro [51].

Os recetores trifásicos são formados por três elementos elétricos (bobinas, resistências, etc.) ou seja três fases e um neutro, podem ser ligados de duas maneiras, em estrela – Y e em triângulo Δ

Sistemas trifásicos com ligação em estrela - Y

Os recetores com ligação em estrela, podem ocorrer em sistemas equilibrados (têm a mesma impedância em cada recetor apresentando corrente constante [52]), ou sistemas desequilibrados (cujas impedâncias são diferentes em todos os recetores).

Num sistema trifásico em estrela têm-se três fases (R, S e T) e um elemento neutro (N). O elemento Neutro está ligado a três terminais de fase e tem corrente nula, assim a energia elétrica que entra pode ser distribuída por quatro condutores, sendo que o neutro está ligado à terra. O sistema de ligação encontra-se representado na figura 3.4.

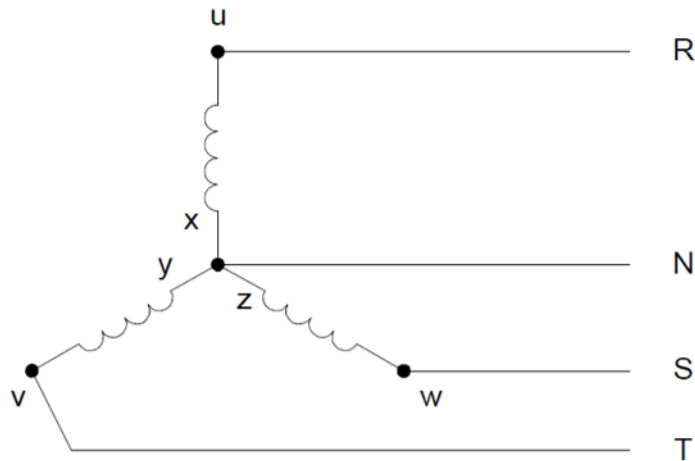


Figura 3.4 - Representação esquemática da ligação trifásica em estrela (Y) [51].

Se o sistema em estrela for equilibrado o neutro é dispensável, pois pode ser retirado sem alteração dos recetores, deste modo uma fase faz retorno em relação às outras duas.

No caso dum sistema com ligação em estrela, ser desequilibrado, o somatório das correntes nas fases não é nulo, sendo indispensável a ligação ao neutro. Mesmo nos casos em que a estrela é normalmente equilibrada, não se deve cortar o neutro, sendo que no momento em que ocorra uma falha (por corte de um dispositivo de proteção, por exemplo) estabelece-se um desequilíbrio de tensões.

É necessário referir ainda que se pretende equilibrar ao máximo os sistemas trifásicos, de modo a que a corrente no neutro, seja o menor possível. Uma menor corrente no neutro tem a vantagem de permitir a utilização de um condutor de menor secção, para as mesmas perdas energéticas. É por isso que o condutor neutro é normalmente mais fino que os condutores de fase (caso das linhas de transporte de energia elétrica com neutro) [51].

Sistemas trifásicos com ligação em triângulo - Δ

Num sistema trifásico com ligação em triângulo, as fases estão ligadas entre si, ou seja, originam tensões compostas. O sistema de ligação em triângulo encontra-se representado na figura 3.5.

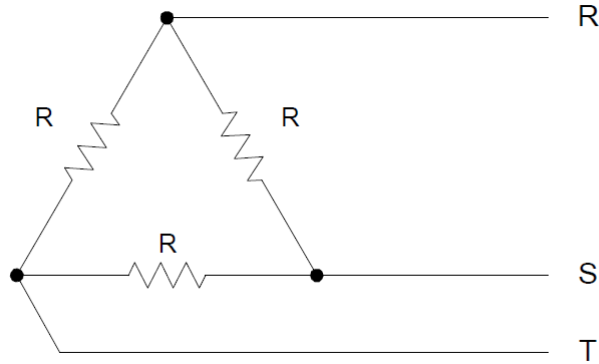


Figura 3.5 - Representação esquemática da ligação trifásica em triângulo (Δ) [51].

De modo semelhante ao que acontece com a ligação em estrela também as ligações em triângulo podem ser equilibradas ou desequilibradas. Se a ligação em triângulo ocorrer num sistema equilibrado as correntes de linha (entre fases) são $\sqrt{3}$ vezes superiores às de fase, se o sistema for desequilibrado as correntes na linha são determinadas em termos vetoriais através da aplicação da lei dos nós de *Kirchoff* [51].

3.2.5 Formas de medição e processos de cálculo utilizados

Analisando a ETARI em estudo, verificou-se que existem equipamentos monofásicos e trifásicos ligados em estrela com acesso ao neutro. Após primeiro contacto verificou-se que se trata de um sistema equilibrado, deste modo a análise matemática dos dados foi efetuada para um sistema equilibrado quer em monofásico quer em trifásico.

Considere-se um sistema monofásico em que a fase é designada de R e o neutro de N.

A energia ativa (P) é calculada de acordo com a equação 3.1.

$$P = U_{RN} \times I_R \times \cos \phi \quad \text{Equação 3.1}$$

Sendo U a tensão elétrica, I a intensidade da corrente, ϕ o ângulo do desfasamento entre a tensão e a intensidade da corrente elétrica e por fim o $\cos \phi$ representando o fator de potência do motor em análise.

A energia reativa (Q) é dada pela equação 3.2.

$$Q = U_{RN} \times I_R \times \sin \phi \quad \text{Equação 3.2}$$

A energia aparente (S) é então dada pela equação 3.3.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U_{RN} \times I_R \quad \text{Equação 3.3}$$

Para um sistema trifásico, com ligação em estrela e equilibrado tem-se que R, S e T são fases e N é o neutro. As medições podem ser efetuadas de duas formas, pela leitura de tensões simples ou pela leitura de tensões compostas, que diferem na forma como os dados são tratados (como retratado na figura 3.6).

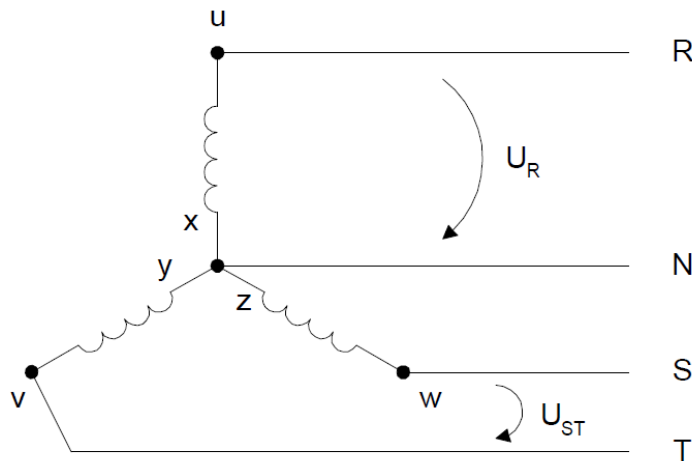


Figura 3.6 - Esquema representativo de leitura em tensões simples e em tensões compostas [51].

Leitura em tensões simples: pressupõe a medição da tensão na fase (R na figura 3.6) em contraste com o neutro (N na figura 3.6).

O cálculo da energia ativa total do motor requer o cálculo da energia ativa de cada fase individualmente e por fim o somatório das três. A potência ativa de cada fase é dada pela equação 3.4, 3.5 e 3.6.

$$P_R = U_{RN} \times I_R \times \cos \phi \quad \text{Equação 3.4}$$

$$P_S = U_{SN} \times I_S \times \cos \phi \quad \text{Equação 3.5}$$

$$P_T = U_{TN} \times I_T \times \cos \phi \quad \text{Equação 3.6}$$

A energia ativa total é dada por: $P_{Total} = P_R + P_S + P_T$ Equação 3.7

De modo análogo à energia ativa a energia reativa é calculada da mesma forma, sendo necessário somar a energia reativa de cada fase de modo a obter a total.

$$Q_R = U_{RN} \times I_R \times \text{sen } \phi \quad \text{Equação 3.8}$$

$$Q_S = U_{SN} \times I_S \times \text{sen } \phi \quad \text{Equação 3.9}$$

$$Q_T = U_{TN} \times I_T \times \text{sen } \phi \quad \text{Equação 3.10}$$

A energia ativa total é dada por: $Q_{Total} = Q_R + Q_S + Q_T$ Equação 3.11

A energia aparente aparece então como, $S_{Total} = \sqrt{P_{Total}^2 + Q_{Total}^2}$ Equação 3.12

Leitura em tensões compostas: pressupõe a medição da tensão entre duas fases (S e T na figura 3.6).

O cálculo da energia ativa total do motor requer o cálculo da energia ativa de cada linha, ou seja, três medições entre cada par de fases.

$$P_R = U_{ST} \times I_R \times \text{cos } \phi \quad \text{Equação 3.13}$$

$$P_S = U_{RT} \times I_S \times \text{cos } \phi \quad \text{Equação 3.14}$$

$$P_T = U_{RS} \times I_T \times \text{cos } \phi \quad \text{Equação 3.15}$$

Sendo a tensão composta, $\sqrt{3}$ vezes superior à tensão simples é necessário multiplicar na energia total, deste modo a multiplicação da energia ativa de uma linha por $\sqrt{3}$ representa o valor da energia ativa total.

A energia ativa total é dada por: $P_{Total} = \sqrt{3} \times P_R$ Equação 3.16

De modo análogo à energia ativa a energia reativa é calculada da seguinte forma:

$$Q_R = U_{ST} \times I_R \times \text{sen } \phi \quad \text{Equação 3.17}$$

$$Q_S = U_{RT} \times I_S \times \text{sen } \phi \quad \text{Equação 3.18}$$

$$Q_T = U_{RS} \times I_T \times \text{sen } \phi \quad \text{Equação 3.19}$$

A energia ativa total é dada por: $Q_{Total} = \sqrt{3} \times Q_R$ Equação 3.20

A energia aparente aparece então como, $S_{Total} = \sqrt{P_{Total}^2 + Q_{Total}^2}$ Equação 3.21 [52]

3.2.6 Opções de melhoria de consumos de equipamento

Após medição e tratamento de dados dos equipamentos consumidores de energia, é possível verificar quais as opções de melhoramento a adotar. De um modo geral em sistemas de processo eléctricos, são utilizados sistemas de melhoria comuns, como variadores de frequência, sistemas de condensadores e como opção final a substituição do motor existente por um motor de uma gama de eficiência superior.

Utilização de variadores de frequência

Um variador de frequência/velocidade é um dispositivo que é usado para controlar a velocidade de um motor de indução. Um motor de indução de corrente alternada, é um motor de velocidade constante, em muitas aplicações os motores podem diminuir consideravelmente o consumo de energia eléctrica, se a velocidade do motor variar com a alteração das condições do processo.

Um variador controla a velocidade do motor pela alteração da frequência da alimentação eléctrica, convertendo a frequência da rede numa frequência entre 0 e 300 Hz ou superior, controlando a velocidade do motor proporcionalmente à frequência.

São geralmente utilizados em bombas, compressores e ventiladores, especialmente em casos de funcionamento contínuo, sendo a energia mecânica necessária proporcional ao quadrado do fluxo, isto é, reduzindo o fluxo de 100% para 80% do valor nominal, reduz em 64% o consumo de energia [53].

Substituição de motores

Com vista à diminuição do consumo de energia eléctrica por parte de motores eléctricos, a União Europeia emitiu o regulamento CE 640/2009 de modo a evitar impactos imprevistos no mercado e no desempenho dos produtos abrangidos pelo mesmo, a legislação, também conhecida como EU MEPS (European Minimum Energy Performance Standard), que estabelece níveis mínimos de rendimento para Motores Eléctricos de Baixa Tensão, dentro do Mercado Europeu. A norma IEC (International Electrotechnical Commission) 60034-30-2008 foi criada e define as seguintes classes de rendimentos para motores trifásicos: IE1-Rendimento Standard, IE2-Alto Rendimento, IE3-Rendimento Premium e IE4-Rendimento Super Premium.

Estas classes são apenas aplicadas a motores elétricos trifásicos de indução, com uma velocidade de 50 ou 50/60 Hz, com 2, 4 ou 6 polos, uma potência entre 0,75 kW a 375 kW, com funcionamento contínuo (S1) e uma tensão nominal inferior ou igual a 1000 V.

Os efeitos positivos da utilização de motores mais eficientes no consumo de energia e na emissão de CO₂ (principal poluente decorrente da produção de energia elétrica a partir de fontes não renováveis, como o petróleo) são bem conhecidos, como tal substituir um motor de baixa eficiência por um motor de alta eficiência poderá representar uma poupança após avaliação do período de vida útil do motor e dos consumos antes e depois da alteração do motor. Investir num motor IE3 ou IE4, dependendo da aplicação, a situação ideal será um tempo reduzido de retorno do investimento [54].

Utilização de um sistema de condensadores

Embora só a potência ativa seja consumida, também a potência reativa representa um gasto para quem gera, transporta e distribui a energia. Desta forma, ao fornecedor de energia interessa que não existam consumos de energia reativa a oscilar na rede devido à entrada em funcionamento de equipamentos com fatores de potência instantâneos bastante inferiores a 1.

Conseguir um fator de potência, o mais próximo possível de 1, é, portanto, uma vantagem para todos os intervenientes da Cadeia da Energia Elétrica. Em instalações de alguma dimensão, tais como fábricas, é conveniente compensar fatores de potência baixos, que conduzem a elevadas potências reativas e, portanto, a um possível pagamento desta energia ao respetivo fornecedor.

Este “melhoramento” da instalação é geralmente efetuado recorrendo à utilização de condensadores, em paralelo com os recetores (equipamentos), de modo a que a corrente “capacitiva” (que efetua trabalho) que neles circula vá anular (reduzir ao máximo) a corrente “indutiva” (induz campos magnéticos nas bobinas dos motores) dos recetores. Através da ligação em paralelo da capacidade adequada, é possível anular a componente indutiva da corrente, existindo apenas a componente ativa (ângulo $\phi = 0^\circ$, $\cos \phi = 1$) [51].

Se a potência de compensação necessária (potência reativa) for inferior a 15% da potência do transformador do posto de transformação, é mais económico optar por uma

bateria de condensadores de capacidade fixa. Se a potência de compensação for superior a 15% deve-se utilizar uma bateria de condensadores de regulação automática [55].

3.3 A ETARI

O estudo de otimização energética da ETARI assentou na análise de consumos por cada equipamento, por etapa de tratamento e por caudal de efluente tratado. Assegurando o cumprimento do nível de exigência de qualidade da água residual tratada foram então realizadas ações como, análise de consumos e avaliação de propostas de melhoria de eficiência, com a finalidade de obter o maior e melhor rendimento possível, nos custos de exploração associados ao processo de tratamento de efluente.

O esquema de tratamento nesta fase de início de operação para levar a cabo o tratamento das águas residuais da Maçarico II, é constituído por uma linha de tratamento para a fase líquida que compreende os seguintes processos:

- Elevação de efluentes concentrados, em bombas centrífugas submersíveis;
- Tamisagem de efluentes concentrados, em tamisador estático;
- Equalização de caudais e cargas de efluentes concentrados, com o amortecimento de picos afluentes e elevação das águas residuais até ao tratamento físico-químico;
- Tratamento físico-químico de efluentes concentrados, incluindo neutralização, coagulação, floculação e flotação.
- Tratamento biológico de efluentes mistos.

Por sua vez, a linha de tratamento da fase sólida, é constituída pelas seguintes etapas:

- Espessamento gravítico, onde ocorrerá o adensamento gravítico das lamas produzidas no tratamento das águas residuais;
- Armazenamento de lamas, onde ocorrerá a mistura das lamas produzidas;
- Desidratação mecânica de lamas, recorrendo a uma centrífuga.

Realizou-se uma análise energética específica dos equipamentos no quadro elétrico geral em leituras semanais durante os meses de junho e julho [56].

3.3.1 A ETARI e respetivos equipamentos consumidores de energia elétrica

O processo de tratamento na ETARI, representado na figura 3.7, inicia-se pela chegada de efluentes a duas estações elevatórias distintas, a de concentrados e a de mistos. Para a estação elevatória de concentrados chegam os efluentes com maior carga, isto é, saturados de resíduos líquidos e sólidos em suspensão (essencialmente efluentes provenientes da produção), já para os mistos chegam efluentes com menor carga como águas de limpeza da produção, águas residuais da unidade de produção e o efluente resultante do tratamento físico-químico (floculação/flotação/ozonização).

Das estações elevatórias, os efluentes são elevados até ao tamisador estático (onde são retirados os sólidos por gravidade), por meio de dois grupos de eletrobombas, em que uma funcionará como reserva da outra, sendo o nível de efluente nas estações controlado por sensores do tipo boia.

De seguida dão entrada nos respetivos tanques de equalização, sendo que na conduta existem medidores de caudal eletromagnéticos. O nível dos tanques de equalização é controlado por um sensor e a agitação garantida por agitadores submersíveis horizontais de modo a evitar a deposição de sólidos. A saída dos efluentes dos tanques de equalização é feita através de eletrobombas de parafuso excêntrico. De salientar que os efluentes provenientes do tanque de equalização de concentrados seguem para tratamento físico-químico, já os efluentes provenientes do tanque de equalização de mistos seguem diretamente para tratamento biológico.

No floculador/flotador (DAF-Flotação por Ar Dissolvido) o efluente concentrado entra num circuito tubular onde são adicionados reagentes, como neutralizantes, coagulantes e floculantes, por meio de bombas doseadoras, o efluente segue para o fundo do tubo de limpeza e dá entrada na bomba de recirculação voltando ao sistema, onde existe ar (proveniente de um compressor) em suspensão, formando microbolhas, promovendo assim a elevação da espuma que é posteriormente retirada por pás (designado de raspador), a espuma segue então para o tanque de lamas. Aqui o efluente limpo de concentrados segue para o processo de ozonização.

O processo de ozonização é utilizado para garantir a eliminação de toda a carga orgânica presente no efluente, e consiste na produção local de ozono, entre dois eléctrodos através de uma descarga elétrica. Do processo de ozonização os efluentes seguem para a estação elevatória de mistos.

No reator biológico, composto por dois estágios com conversão aeróbia heterotrófica de matéria orgânica, o arejamento é promovido por um par de sobreprensos, que através de uma tubagem com pequenos orifícios libertam ar no sistema, o funcionamento destes é coordenado pela sonda que mede o nível de oxigénio no reator.

As lamas que se encontram no tanque de desidratação de lamas (onde por pratos difusores é distribuído ar de modo a evitar sedimentação) seguem para a centrífuga (cujo funcionamento depende do nível de lamas no tanque) onde são desidratadas e depositadas num contentor de lamas, já a fase líquida que é separada segue novamente para tratamento (estação elevatória de mistos).

A biomassa sedimentada no reator biológico dá entrada no decantador lamelar, onde se dá a separação entre a fase líquida e a fase sólida. As lamas (fase sólida) são retiradas para o tanque de armazenamento de lamas e o efluente líquido segue para os filtros de carvão ativado. O efluente que sai dos filtros é descarregado em linha de água [1], [56].

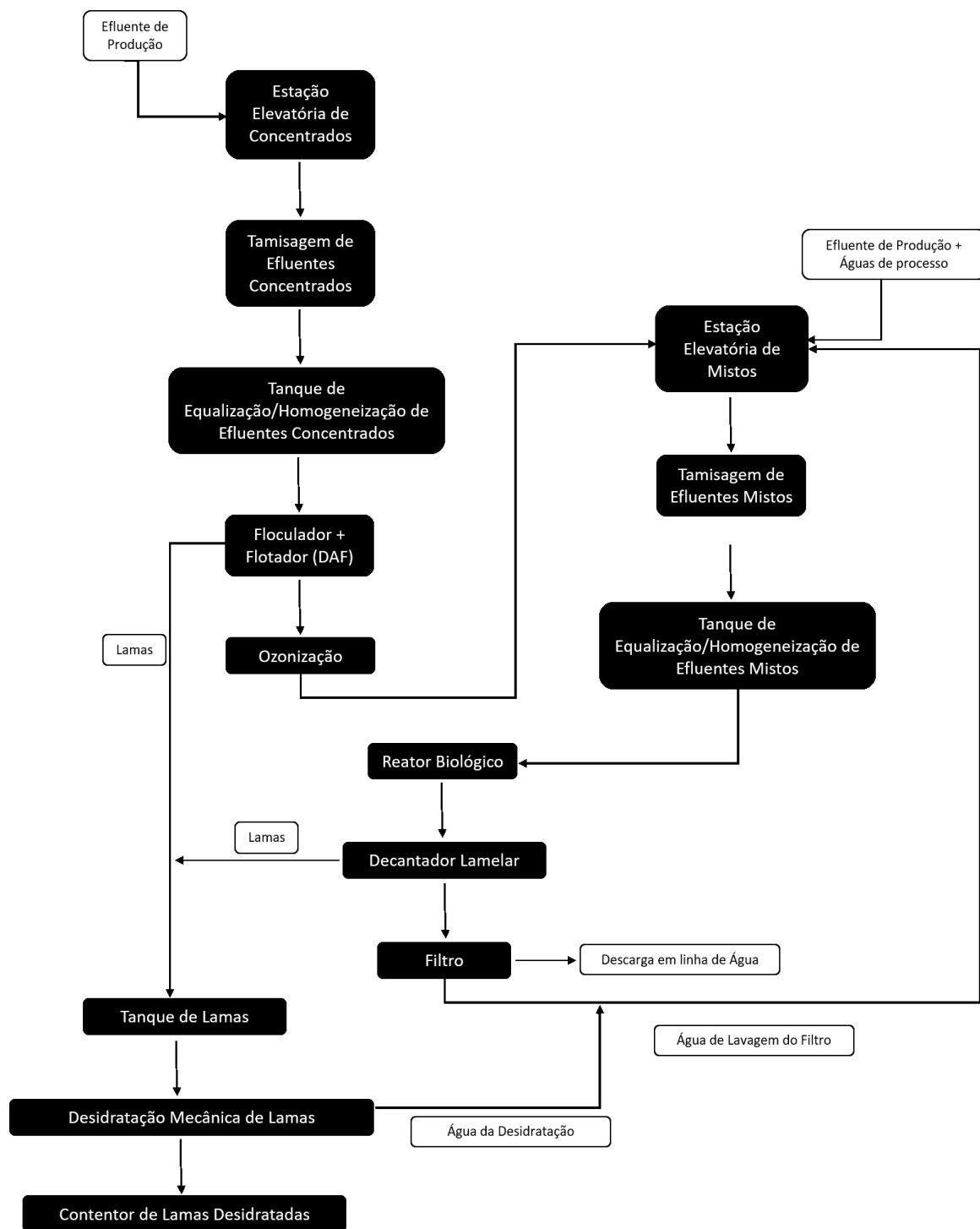


Figura 3.7 - Esquema representativo do processo da ETARI.

Neste trabalho apenas vão ser avaliados os consumos energéticos dos equipamentos que se encontram na ETARI. Existe também uma ETA onde os equipamentos consumidores de energia são apenas cinco bombas, em que duas das apenas funcionam se existir alteração dos parâmetros da água e seja necessária a filtração.

Tendo em atenção que a ETARI ainda se encontra em início de operação, os equipamentos correspondentes ao sistema de ozonização, ao decantador lamelar e ao filtro não vão ser estudados uma vez que vai ser a última fase do projeto a ser implementada.

3.3.2 Localização e caracterização dos equipamentos consumidores de energia elétrica

A chegada de efluente às estações elevatórias dá-se por escorrência, assim que o volume se encontra acima de 20 % do volume total do tanque da elevatória, inicia o funcionamento das eletrobombas centrífugas submersíveis com uma emissão de caudal correspondente a 20 m³/h. De notar que ambas as elevatórias contêm um grupo de eletrobombas, uma de serviço e outra de reserva que atua em momentos de avaria ou excesso de caudal na elevatória (acima de 70 % do volume total). As eletrobombas (BSC1, BSC2, BSM3 e BSM4) têm como função enviar efluente para o tamisador estático com escorrência de sólidos que saem por gravidade para um contentor de resíduos orgânicos e o líquido cai para os tanques de equalização.

Nos tanques de equalização (um de concentrados com menor volume associado a um de mistos com maior volume) a saída de efluente ocorre com recurso a duas bombas parafuso por cada tanque (BPC1, BPC2, BPM3 e BPM4), que arrancam acima de 20 % do volume total do tanque (que é também o nível mínimo a que os agitadores submersíveis ASC1, ASM2 e ASM3, funcionam) e quando é atingido 90 % do volume as eletrobombas das elevatórias cessam funções.

Após saída dos tanques de equalização têm-se então dois sistemas de tratamento, o flotador que é constituído por um raspador (R), uma bomba de recirculação (RB) e um compressor (C1), associado a este está um conjunto de bombas doseadoras que atuam consoante as necessidades de tratamento do efluente (BD3, BD4, BD5, BD6, BD7, BD8 e AV1), os reatores biológicos (dois reatores com um mesmo volume) que têm na sua constituição quatro agitadores submersíveis (AS4, AS5, AS6 e AS7) e adjacente dois sobrepressores (S1 e S2).

Por fim no tratamento de lamas é necessário um compressor de cana lateral (C2) para recirculação de lamas no tanque, uma unidade de formulação de polímero (UMP),

bombas de transmissão de lamas espessas e polímero (BLE1, BLE2, BDP1 e BDP2), uma centrífuga com sistema motor/travão (CM e CT) e um parafuso de lamas (PL) para transporte [1], [56].

A caracterização diz respeito aos equipamentos mais consumidores da ETARI, entre os quais eletrobombas, bombas parafuso, centrífuga, compressores e sobreprensos.

Os equipamentos por localização encontram-se esquematizados na figura 3.8.

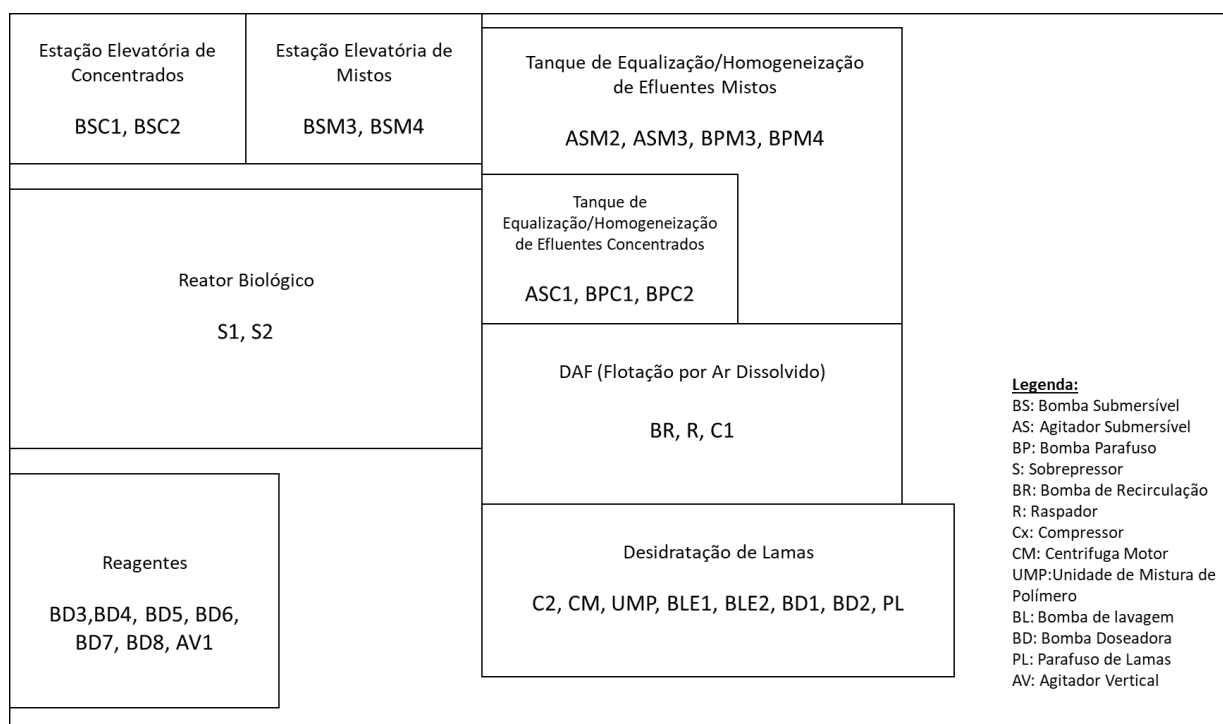


Figura 3.8 - Esquema da localização e siglas dos equipamentos.

A tabela com as potências nominais e gamas de frequência de cada equipamento encontra-se no Anexo B.1, tabela B.2.

Para a elaboração deste trabalho foram realizadas medições com dois equipamentos diferentes, inicialmente (mês de Junho) com uma pinça amperimétrica da marca FLUKE e modelo 323, em que as leituras foram efetuadas em tensões simples contra o neutro geral do quadro elétrico em análise e por fim uma medição teste com tensões compostas. Devido ao facto desta pinça amperimétrica não ler o fator de potência instantâneo, para a obtenção dos valores de energia ativa, reativa e aparente, utilizou-se o valor do fator de potência do fabricante.

Na segunda fase ou fase final (mês de Julho), as medições foram efetuadas com um multímetro da marca UNI-T e modelo UT-232, que fornece o fator de potência instantâneo de cada fase, bem como o somatório das energias ativa, reativa, aparente e o fator de potência instantâneo total. As leituras foram efetuadas contra o neutro, de modo a ler em tensões simples.

3.4 Resultados, Discussão e Propostas de Valorização

Neste subcapítulo foi elaborada uma discussão de resultados obtidos, dividida em quatro secções, em que a primeira incide sobre consumos gerais e consumos por etapa, a segunda sobre os custos de operação, a terceira sobre os consumos e custos específicos por quantidade de efluente tratado e uma quarta que incidiu sobre opções de melhoramento da eficiência energética aplicáveis.

3.4.1 Consumos de potência ativa e potência reativa

De modo a iniciar o levantamento energético da ETARI foi necessário começar por identificar como é feito o fornecimento de energia elétrica à empresa, sendo que o transformador recebe energia em média tensão (MT), num período tetra-horário dividido em horas de ponta (HP), horas cheias (HC), horas de vazio normal (HV) e horas de super vazio (HSV), cuja empresa responsável pela distribuição é a ENDESA. A unidade fabril labora de segunda-feira a sexta-feira, num total de 8 horas diárias das 8:30h às 12:30h e das 13:30h às 17:30h.

Foi efetuado um levantamento dos equipamentos a analisar, elaborando uma tabela informativa que contém potências nominais, fator de potência, frequência de trabalho, tipo de motor, eficiência do motor e a presença de variadores. Na tabela B.2, anexo B.1, encontra-se a informação base para o estudo dos equipamentos. De salientar que a potência nominal do equipamento é a potência máxima que o motor pode consumir a funcionar nas suas condições nominais e o fator de potência quanto mais próximo de 1, menor a quantidade de energia reativa gasta pelo motor, portanto maior a eficiência energética.

De modo a obter dados que permitam o cálculo dos consumos de potência ativa e potência reativa de cada equipamento efetuaram-se medições, que passaram por duas fases, uma primeira (nomeadamente no mês de Junho) em que se mediu os valores de tensão e de corrente com uma pinça amperimétrica da empresa CTGA, de duas formas: em tensão simples (fase-neutro) e em tensão composta (fase-fase) (tabelas B.3 à B.10 e tabela B.11, anexo B.2). Os cálculos dos consumos foram realizados de acordo com as equações 3.1, 3.2 e 3.3, em que o fator de potência utilizado foi o do equipamento. Os resultados encontram-se nas tabelas B.18, anexo B.3.

A segunda fase (mês de Julho) consistiu na medição do valor da tensão e da corrente com um multímetro, com medição em tensão simples, ou seja, entre uma fase e o neutro, que permitia também saber o valor do fator de potência instantâneo, a soma e cálculo da energia reativa, ativa e aparente, os resultados destas medições encontram-se nas tabelas B.19, anexo B.3.

Com os consumos referentes aos dois meses estudados e de modo a tornar os resultados o mais próximo da realidade possível, apenas se utilizou os consumos referentes ao mês de Julho, em que se mediu o fator de potência instantâneo do equipamento. Isto porque a ETARI ainda se encontrava numa fase de início de operação e algumas etapas de tratamento ainda não se encontravam a funcionar, como o caso do reator biológico, que iniciou função em Junho com testes de funcionamento dos sobressores e em Julho apenas se justificou o funcionamento de um destes. Também a separação da equalização de mistos e concentrados só começou a ser evidenciada após o arranque do reator biológico. Ocorreu também alteração da frequência de funcionamento de alguns equipamentos de modo a adequar o sistema à nova consistência do efluente (novas lamas do biológico), entre outras alterações. Tudo isto levou a uma oscilação de consumo energético e eficiência de funcionamento dos equipamentos.

Determinados os consumos de cada equipamento, a potência ativa (kW), a potência reativa (kVAr) e a potência aparente, foi possível representar o consumo de energia ativa em % em relação ao consumo total da ETARI, como descrito na figura 3.9.

Consumo de Potência Ativa por Etapa de Tratamento

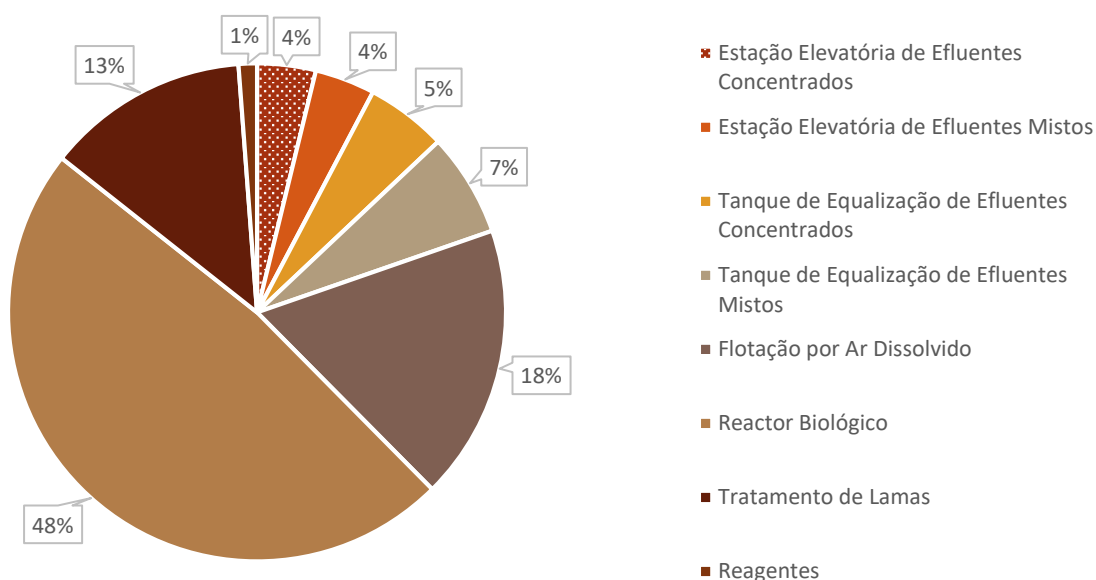


Figura 3.9 - Percentagem de Potência Ativa gasta por etapa de tratamento.

Por análise da figura 3.9, verifica-se que a etapa de maior consumo energético é o reator biológico, seguida pela flotação com ar dissolvido e pelo tratamento de lamas, o que corresponde a um consumo de 27 kW, 10 kW e 7 kW, respetivamente.

A instalação da ETARI tem um consumo total de potência ativa de 56 kW e 45 kVAr de energia reativa.

De modo a entender o funcionamento dos equipamentos, isto é, a existência de sobrecargas, os consumos de potência ativa superiores à potência nominal para as características definidas na chapa do equipamento e os consumos de potência reativa, foi necessário verificar quais os equipamentos que têm variadores de frequência associados a si e em que gama de trabalho funcionam (tabela 3.1).

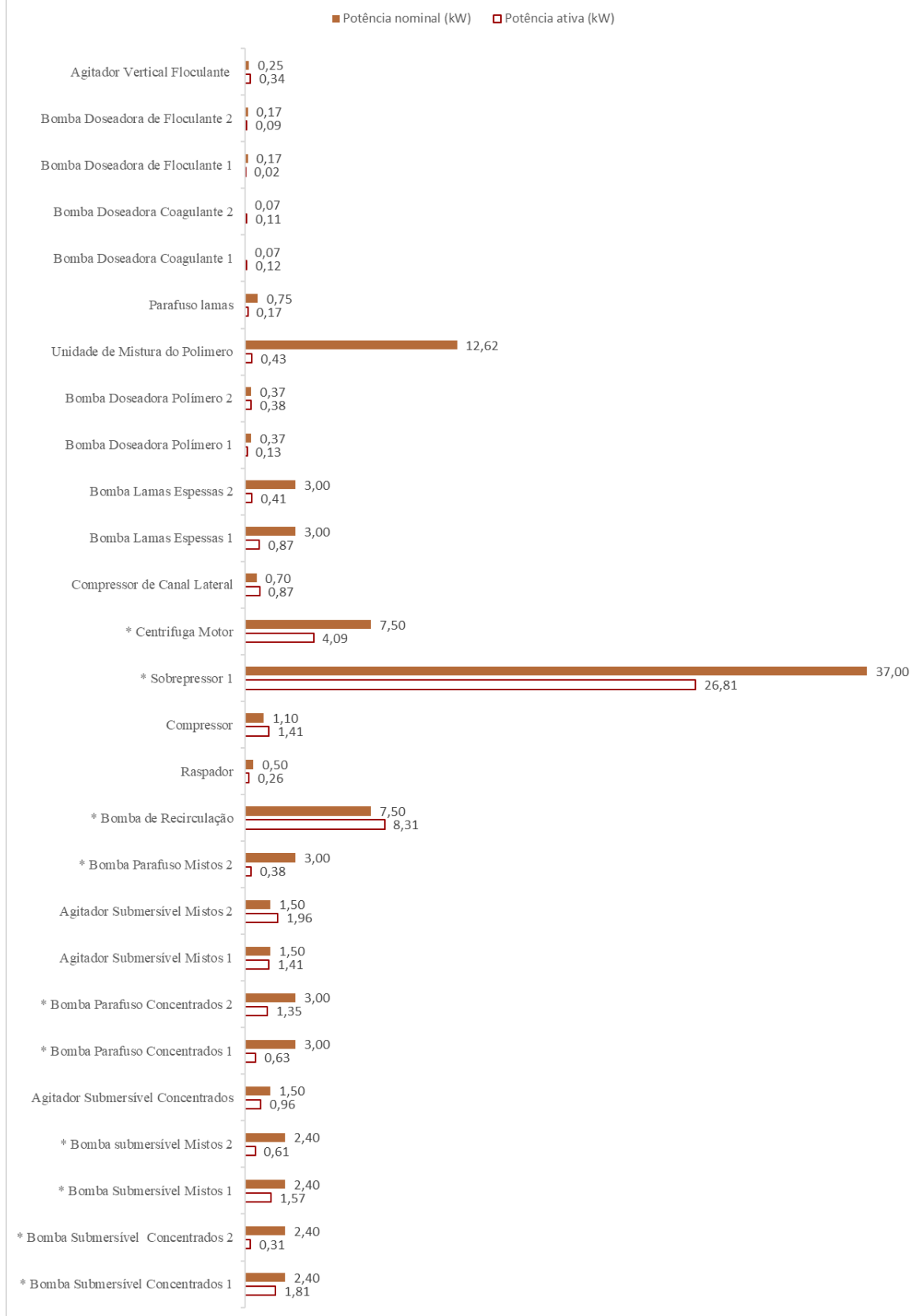
Tabela 3.1 - Equipamentos com variador e gamas de frequência de trabalho.

	Variadores	Gama de Frequências de Trabalho (Hz)
Bomba submersível Concentrados 1	x	25-50
Bomba submersível Concentrados2	x	25-50
Bomba submersível Mistos 1	x	30-50
Bomba submersível Mistos 2	x	30-50
Bomba Parafuso Concentrados 1	x	25-50
Bomba Parafuso Concentrados 2	x	25-50
Bomba Parafuso Mistos 1	x	30-50
Bomba Parafuso Mistos 2	x	30-50
Bomba de Recirculação	x	25-50
Sobrepessor 1	x	40-50
Sobrepessor 2	x	50
Centrifuga	x	50

A importância da implementação de um variador de frequência num equipamento reside na diminuição do consumo energético do mesmo, sendo que a variação da frequência implica uma diminuição da potência consumida.

É então de esperar consumos inferiores nos equipamentos que contenham variadores, na figura 3.10, é possível comparar o consumo nominal do equipamento com a potência ativa consumida pelo mesmo.

Comparação Potência Ativa e Potência Nominal



* Com Variador de frequência

Figura 3.10 - Comparação entre potência ativa e potência nominal.

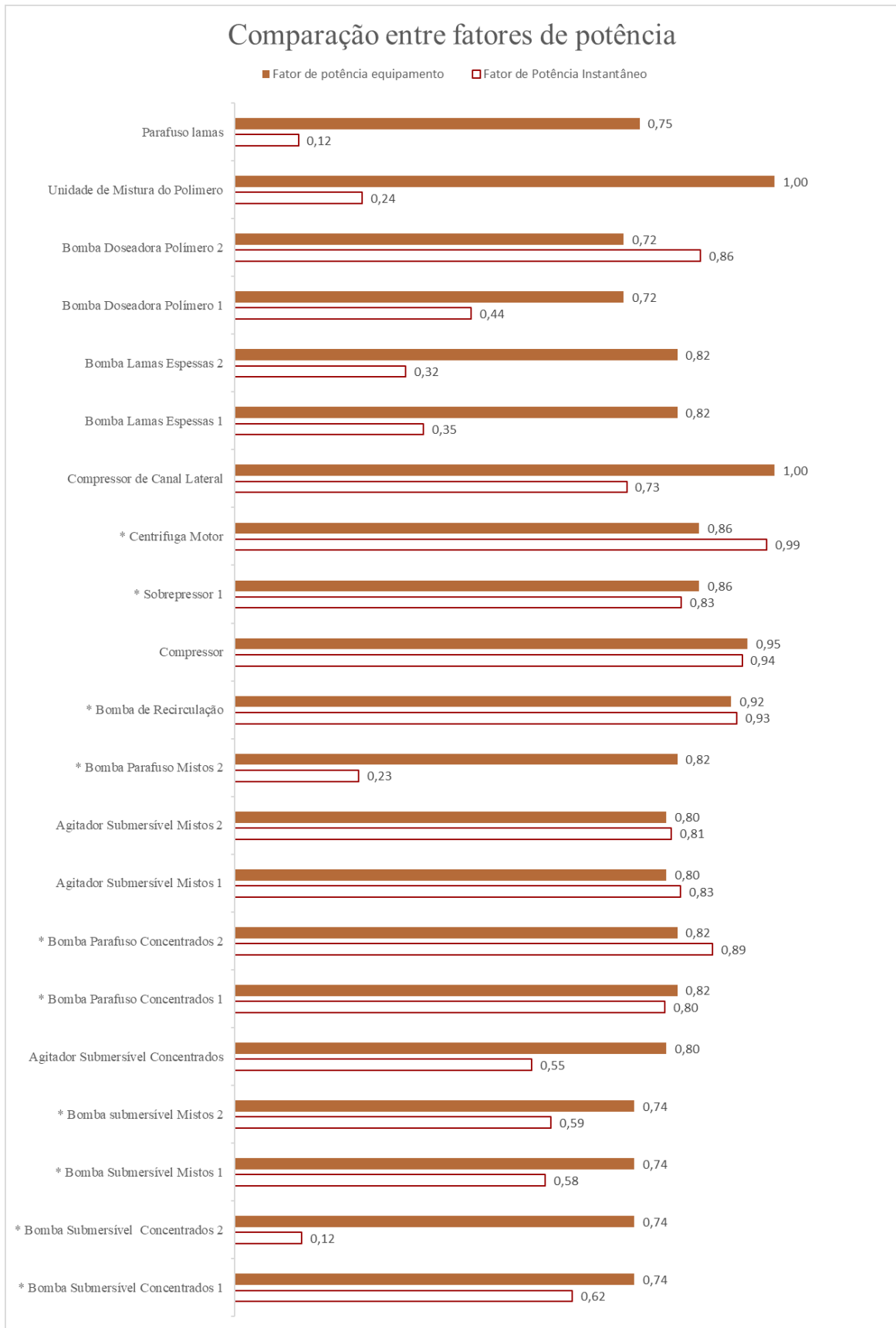
Tendo presente o conceito de potência nominal, que é potência máxima a que um motor pode trabalhar de acordo com as características denominadas para essa mesma potência (temperatura do motor, frequência, fator de potência e corrente nominal). Será de salientar que se as características de funcionamento forem diferentes das estipuladas para a potência nominal, esta deixa de ser a apresentada na chapa do motor.

Analisando a figura 3.10, verifica-se que os motores que têm variador de frequência e trabalharam com uma frequência inferior à de trabalho registaram potências ativas inferiores à potência nominal, como é o caso das bombas submersíveis de mistos e concentrados, as bombas de parafuso de mistos e concentrados, os sobreprensos e a centrífuga.

Já a bomba de recirculação, o agitador submersível 2 de mistos, o compressor, o compressor de cana lateral, a bomba doseadora de polímero 2, as bombas doseadoras de coagulante e o agitador vertical de floculante, apresentam um consumo superior à potência nominal, embora no gráfico isto não seja evidente para estes três últimos equipamentos.

De salientar que, um motor que trabalhe a uma potência ativa superior à potência nominal para o fator de potência designado para estas condições de trabalho, ainda que por curtos períodos de tempo, indica que o motor está em sobrecarga, implicando uma diminuição significativa de eficiência de trabalho e do tempo de vida útil do motor [57].

Pela mesma lógica da comparação entre a potência ativa e a potência nominal, comparou-se o fator de potência nominal (da chapa do motor do equipamento) com o instantâneo (medido com o multímetro), figura 3.11.



* Com variador de frequência

Figura 3.11 - Comparação entre fator de potência característico e instantâneo.

Pela análise da figura 3.11, é possível verificar que a grande maioria dos equipamentos tem um fator de potência instantâneo inferior ao nominal, mesmo quando o motor não tem um variador de frequência, no entanto a bomba parafuso de concentrados 2, os agitadores submersíveis de mistos, a bomba de recirculação, a centrífuga e a bomba doseadora de polímero 2 têm valores de fator de potência superiores aos nominais.

De notar que, para os equipamentos com variador, alterando a respetiva frequência, a intensidade da corrente e a tensão alteram, por consequência o valor do fator de potência e da energia ativa consumida também altera.

Deste modo, os equipamentos com variador trabalharam abaixo da frequência ótima de trabalho (50 Hz), pelo que é de esperar menor consumo, o que se verificou como verdadeiro à exceção da bomba parafuso de concentrados 2, da bomba de recirculação e da centrífuga que apresentam um valor de fator de potência instantâneo superior ao nominal, e à bomba de recirculação e centrífuga, cujo valor de energia ativa consumida é superior ao da potência nominal e o valor do fator de potência, facto que pode ocorrer por sobredimensionamento do equipamento, pois estando a ETARI numa fase de arranque os equipamentos estão a trabalhar com um caudal diminuto relativamente ao que seria de esperar.

Destacam-se a bomba submersível de concentrados 2, o parafuso de lamas, a bomba parafuso de mistos 2, as bombas de lamas espessas e a bomba doseadora de polímero 1, cujos valores dos fatores de potência são muito inferiores a 1, estando em funcionamento deficiente (consomem muita potência reativa).

Com vista à utilização eficiente de um motor, ou seja, este deve ter um fator de potência o mais próximo possível de 1, os equipamentos mencionados indicam consumo elevado de potência reativa, que quando cobrada gera um gasto extra para a empresa e acima de tudo desgaste do motor.

De salientar que os baixos fatores de potência podem ser causados por baixas cargas de efluente nos equipamentos (sobredimensionamento) bem como amontoamento de equipamentos de baixa potencia, e as principais consequências desta situação são o sobreaquecimento dos condutores, a sobrecarga do sistema, a cobrança da energia reativa, perdas na rede e diminuição da vida útil dos motores.

3.4.2 Custos

Após a determinação dos consumos de cada equipamento é necessário saber o consumo por dia de funcionamento pelo que foi necessário determinar o número de horas, diárias, de funcionamento de cada equipamento, recolhendo dados no sistema de controlo geral, todos os dias à mesma hora. Foram considerados dados de funcionamento desde Janeiro até Junho de 2019, os valores no número de horas de funcionamento diário são obtidos pela média das horas diárias de funcionamento de cada equipamento ao longo dos meses (tabelas B.24, anexo B.4). Os consumos obtidos partem do princípio que todos os equipamentos funcionaram durante o dia, nas horas que foram determinadas

Obtendo os valores de consumo diário por equipamento e com recurso à fatura de energia elétrica da empresa é possível determinar o custo diário de cada equipamento, deste modo foi necessário o estudo da fatura da empresa fornecedora de energia, a ENDESA. A fatura em análise corresponde ao mês de Maio, ou seja, período de hora legal de Verão e está dividida em três parcelas, a potência, a energia ativa e a energia reativa.

A potência está dividida em potência em horas de ponta (que é o consumo em kWh a dividir pelo número de horas de ponta num mês de laboração) e a potência contratada (a potência contratada define o valor máximo de eletricidade que a sua instalação elétrica pode receber, e determina o número de equipamentos elétricos que poderão estar ligados em simultâneo [58]). A energia ativa está dividida em dois termos, o de energia variável e o de ATR (acesso de terceiros à rede), que é medida em quatro períodos horários (HP, HC, HV, HSV) e por fim a energia reativa que se divide em indutiva (energia reativa consumida em fora vazio, e que pode ser faturada do escalão 1 até 3, consoante o valor do factor de potência) e capacitiva (energia reativa fornecida à rede no período nas horas de vazio) [59].

Deste modo os valores das tarifas aplicadas à potência contratada, à potência em hora de ponta, à energia ativa (variável e ATR) e à energia reativa, referentes ao período horário legal de Verão encontram-se na tabela B.23, anexo B.4.

Por análise da fatura de energia elétrica relativa ao mês de Maio verificou-se que a potência contratada pela empresa é de 465 kW para cada 31 dias, a energia reativa paga é a capacitiva distribuída no período de vazio (engloba HV e HSV). Os consumos mensais da unidade fabril, para cada período horário, encontram-se na figura 3.12.

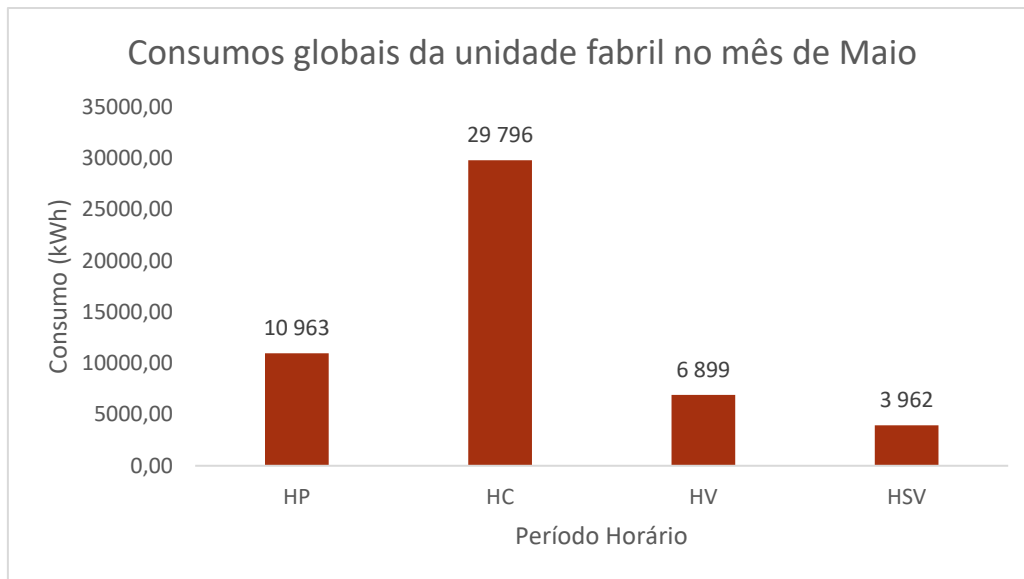


Figura 3.12 - Consumo de Energia Ativa mensal global da empresa, relativo ao mês de Maio.

De modo a criar um valor referência de consumo total da instalação, tomou-se os valores descritos na fatura do mês de Maio como valor médio de comparação, assim no período de horas de ponta a instalação fabril consome 10963 kWh, nas horas cheias 29796 kWh, nas horas de vazio normal 6899 kWh e nas horas de super vazio 3962 kWh, perfazendo um total de 51620 kWh.

Pela análise da figura 3.13, verifica-se que o período horário de maior consumo é o de horas cheias.

Relativamente à ETARI, considerou-se que os equipamentos que trabalhavam menos de 8 horas diárias foram colocados nos períodos horários em que a tarifa aplicada é superior, de modo a obter os custos por excesso. Para os cálculos considerou-se que, na totalidade dos dias os equipamentos trabalhavam todos nas horas que lhe correspondiam (determinadas a partir do sistema de controlo), sendo que o mês conta com 22 dias de trabalho laboral, com a exceção dos agitadores que funcionavam 24 horas por dia, 31 dias por mês (tabela B.26, anexo B.5) Os consumos mensais de energia ativa obtidos por período horário encontram-se na figura 3.13.

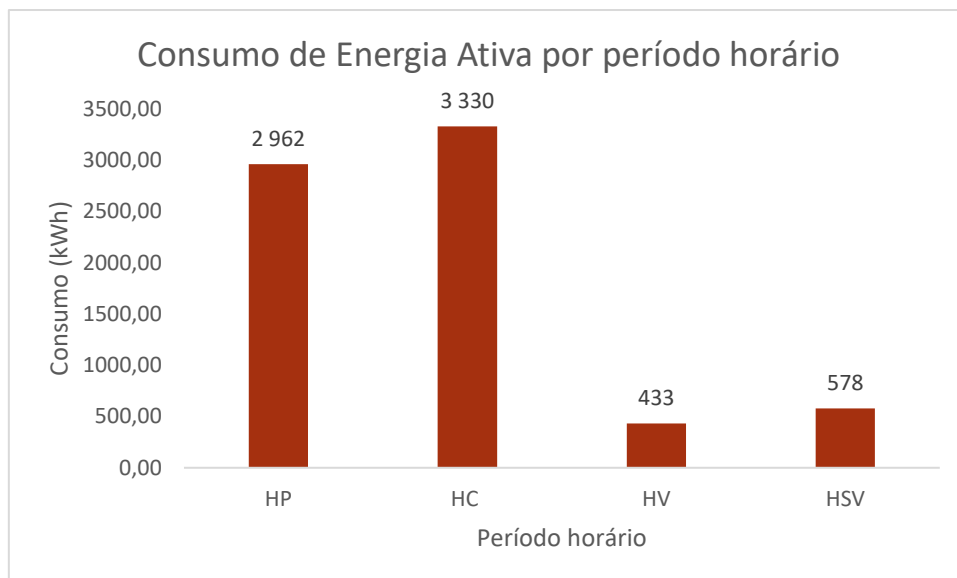


Figura 3.13 - Consumo de Energia Ativa mensal global da ETARI.

Pela figura 3.13, verifica-se que o período de maior consumo é o de horas de cheio (3330 kWh), seguido do período de horas de ponta (2962 kWh), super vazio (578 kWh) e vazio (433 kWh). Posto isto a ETARI tem um consumo total de energia ativa de 7303 kWh, por mês. Deste modo verifica-se que o consumo total de energia ativa da ETARI corresponde a 14% do consumo total de energia ativa da unidade fabril.

A energia reativa é cobrada em dois períodos pelo que na figura 3.14, aparece o consumo no período de vazio e fora do vazio.

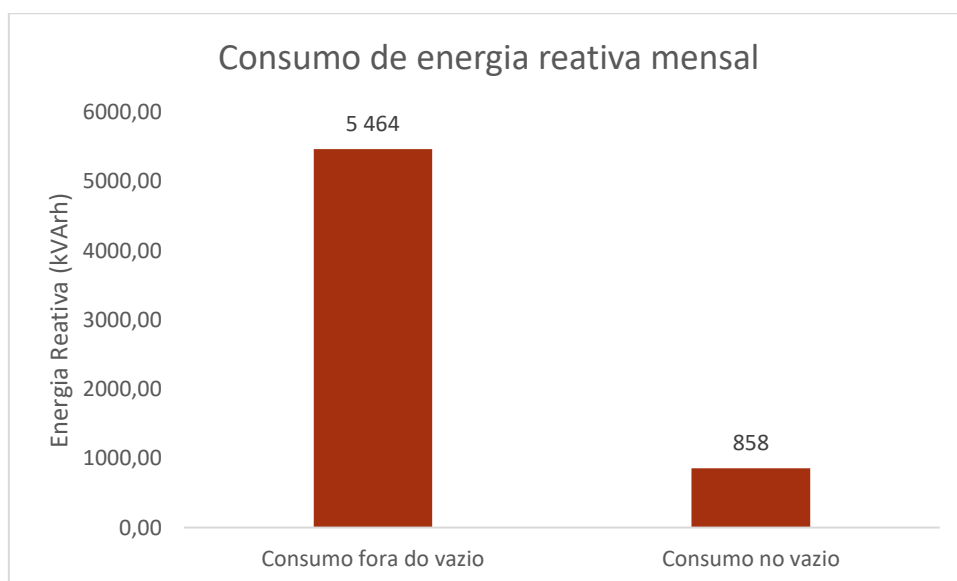


Figura 3.14 - Consumo de Energia Reativa mensal global da ETARI.

Como é possível observar o maior consumo de energia reativa dá-se fora das horas de vazio (soma do consumo em HP e HC) com um consumo de 5464 kVArh por mês. Já o consumo no período de vazio (HV e HSV) corresponde a 858 kVArh por mês.

Sabendo que o custo de energia ativa é dado pela multiplicação do consumo em cada período horário pela tarifa aplicada a esse mesmo período, tanto para o termo de energia variável como para o termo de energia ATR, foi possível determinar que o custo diário (energia ativa e energia reativa capacitiva) total é de 32 €. Assumindo 22 dias de laboração mensal o custo da energia ativa durante um mês para os equipamentos em utilização é de 813 € o que corresponde a cerca de 14 % do valor total da fatura energética. No respeitante à energia reativa esta apenas é faturada como capacitiva (no período de vazio), com um consumo total diário de 28 kVArh o que gera um custo diário de 0,52 € e um custo mensal de 16 €.

Com os custos finais resta entender qual a etapa com maior impacto económico no tratamento do efluente. Na figura 3.15 é possível observar o custo de cada etapa de tratamento.

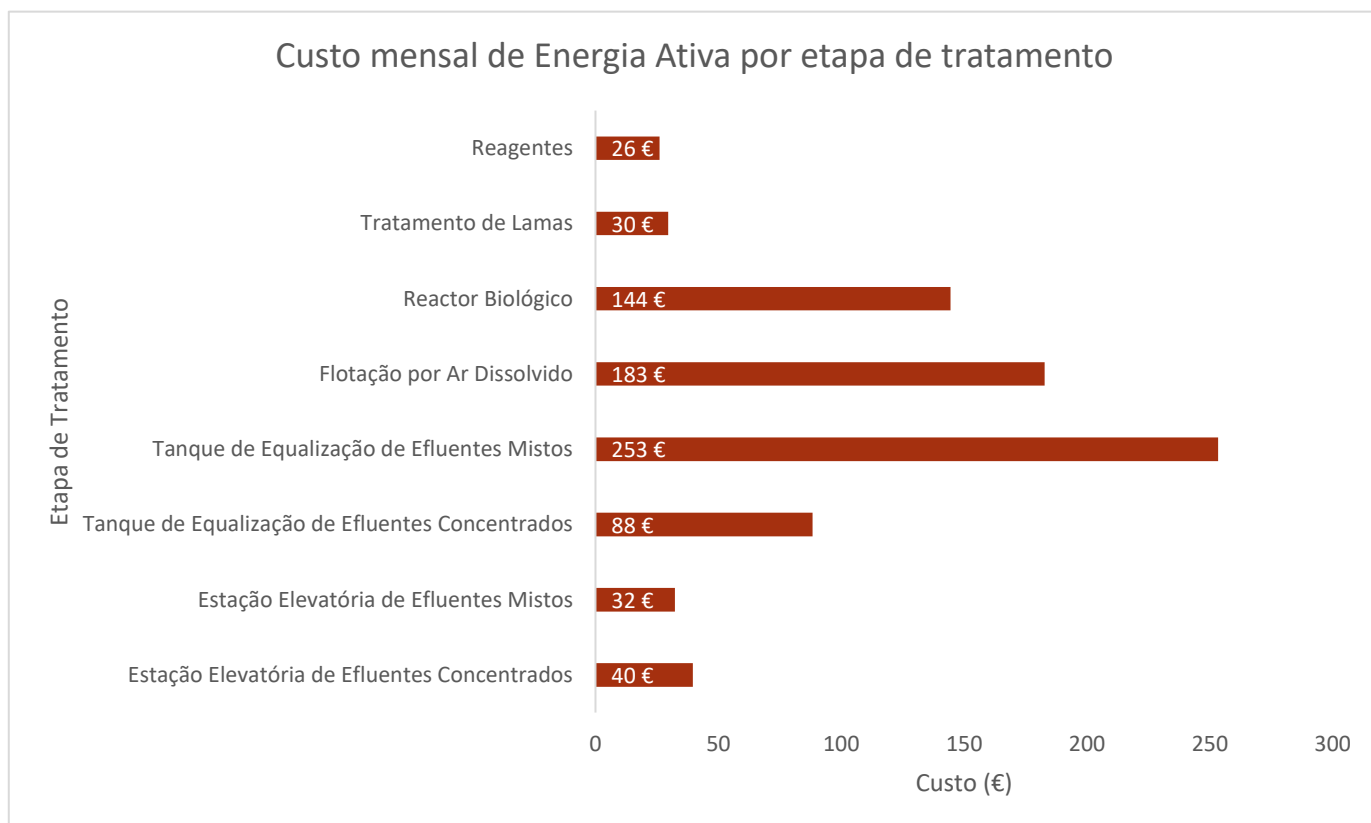


Figura 3.15 - Custo mensal por etapa de tratamento.

Por observação da figura 3.15, verifica-se que a etapa de maior custo é o tanque de equalização de mistos que tem 2 agitadores a funcionar 24 horas por dia, 31 dias por mês, e a segunda mais cara é o reator biológico que tem dois sobrepressores em funcionamento, ainda que alternados e estes são os equipamentos de maior potência/consumo, em estudo.

3.4.3 Consumos específicos

Com vista a determinar o consumo e/ou custo por quantidade de efluente tratado, determinou-se o consumo específico global da instalação. Partindo do caudal de efluente tratado diariamente, com recurso ao consumo e custo de energia ativa diário.

O caudal tratado diariamente corresponde a 124 m³/dia e é resultado da leitura no caudalímetro que mede o caudal que é enviado para o coletor municipal. Já o consumo total da unidade partindo do princípio de que todos os equipamentos trabalharam as horas determinadas durante o dia, é de 286 kWh, o que gera um custo de 32€. Sendo assim o consumo específico é de 2,3 kWh/m³, o que resulta num custo de 0,26 € por m³ de efluente tratado.

Determinou-se o caudal de entrada em cada etapa de tratamento que corresponde à média de caudal num dia, durante o período de verificação (mês de Junho, que foi considerado como referência para a projeção de dados mensal) no caudalímetro de entrada. No entanto o cálculo do consumo específico não deveria ser calculado com os caudais de entrada nos equipamentos, mas sim com os volumes de efluente em tratamento e tanto estes como os tempos de residência não eram conhecidos.

Salienta-se que, estes equipamentos estiverem na sua maioria sempre a trabalhar em estado não estacionário (de forma contínua), pelo que o consumo específico de cada etapa de tratamento não foi determinado.

3.4.4 Avaliação das propostas de melhoria

Nesta seção foram avaliados três tipos de propostas para melhoramento da eficiência energética da ETARI em estudo, como aplicação de variadores de frequência, troca de motor por um de eficiência superior e a possibilidade de instalação de uma bateria de condensadores.

3.4.4.1 Variadores de Frequência

Uma melhoria energética comumente utilizada, é a implementação de um variador de frequência, facilitando a variação de velocidade de um equipamento consoante o esforço a que está sujeito.

Dos equipamentos em funcionamento na ETARI já existem doze com variadores, nomeadamente bombas submersíveis, bombas parafuso, a bomba de recirculação, a centrífuga e os sobrepessores.

No entanto existem três agitadores submersíveis, um no tanque de equalização de concentrados e dois no tanque de equalização de mistos, que têm um consumo diário rondante 1 e 1,5 kW e que funcionam 24 horas por dia, 31 dias por mês.

Os variadores são geralmente aplicados a equipamentos de funcionamento contínuo, se se alterar o fluxo de 100% para 80%, isto origina uma redução de consumo energético para 64% do inicial. Assim calcularam-se os consumos por dia e os custos associados e verificou-se a poupança que pode advir da instalação de um variador.

A tabela 3.2, indica o equipamento, o consumo mensal e os custos mensais com e sem variador.

Tabela 3.2 - Poupança diária adquirida com a instalação de variadores.

Equipamento	Sem Variador		Com Variador		Poupança mensal (€)	Poupança anual (€)
	Consumo mensal (kWh)	Custo mensal (€)	Consumo mensal (kWh)	Custo mensal (€)		
Agitador Submersível Concentrados	711,8	70,87	455,53	45,36	25,51	306,18
Agitador Submersível Mistos 1	1047	104,2	669,80	66,70	37,52	450,20
Agitador Submersível Mistos 2	1458	145,2	933,27	92,93	52,27	627,29

A Utilização de um variador em cada agitador gera uma poupança mensal de cerca de 39 € por equipamento, o que se traduz numa poupança anual de cerca de 460 €.

Para uma potência nominal de 1,5 kW como é o caso destes agitadores e dependendo da marca, os preços dos variadores vão de 100 a 700 €, o que para um valor médio de 400 € acabaria por pagar o investimento ao fim de 1 ano e meio.

3.4.4.2 Troca de Motor

De acordo com o levantamento de equipamentos realizado, a grande parte dos equipamentos que disponibilizam a informação do tipo de eficiência do motor são do tipo IE3 enquanto que apenas três equipamentos têm motor do tipo IE2.

O motor IE2 é um motor de alto rendimento, pelo que uma substituição para um motor mais eficiente seria necessária se estes equipamentos tivessem um consumo elevado e funcionassem em contínuo, de modo a ter retorno de investimento breve.

No momento em que foi realizada a análise da ETARI ainda se encontrava numa fase de início de operação, pelo que os equipamentos não se encontram a funcionar em pleno, nem todos os dias. A substituição requer um período de avaliação mais exaustivo, pelo que com os dados recolhidos para esta dissertação, a troca de motor não é uma optimização válida.

3.4.4.3 Bateria de Condensadores

Pela análise da fatura de energia elétrica, é possível verificar que atualmente apenas é cobrada a energia reativa capacitiva, ou seja, o consumo nas horas de vazio.

No entanto segundo o Despacho n.º 7253/2010, do Diário da República, 2.ª série, N.º 80, de 26 de Abril de 2010, a energia reativa indutiva (consumida fora das horas de vazio) não é cobrada se:

- Em instalações novas- A faturação de energia reativa pelo operador de rede de transporte ou distribuição só tem lugar após decorridos 8 meses de consumo de energia elétrica;
- A energia reativa indutiva medida nas horas fora de vazio em cada período de integração for inferior a 30% da energia ativa consumida no mesmo período é objeto de faturação;

A Maçarico II, iniciou funções de produção em Agosto de 2018, com duas linhas e grande parte do trabalho manual. Durante o período de análise (Junho e Julho) a situação

é bem diferente, a quantidade de equipamentos e consumos cresceu, no entanto a fatura em análise corresponde ao mês de Maio, o que perfaz um total de 10 meses e a energia reativa indutiva ainda não é cobrada.

Deste modo sabe-se que o consumo mensal de energia ativa da ETARI é de 7303 kWh, (que corresponde a 12 % do total de energia ativa consumida mensalmente) e que a energia reativa consumida fora do vazio durante um mês é de 5464 kVArh, para o período de hora legal de Verão.

Se for apenas analisado o consumo da ETARI a percentagem de energia reativa em função da energia ativa consumida corresponde a 86 %, o que indica que se apenas se encontrasse em análise este sistema ela seria cobrada pelo fornecedor de energia.

No entanto ao longo das medições de consumos efetuados, foram retirados dados do quadro geral, em que o fator de potência oscilava entre 0,60 e 0,85 (valores estes que poderão corresponder a valores médios de fatores de potência nominais dos equipamentos em funcionamento), e que o ideal seria pelo menos acima de 0,96 (valor pelo qual o fator multiplicativo do valor total a cobrar é menor), então esquecendo o facto da energia reativa não ser cobrada e concentrando apenas na melhoria e aumento de eficiência de funcionamento do sistema ETARI, foi dimensionada uma bateria de condensadores para as características apresentadas (tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Características de consumo da ETARI.

Energia ativa total da instalação:	56	kW
Energia reativa total da instalação:	45	kVAr
Fator de potência geral médio:	0,75	

Para o dimensionamento da potência necessária para a bateria de condensadores foi necessário utilizar um coeficiente de potência (tabela B.33, anexo B.6) que é obtido em função do fator inicial da instalação e o fator final pretendido. Os dados e resultados encontram-se na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Potência da bateria de condensadores em função do fator de potência pretendido

Fator de potência inicial	Fator de potência final	Coefficiente de potência	Potência da bateria (kVAr)
0,75	0,96	0,590	58
0,75	0,97	0,631	62
0,75	0,98	0,679	67
0,75	0,99	0,739	73

Para obter um fator perto do ideal (fator de potência de 0,99), partindo de 0,75 é necessária uma bateria de condensadores com uma potência de 73 kVAr. A compensação pode ser efetuada de 3 formas, global, parcial ou individual, para este caso a melhor opção é a compensação parcial, em que a bateria de condensadores é colocada junto ao quadro que alimenta o setor a compensar

4. Conclusões Gerais e Sugestões de Trabalhos Futuros

Dada como concluída a presente dissertação foi possível retirar as principais conclusões e propor medidas a tomar.

Iniciando as conclusões pela valorização de resíduos, a nível laboratorial foi possível concluir que para os resíduos fermentados, a presença de elevados teores de cloreto de sódio, dificultam a caracterização mais correta, pois interferem na extração de componentes e necessitam de ser lixiviados.

Relativamente aos oligoelementos caracterizados o manganês, o cobre, o ferro e o zinco, ou não são detetáveis, ou os que são detetáveis não são quantificáveis, uma vez que a sensibilidade do método não é adequada.

O método experimental utilizado para a determinação de hidratos de carbono não é adequado ao tipo de matriz utilizada, mesmo que a quantidade de amostra utilizada fosse superior à recomendada.

Relativamente às propostas de valorização, a incorporação de couve-flor e cenoura fermentada em rações animais foi eliminada pelo facto de serem matérias primas com elevada humidade e elevado teor em cloreto de sódio. Para a mesma valorização a couve-flor em fresco não apresenta viabilidade devido à sua elevada percentagem de humidade. A extração de componentes de elevado valor foi posta de lado nos fermentados pelo elevado teor em sal que dificulta os processos de extração e pelo facto de serem alimentos que após fermentação apresentam uma composição pobre. A couve-flor em fresco tem alguns elementos em quantidades atrativas, no entanto o retorno não compensa os custos. Por fim a possibilidade dos biocombustíveis nomeadamente do biogás exige estudos mais extensos, porque atualmente ainda é um estudo embrionário descrito em artigos da área.

Deste modo é possível concluir que sem exercer uma sobrecarga monetária para a empresa apenas a compostagem de todas as matrizes em análise e a alimentação em estado puro da couve-flor em fresco, são viáveis. No entanto se existir a possibilidade de adquirir um secador ou um filtro prensa, conseguindo-se reduzir a humidade para valores inferiores a 40 %, é possível a valorização por incorporação em rações animais ou por diminuição dos custos associados ao pagamento a um operador licenciado (quer para a couve-flor em fresco, quer para os fermentados), dado que se reduz a quantidade de água

em cerca de 50%. Da prensagem dos fermentados resulta ainda salmoura, que pode ser posteriormente vendida como subproduto (por exemplo a uma empresa ligada ao curtume de peles).

Como propostas de trabalho futuro, tirando partido da caracterização já feita e dos resultados que nela constam, a análise em câmara de grafite dos elementos zinco, ferro, manganês e cobre, a análise quantitativa aos elementos iodo, flúor e enxofre, seria recomendável de modo a tornar a caracterização mais quantificável. Será igualmente interessante investir no estudo da produção de biocombustíveis a partir de amido e celulose bruta, fazendo o estudo até obtenção de bioetanol, analisando todas as perdas e consumos de modo a avaliar de forma precisa se existe a possibilidade de ser uma opção viável.

Relativamente à parte de controlo energético, foi possível concluir que a instalação consome um total de 56 kW de energia ativa, 45 kVAr de energia reativa e um fator de potência médio instantâneo de 0,658.

Pela comparação da potência ativa com a potência nominal verificou-se que existem equipamentos a trabalhar em sobrecarga e com fatores de potência muito baixos, ou seja, estão a consumir quase tanta energia reativa como energia ativa.

Considerando um dia de funcionamento normal, em que todos os equipamentos funcionaram as horas determinadas, a ETARI tem um consumo total de 286 kWh de energia ativa, já para a energia reativa fora das horas de vazio o consumo é de 221 kVArh e nas horas de vazio de 28 kVArh. É possível concluir que para esta instalação o consumo de energia reativa representa cerca de 85 % do consumo de energia ativa total. O consumo por cada metro cúbico de efluente tratado é de 2,3 kWh.

Diariamente a ETARI tem um custo total (energia ativa e energia reativa) de 32 €, o que corresponde a 889 € por mês, o custo por cada metro cúbico de efluente tratado é de 0,26 €.

Foram propostas três opções de melhoria, a adição de variadores de frequência, a substituição de motores de baixa eficiência para motores de elevada eficiência e por fim uma bateria de condensadores.

Dado como finalizado o trabalho conclui-se que neste ponto embrionário em que a ETARI se encontra, a substituição de motores não é viável, pois a grande maioria dos

equipamentos está a trabalhar muito aquém das suas capacidades, o que não permite uma análise exata de consumos e como tal uma projeção correta do retorno do investimento.

No referente à implementação de variadores concluiu-se que apenas os agitadores em funcionamento contínuo estavam aptos para a instalação de variadores. Considerou-se que alterando o fluxo de 100 % para 80 % o consumo energético reduzia para 64 % do inicial e como tal cada um dos agitadores representava uma poupança mensal de cerca de 39 € mensais, o que se traduz em 460 € anuais. Sendo que cada um tem uma potência nominal de cerca de 1,5 kW, os preços para os variadores com esta potência nominal vão de 100 a 700 €, se assumirmos que o preço médio ronda os 400,00 €, ao fim de um ano e meio, têm-se o retorno do investimento.

Relativamente à bateria de condensadores, o dimensionamento desta foi efetuado na base da melhoria da eficiência da ETARI, pois a energia reativa indutiva não é cobrada à empresa, o que significa que a nível de poupança monetária não ocorre retorno, no entanto se existir a possibilidade da instalação de uma bateria de condensadores para um fator de potência inicial de 0,75 e com um fator de potência final de 0,99, a potência da bateria de ser de 72,99 kVAr e a compensação deve ser efetuada de forma parcial, ou seja, instalada junto ao quadro da seção a ser compensada.

Como proposta de trabalho futuro no tocante à parte energética seria interessante fazer o mesmo controlo energético, mas quando a ETARI se encontrar em pleno funcionamento, verificar fatores de potência que se encontram baixos, e verificar consumos numa gama de frequências mais ampla.

Seria também interessante fazer um levantamento energético total e com mais dados de faturas de energia elétrica de modo a entender se a energia reativa indutiva não é cobrada pelo facto de a fábrica ser recente ou se efetivamente a energia reativa é inferior a 30 % do valor total de energia ativa.

Bibliografia

1. **Maçarico, Lda.** Maçarico, Lda. Maçarico, Lda. [Online] [Citação: 20 de 12 de 2018.]
2. An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes. **A. Nayak, Brij Bhushan.** s.l. : Elsevier, 2019.
3. **Costa Filho, D. V., Silva, A. J. e Silva, P. A. P. Sousa, F. C.** Aproveitamento De Resíduos Agroindustriais Na Elaboração De Subprodutos. 2017.
4. **(FAO), Organização para a Alimentação e Agricultura.** FAO in Portugal. Não desperdice: Melhorar as dietas através da redução da perda e do desperdício alimentar. [Online] Roma, 09 de 11 de 2018. [Citação: 06 de 03 de 2019.] <http://www.fao.org/portugal/noticias/detail/en/c/1168437/>.
5. —. O desperdício alimentar tem consequências ao nível do clima, da água, da terra e da biodiversidade – novo estudo da FAO. [Online] Roma, 11 de 09 de 2013. [Citação: 06 de 03 de 2019.] <http://www.fao.org/news/story/pt/item/204029/icode/>.
6. **Flores, Portugal Fresh - Frutas Legumes.** [Online] 2018. [Citação: 21 de 12 de 2018.] <https://www.portugalfresh.org/pt/produtos/legumes/pimento-padrao>.
7. **Lda, Schmidt-Stosberg.** Saiba mais sobre os benefícios do piri-piri. [Online] 2014. [Citação: 21 de 12 de 2018.] <http://www.gourmetaqui.com/saiba-mais-sobre-os-beneficios-do-piri-piri>.
8. **Instituto Nacional de Saúde, Doutor Ricardo Jorge (INSA).** Tabela da Composição de Alimentos (TCA). [Online] Serviço Nacional de Saúde, 2002. [Citação: 27 de Março de 2019.] <http://www2.insa.pt/sites/INSA/Portugues/AreasCientificas/AlimentNutricao/AplicacoesOnline/TabelaAlimentos/Paginas/TabelaAlimentos.aspx>.
9. **Veterinária, Direção-Geral de Alimentação e.** Lista integrada de utilizações previstas para os alimentos com objectivos nutricionais específicos destinados a animais. 2014.
10. **Veterinária, Instituto Nacional de Investigação Agrária e.** Determinações físico-químicas efetuadas em alimentos para animais . 2012.

11. Sustainable Food Systems From Agriculture To Industry-Improving Production and Processing. **Galanakis, Charis M.** The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, United Kingdom : Elsevier, 2018.
12. Recomendação da Comissão-Que estabelece directrizes para a distinção entre matérias-primas para alimentação animal, aditivos para alimentação animal, produtos biocidas e medicamentos veterinários. **Europeia, Jornal da Comissão da União.** 2011.
13. Valorization of food waste into biofertiliser and its field application. **Chenyu Du, Jwan J. Abdullah, Darren Greetham, Danni Fu, Mengyuan Yu, Liwei Ren, Shuang Li, Diannan Lu.** s.l. : Journal of Cleaner Production, 2018.
14. Valorização de subprodutos da indústria alimentar: obtenção de ingredientes de valor acrescentado. **José A. Teixeira, Manuela E. Pintado.** Centro de Biotecnologia e Química Fina – Laboratório Associado, Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa/Porto : s.n., 2015.
15. Comparação De Metodologias De Análise De pH e Acidez Titulável Em Polpa De Melão . **Lindomar Maria Souza, Kamila Câmara Correia, Alice Maria Gonçalves dos Santos, Levy Paes Barreto e Egídio Bezerra Neto.** UFRPE: Recife : s.n., 2010, Vols. X Jornada De Ensino, Pesquisa e Extensão .
16. **Profissional-EEEP, Escola Estadual de Educação.** Apontamentos de Análise de Alimentos. Governo do Estado do Ceará : Curso Técnico em Agroindústria.
17. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. **Instituto Adolfo Lutz.** 2008, Vol. 1ª Edição Digital.
18. **C.L. Hahn, I. R. Barth, V. A. Casarin, R.L. Miranda, L.C.V.Ortiz, A. V. Santos.** Determinação Do Cloreto De Sódio Em Uma Amostra De Queijo De Uma Agroindústria De Laticínios Do Município De Santo Ângelo. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Outubro de 2016, Vol. Alimentação: A árvore que sustenta a vida.
19. Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas. **Broetto, Fernando.** Botucatu: IBB : UNESP, 2014.
20. **Cecchi, Heloisa Máscia.** Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos. s.l. : Unicamp, 2003. 2ªEdição.

21. **I, Laboratório de Qualidade.** Determinação de Proteína Bruta-Método de Kjeldahl Modificado. 2017/2018.
22. **Mineiro, Soraia Andreia Lírio.** Fibra Alimentar: Composição, métodos e implicações alimentares. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Julho de 2014.
23. **Gaspar, Fábio André Aparício.** Identificação e quantificação de hidratos de carbono nas raízes de mirtilo e framboesa . Universidade de Lisboa, 2017.
24. **Figueiredo, Tânia Margarida Pereira.** Determinação do teor de açúcar numa amostra de produto alimentar-Validação De Métodos Analíticos. Universidade de Coimbra, Julho de 2012.
25. **Priscila Milene ANGELO, Neuza JORGE.** Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. 2006.
26. **Caroline Junqueira Sartori, Ana Hortência Fonsêca Castro, Fábio Akira Mori.** Teores de Fenóis Totais e Taninos nas Cascas de Anadenanthera pregrina. 2014.
27. **John Wiley & Sons, Inc.** Determination of Total Phenolics-Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2002.
28. **Martin, Lorin.** What Are the Roles of Chlorophyll A & B? Sciencing. [Online] 10 de June de 2019. [Citação: 21 de Junho de 2019.] <https://sciencing.com/what-are-the-roles-of-chlorophyll-a-b-12526386.html>.
29. Quantification of β -carotene, lycopene, and chlorophyll content in tomato fruits of enrichment of chicken feathers composting. **Mohan Arthanari, Senthilkumar Dhanapalan.** 16 March 2019, Vol. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.
30. **Masayasu Nagata, Ichiji Yamashita.** Simple Method for Simultaneous Determination of Chorophyll and Carotenoids in Tomato Fruit. 1992.
31. **Rodrigues, João Hugo Martins.** Estado da Arte, em 2014, dos Métodos de Determinação de Iodo In Vitro. Fevereiro de 2015, Vols. Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas, Instituto Superior de Ciências da Saúde Egas Moniz.

32. **Fojo, Cristina Eusébio Santos.** Ocorrência de Fluoretos em Sumos, Nétares e Refrigerantes Comercializados em Portugal Continental. 2011, Vols. Mestrado em Controlo de Qualidade e Toxicologia dos Alimentos, Universidade de Lisboa.
33. **Letícia Araújo Farah NAGATO, Emy TAKEMOTO, Jussara Carvalho Moura DELLA TORRE, Jaim LICHTIG.** Verificação do método Monier-Williams otimizado na determinação de dióxido de enxofre em sucos de frutas, água de coco e cogumelo em conserva. Núcleo de Química, Física e Sensorial, Centro de Alimentos, Instituto Adolfo Lutz, 2013.
34. **Industrial, Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia.** Protocolo Interno-XRF. 2017/2018.
35. **Antonio Francisco de Mendonça Júnior, Alexandre Paula Braga, Ana Paula Medeiros dos Santos Rodrigues, Liliane Elzi Medeiros de Sales, Héliida Campos de Mesquita.** Minerais: Importância De Uso Na Dieta De Ruminantes. ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido, 2011, Vols. v.07, n 01 .
36. **I, Laboratório de Qualidade.** Determinação de Elementos por Absorção Atômica. 2017/2018.
37. **Químicas, Laboratório de Tecnologias.** Determinação de Sódio e Potássio por Fotometria de Chama. 2017.
38. **Normalização, Comissão Portuguesa de.** Determinação do Teor em Fósforo Total-Gorduras e Óleos Comestíveis. 1982.
39. **Dornemann, Guilherme Moraes.** Comparação de Métodos para Determinação de Açúcares Redutores e Não-redutores. Porto Alegre, Julho de 2016.
40. **Normalização, Comissão Portuguesa de.** Determinação do Teor de Açúcares-Alimentos Para Animais. NP-1785. 1986.
41. —. Determinação do Teor de Amido Pelo Método Polarimétrico-Alimentos Para Animais. 1987.
42. **Camila Reis de Araújo, Carolina Vicência Santos Garrido, João Marcus Grillo Moraes Santos, Simone Costi Stangherlin Leal, Leila Maria Aguilera Campos.** Estudo das Rotas de Hidrólise Química e Biológica para a Produção de Etanol de Segunda Geração a partir de Resíduos Lignocelulósicos. XII SEPA-Seminário Estudantil de

Produção Académica, 2013, Vol. UNIFACS,
<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa>.

43. **Normalização, Comissão Portuguesa de.** Determinação do Teor em Celulose Bruta- Alimentos Para Animais. NP-2029. 1983.

44. **Pereira, Eduardo, et al.** Guia para a optimização da água e da eficiência energética da ITV. ATP-Associação Têxtil e Vestuário de Portugal.

45. **Contemporâneo, Pordata-Base de Dados Portugal.** Ambiente, Energia e Território. [Online] [Citação: 26 de Abril de 2019.] <https://www.pordata.pt/Home>.

46. **Direção Geral de Energia e Geologia-DGEG.** Sistema de Gestão Consumos Intensivos de Energia - SGCIE. [Online] [Citação: 23 de Abril de 2019.] <http://www.dgeg.gov.pt/?cn=83098476AAAAAAAAAAAAAAAAAAAA>.

47. **Projecto Energia Perits.** Auditorias Energéticas. [Online] [Citação: 22 de Abril de 2019.] <http://www.perits.pt/auditorias-energ%C3%A9ticas.html>.

48. **Belo, Pedro Miguel Sousa.** Auditorias de Energia em Instalações Industriais do Setor Automóvel. Dezembro de 2015.

49. Despacho n.º 17449/2008. **República, Diário da.** N.º 123, 27 de Junho de 2008, Vol. 2.ª série.

50. A energia reativa e a sua correção. **Santos-CENFIM, Adelino.** Abril de 2014.

51. **Alves, Mário Ferreira.** ABC dos Circuitos Elétricos em Corrente Alternada. Instituto Superior de Engenharia do Porto : s.n., 1999.

52. **Senra, Renato.** Energia Eléctrica-Medição, Qualidade e Eficiência. s.l. : Baraúna, 2013.

53. **indusmelec, Material Eléctrico & Automatismos Industriais, Lda.** Variação de velocidade. [Online] indusmelec, 2017. [Citação: 16 de 07 de 2019.] http://www.indusmelec.pt/newsletter/17/Variacao_de_velocidade.pdf.

54. **WEG, Eficiência energética.** EU MEPS: Requisitos de Eficiência para Motores de Baixa Tensão. [Online] [Citação: 17 de Julho de 2019.] https://www.diferencial.pt/sites/www.diferencial.pt/files/u12/weg_efeciencia_energetica.pdf.

55. **Santos, José Neves dos.** Compensação do factor de potência. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Abril de 2016.
56. **Ambiental, Centro Tecnológico de Gestão.** CTGA-Centro Tecnológico de Gestão Ambiental. [Online] [Citação: 21 de 12 de 2018.]
57. **Energy, Motor Challenge-Fact Sheet a Program of the U.S. Department of.** Determining Electric Motor Load and Efficiency. Abril de 2014.
58. **EDP.** [Online] 2019. [Citação: 28 de Agosto de 2019.] <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/edp-comercial/slaves/slave-edp-online-particulares/fazer-novo-contrato/o-que-e-a-potencia-contratada-e-qual-devo-escolher/faq-4676>.
59. **Portuguesa, República.** Poupa Energia-A escolha Informada. [Online] 2019. [Citação: 12 de Agosto de 2019.] <https://poupaenergia.pt/energia-reativa/>.
60. **Normalização, Comissão Portuguesa de.** Determinação da acidez-Géneros Alimentícios Derivados de Frutos e de Produtos Hórtícolas. NP-1421. 1977.
61. **Normalização, Comissão Europeia de.** Determinação do Teor de Cloretos-Géneros Alimentícios de Frutos e de Produtos Hortícolas. NP-1422. 1977.
62. **Indusmelec-Material Elétrico & Automatismos Industriais, LDA.** Compensação do Fator de Potência. Junho de 2013.
63. **Markus, Otávio.** Circuitos Elétricos-Corrente Contínua e Corrente Alternada. s.l. : Érica Ltda, 2001.
64. **António Pereira Afonso, Enio Filoni.** Eletrónica, Circuitos elétricos, Volume I. s.l. : Centro Paula Souza, 2011.
65. **Europeia, Jornal Oficial da União.** Directiva 2008/98/CE, Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008. Relativa a Resíduos. 2008.
66. **República, Diário da.** Declaração de Rectificação n.o 23-A/2002, Decreto-Lei n.o 89/2002. 29 de Junho de 2002. I Série-A N° 148 .
67. **Figueiredo, Paulo.** Valorização De Resíduos Da Indústria Agro-Alimentar Através Do Desenvolvimento De Ingredientes Funcionais E Nutracêuticos. 2008.

68. **M. Carmona-Cabello, I.L. Garcia, D. Leiva-Candia, M.P. Dorado.** Valorization of food waste based on its composition through the concept of biorefinery. 2018, Vol. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry.
69. **Nogueira, Lília.** Composição química e atividade antioxidante de diferentes variedades de pimento (*Capsicum annum L.*). 2013.
70. **Vasiliki Liakou, Chrysanthi Pateraki, Anastasia-Marina Palaiogeorgou, Nikolaos Kopsahelis, Aline Machado de Castro, Denise Maria Guimarães Freire, George-John E. Nychas, Seraphim Papanikolaou, Apostolis Koutinas.** Valorisation of fruit and vegetable waste from open markets for the production of 2,3-butanediol. 2017, Vol. Food and Bioproducts Processing.
71. Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany. **Weiland, P. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,** 2006, Vol. Eng. Life Sci.
72. Feeding of processed vegetable wastes to bulls and its potential environmental benefit. **Nani G. Das, *, Khan S. Huque, Sardar M. Amanullah, Harinder P.S. Makkar. 2018, Vol. Animal Nutrition.**
73. **Aguiar, Joselin Maria Vieira de.** Determinação de Compostos Bioativos em Frutas e Vegetais Consumidos na Região Autónoma da Madeira. Mestrado em Bioquímica Aplicada, Dissertação de Mestrado, Junho, 2017.
74. **Marques, Luís Miguel Ventura de Almeida.** Produção de Bioetanol a Partir de Resíduos Agroindustriais. Mestrado de Energias Renováveis e Gestão de Energia, Dissertação de Mestrado, Maio, 2012.
75. **Junbo Tuo, Fei Liu, Peiji Liu, Hua Zhang, Wei Cai.** Energy efficiency evaluation for machining systems through virtual part. ,2018.
76. **Mineiro, Soraia Andreia Lírio.** Fibra Alimentar: composição, métodos e implicações alimentares. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Julho de 2014.
77. Valorization of food waste into biofertiliser and its field application. **Chenyu Du, Jwan J. Abdullah, Darren Greetham, Danni Fu, Mengyuan Yu, Liwei Ren, Shuang Li, Diannan Lu. s.l. : Journal of Cleaner Production , 2018.**

78. **Priscila Milene Angelo, Neuza Jorge.** Compostos Fenólicos em Alimentos-Uma Breve Revisão. 17 de Julho de 2006.
79. **Energéticos-ERSE, Entidade Reguladora dos Serviços.** Tarifas e Preços- Períodos Horários. [Online] 2019. [Citação: 26 de Julho de 2019.] <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx>
80. **Energéticos, Entidade Reguladora dos Serviços.** Tarifas Reguladas em 2019. [Online] 17 de Dezembro de 2018. [Citação: 2 de Julho de 2019.] <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2019/Paginas/default.aspx>.
81. **Europeia, Comissão. Regulamento CE N°152/2009.** Anexo III, Secção B, Método H, Procedimento A. 27 de Janeiro de 2009.
82. **Química, Sociedade Portuguesa de.** A Química da Vitamina C. 5 de Maio de 2001.
83. **Indusmelec.** Variação de Velocidade. Março de 2015.

Anexo

A. Revalorização de resíduos sólidos

A.1. Material e Métodos

Tabela A.1 - Listagem de equipamentos e especificações dos mesmos.

Equipamento	Marca	Modelo	Máximo	Gama de Trabalho	Sensibilidade	Potência de Trabalho
Moinho Industrial	-	-	-	-	-	-
Moinho	-	-	-	-	-	700 W
Varinha Mágica	-	-	-	-	-	1000 W
Varinha Mágica	Ufesa	Mini Mixer	-	-	-	400 W
Balança	KERN	ALS 120-4N	120 g	-	+/- 0,1 mg	-
Balança	DENVER INSTRUMENT	S-234	230 g	-	+/- 0,1 mg	-
Balança	DENVER INSTRUMENT	-	210 g	-	+/- 0,1 mg	-
Balança	CHYO	A-300	300 g	-	+/- 0,1 mg	-
Rotavapor	Rotaquímica	BUCH 1, R-210	-	-	-	-
Estufa	BINDER	ED 115	300 °C	0 °C - 300 °C	+/- 1 °C	1,6 kW
Mufla	VULCAN	A-550	1100 °C	0 °C - 1100 °C	+/- 50 °C	-
Medidor de pH	METROHM	632 pHmetro	-	-	-	-
Medidor de pH de sólidos	HANNA	Checker				
Polarímetro	ATAGO	POLAX-L	-	-	-	-
Digestor Kjeldhal	DK6	Heating Digester				
Fotómetro	CORNING	Flame Photometer 410	-	-	-	-
Absorção Atômica	Atomic Absorption Spectrophometer	PG-990	-	-	-	-
Espectrofotómetro UV	SHIMADZU	Recording Spectrophotometer UV-VISIBLE UV-260	-	-	-	-
Espectrofotómetro UV-VIS	SHIMADZU	UV-160 A	-	-	-	-

Tabela A.2 - Quadro resumo dos métodos de análise.

Parâmetro	Método/Procedimento	Princípio do método	Referência
pH	Método Interno Maçarico	Potenciometria	[1]
Acidez	Método Interno Maçarico	Titulometria	[1]
Cinzas	018/IV		[17]
Humidade	012/IV		[17]
Cloretos	Método Interno Maçarico	Titulometria	[1]
Óleos e Gorduras	032/IV	Extração com solvente	[17]
Pigmentos	Espectrofotometria de UV	Extração com solvente- Espectrofotometria UV	[30]
Fibra Bruta	044/IV		[17]
Proteína Bruta	Determinação do Azoto Proteico pelo método Kjeldahl modificado	Digestão kjedhal	[21]
Compostos fenólicos	Teor em Fenóis Totais	Espectrofotometria UV/VIS	[25] [26] [27]
Fósforo Total	NP 1994	Espectrofotometria UV/VIS	[38]
Ferro	393/IV Digestão da amostra Método Interno ISEP- Laboratório de Qualidade I	Espectroscopia de Absorção Atômica	[17] [36]
Cobre	393/IV Digestão da amostra Método Interno ISEP- Laboratório de Qualidade I	Espectroscopia de Absorção Atômica	[17] [36]
Magnésio	393/IV Digestão da amostra Método Interno ISEP- Laboratório de Qualidade I	Espectroscopia de Absorção Atômica	[17] [36]
Zinco	393/IV Digestão da amostra Método Interno ISEP- Laboratório de Qualidade I	Espectroscopia de Absorção Atômica	[17] [36]

Tabela A.2 (continuação) - Quadro resumo de métodos de análise.

Parâmetro	Método/Procedimento	Princípio do método	Referência
Manganês	393/IV Digestão da amostra Método Interno ISEP- Laboratório de Qualidade I	Espectroscopia de Absorção Atômica	[17] [36]
Cálcio	393/IV Digestão da amostra Método Interno ISEP- Laboratório de Qualidade I	Espectroscopia de Absorção Atômica	[17] [36]
Potássio	393/IV Digestão da amostra Método Interno ISEP- Laboratório de Qualidade I	Fotometria de Chama	[17] [37]
Hidratos de carbono (em açúcares totais)	040/IV	Titulometria	[17]
Iodo	-	Fluorescência de RX	[34]
Flúor	-	Fluorescência de RX	[34]
Enxofre	-	Fluorescência de RX	[34]
Açúcares Totais	NP 1785	Titulometria	[40]
Amido	NP 2026		[41]
Celulose Bruta	NP 2029		[43]

A.2. Protocolos Experimentais

Apresentam-se seguidamente os protocolos de determinação dos vários parâmetros em estudo neste trabalho. De salientar que muitos destes procedimentos são adaptações das referências bibliográficas indicadas.

017/IV Determinação do pH [17]

Pesou-se 10 g de amostra num copo e dissolveu-se com a adição de 100 mL de água. Agitou-se o conteúdo até que as partículas, caso existissem, ficassem uniformemente suspensas.

Determinação do valor de pH, Procedimento interno-Laboratório Maçarico II [1]

Após homogeneização em moinho industrial, mediu-se o valor de pH com um medidor de pH de sólidos.

016/IV Acidez [17]

Pesou-se cerca de 5 g e transferiu-se para um frasco Erlenmeyer de 125 mL com a adição de 50 mL de água. Adicionou-se 2 a 4 gotas da solução de fenolftaleína, titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 *M*, até se atingir coloração rosa.

NP-1421 Determinação de Acidez [60]

Pesou-se 25 g de amostra previamente homogeneizada e colocou-se num erlenmeyer, adicionou-se 50 mL de água destilada quente e neutralizou-se com NaOH a 0,1 *N*, agitou-se até homogeneização, adaptou-se um tubo de refluxo e colocou-se em manta de aquecimento durante 30 minutos, deixou-se arrefecer e transferiu-se para um balão volumétrico de 250 mL, deixou-se arrefecer e preencheu-se o volume com água destilada.

Num erlenmeyer de 200 mL colocou-se entre 25 a 100 mL de amostra preparada. Adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína a 1% e titulou-se com hidróxido de sódio 0,1 *N*. O ponto de viragem é coloração rósea persistente durante 30 s.

Determinação do valor de Acidez, Método Interno-Laboratório Maçarico II [1]

Homogeneizou-se a amostra em moinho industrial. Pesou-se cerca de 5 g de amostra e adicionou-se 50 mL de água mais 3 gotas de fenolftaleína, finalmente titulou-se com solução de NaOH a 0,1 N, até coloração rósea.

012/IV Humidade– Secagem direta em estufa a 105°C [17]

Pesou-se de 2 a 10 g da amostra num cadinho. Aqueceu-se durante 3 horas em estufa a 105°C. Arrefeceu-se em exsiccador até à temperatura ambiente e pesou-se, repetindo-se este procedimento até não haver mais variação do peso.

Os cadinhos foram previamente esterilizados em mufla a 600°C.

018/IV Cinzas [17]

As amostras provenientes dos ensaios de humidade foram incineradas em mufla a 550°C, durante uma hora. Após arrefecimento em exsiccador pesou-se os cadinhos com a amostra, repetindo-se este procedimento até não haver mais variação do peso.

032/IV Lípidos ou Óleos e Gorduras-Extração Direta em Soxhlet [17]

Pesou-se entre 15 a 20 g de amostra em cartucho de Soxhlet, com uma tampa de papel de filtro. Montou-se o equipamento de extração em Soxhlet com éter de petróleo tendo ficado em extração contínua durante 8 horas. O éter remanescente no balão de extração foi retirado por destilação e colocado na estufa a 105 °C durante 1 hora, foi arrefecido em exsiccador até peso constante.

044/IV Fibra bruta [17]

Pesou-se 2 g da amostra, adicionou-se 100 mL de solução ácida e 0,5 g de agente de filtração (areia diatomácea). Adaptou-se um sistema de refluxo por 40 minutos a partir do tempo em que a solução ácida foi adicionada, mantendo-se sob aquecimento.

Filtrou-se em cadinho de Gooch, previamente preparado com areia diatomácea, e com auxílio de vácuo. Lavou-se com água fervente até que a água de lavagem não tivesse reação ácida. Lavou-se com 20 mL de álcool e 20 mL de éter.

Aqueceu-se em estufa a 105°C, por 2 horas. Arrefeceu-se em exsiccador até temperatura ambiente e pesou-se. Incinerou-se em mufla a 550°C. Arrefeceu-se em exsiccador até temperatura ambiente e pesou-se. A perda de peso é igual à quantidade de fibra bruta.

028/IV Cloretos por volumetria [17]

Pesou-se 5 g da amostra num cadinho. Carbonizou-se em chapa elétrica. Incinerou-se em mufla a 550°C. Deixou-se arrefecer. Adicionou-se 30 mL de água quente. Agitou-se com vareta de vidro. Transferiu-se a solução com auxílio de um funil para um balão volumétrico de 100 mL. Lavou-se o cadinho, a vareta de vidro e o funil com duas porções de 30 mL de água quente.

Transferiu-se a solução para o balão volumétrico. Arrefeceu-se, completou-se o volume do balão e agitou-se. Transferiu-se, com auxílio de uma pipeta, 10 mL de solução para um frasco Erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 2 gotas da solução de dicromato de potássio a 10%, como indicador. Titulou-se com solução de nitrato de prata 0,1 M, até o aparecimento de uma coloração vermelha-tijolo.

NP-1422 Determinação de Cloretos segundo a Norma [61]

Num cadinho pesou-se 5 g de amostra e adicionou-se 20 mL de carbonato de sódio (5 g/100 mL), evaporou em banho-maria até ao desaparecimento de todo o líquido. Incinerou-se em mufla a uma temperatura inferior a 400 °C. Lavou-se com água destilada quente e filtrou-se.

Adicionou-se 2 mL de ácido nítrico concentrado e um volume de nitrato de prata entre 10 a 25 mL em excesso de modo a precipitar, filtrou-se e lavou-se com água destilada.

Adicionou-se 5 mL de solução de sulfato de ferro III em constante agitação. Titulou-se com solução de tiocianato até cor vermelha-alaranjada persistente.

Determinação de Cloretos, Método Interno-Laboratório Maçarico II [1]

Homogeneizou-se a amostra em moinho industrial. Pesou-se aproximadamente 0,5 g de amostra previamente homogeneizada e juntou-se 50 mL de água destilada. Adicionou-se uma medida pequena de Carbonato de Cálcio e agitou-se. Adicionou-se 1 mL de Dicromato de Potássio a 5%, titulou-se com Nitrato de Prata a 0,1 *N* até cor vermelha-alaranjada persistente.

Determinação do Azoto Proteico pelo método Kjeldahl [21]

Pesou-se rigorosamente 0,250 g de amostra. Colocou-se a amostra no tubo de digestão (250 mL) e adicionou-se 2 a 3 pastilhas de catalisador. Adicionou-se lentamente 12 mL de H₂SO₄ concentrado de forma a molhar completamente o produto e agitou-se. Colocou-se o tubo digestor, adaptou-se o sistema de sucção e ligou-se o equipamento. Regulou-se a temperatura para 420 °C. Fez-se a digestão até um aspecto transparente ou cor champanhe. Retirou-se o tubo e deixou-se arrefecer. Adicionou-se cuidadosamente 75 mL de água destilada

Num erlenmeyer, adicionou-se 25 mL de ácido bórico a 2 %. Colocou-se o erlenmeyer no destilador e levantou-se o manípulo até que o tubo de saída do destilado mergulhasse na solução de ácido bórico. Colocou-se o tubo da digestão no destilador e adaptou-se o tubo à rolha do destilador. Ao tubo de destilação adicionou-se 50 mL de NaOH a 40 %. Abriu-se a válvula de vapor e destilou durante +/- 4 minutos.

Titulou-se a solução de ácido bórico e o destilado com HCl 0,01 *M*, usando indicador vermelho de metilo + verde de bromocresol, até ao ponto de equivalência (passagem de verde a rosa acinzentado)

040/IV Hidratos de carbono com base em açúcares totais [17]

Pesou-se 2 a 5 g da amostra e adicionou-se 5 mL de ácido clorídrico. Colocou-se numa manta de aquecimento e adaptou-se o refrigerador de refluxo ao frasco. Deixou-se em ebulição por 3 horas a contar a partir do início da ebulição. Deixou-se arrefecer a solução e neutralizou-se com hidróxido de sódio a 40 %, verificando-se o pH com auxílio de papel indicador. Transferiu-se, para um balão volumétrico de 250 mL, com auxílio de água. Completou-se o volume com água e agitou-se. Filtrou-se, em papel de filtro seco

para um frasco Erlenmeyer de 300 mL. Transferiu-se o filtrado para uma bureta de 25 mL. Colocou-se num erlenmeyer de 250 mL, com pipetas de 10 mL, cada uma das soluções de Fehling A e B, adicionando 40 mL de água.

Aqueceu-se até ebulição. Adicionou-se, gota a gota, a solução da bureta sobre a solução do balão em ebulição, agitou-se, até que esta solução passou de azul a incolor (no fundo do balão deveria ficar um resíduo vermelho de Cu_2O).

Iodo, Fluor e Enxofre-Fluorescência de RX (XRF) [34]

Colocou-se uma amostra previamente triturada em cápsulas de análise, com película transparente na base e no topo, garantindo-se que a película se encontrava perfeitamente esticada. De seguida colocou-se no equipamento e escolheu-se o gás de varrimento, neste caso Hélio ou Ar.

A análise realizada é meramente qualitativa, pois o método do equipamento utilizado apenas deteta, não quantifica, no entanto através da altura dos picos do espectro resultante é possível saber o que existe em quantidades maiores ou menores.

Sendo que o princípio da análise consiste em converter a energia dos fótons emitidos pela amostra em pulsos elétricos, elementos com a mesma carga de fótons, ou seja, com o mesmo número de eletrões, que pertencem ao mesmo grupo da tabela periódica, pelo que podem aparecer no espectro apenas por indução, e não por estarem realmente na amostra. Pode ainda ocorrer o aparecimento de elementos no espectro como Escândio (Sc), proveniente da cápsula de análise, o Árgon (Ar) presente no ar atmosférico, no caso de outros como, o Alumínio (Al) que pode ser induzido pela presença de Enxofre (S), Cloro (Cl) ou Fósforo (P) que pertencem ao mesmo grupo da tabela periódica.

NP 1785 Determinação de açúcares [40]

Pesou-se 2,5 g da amostra e introduziu-se num balão volumétrico de 250 mL, juntou-se 200 mL de álcool etílico e agitou-se durante 1 hora. Adicionou-se 5 mL de solução de Carrez I e agitou-se durante 1 minuto. Juntou-se 5 mL da solução de Carrez II e agitou-se durante 1 minuto. Completou-se o volume com a solução de álcool etílico,

homogeneizou-se e filtrou-se, retirou-se 200 mL e evaporou-se até ficar apenas metade do volume.

Passou-se quantitativamente, com o auxílio de água quente, para um balão volumétrico de 200 mL, arrefeceu-se e completou-se o volume com água. Homogeneizou-se e filtrou-se. Esta solução é utilizada para a determinação dos açúcares.

Determinação de açúcares redutores - Com uma pipeta volumétrica retirou-se um volume de amostra, que continha menos de 60 mg de açúcares redutores, expressos em glucose e completou-se o volume até aos 25 mL.

Inversão e Toma para determinação de açúcares totais - Num balão volumétrico de 100 mL, introduziu-se 50 mL de amostra, juntam-se 15mL de ácido clorídrico 0,1 *N*, colocando-se o balão num banho-maria em ebulição por 30 min, arrefecendo rapidamente até 20 °C e juntou-se 15 mL de hidróxido de sódio 0,1 *N*, completou-se o volume com água destilada e homogeneizou-se, retirou-se uma amostra, inferior a 25 mL, com pipeta ou que contenha menos de 60 mg de açúcares redutores expressos em glucose, completando-se o volume até 25mL.

Determinação segundo LUFF-CHOORL - Mediu-se 25 mL de reagente de LUFF-CHOORL para um Erlenmeyer de 300 mL, adicionou-se 25 mL de amostra, aqueceu-se, em agitação constante, sobre uma placa elétrica, após ebulição esperou-se 2 minutos. Adaptou-se um refrigerador de refluxo ao frasco e a partir desse momento manteve-se a fervura durante 10 minutos, retirou-se o frasco e arrefeceu-se a solução, 5 minutos depois titulou-se.

Juntou-se 10 mL de solução de iodeto de potássio e 25 mL de ácido sulfúrico 6*N* e titulou-se com a solução de tiosulfato de sódio 0,1 *N* até ao aparecimento da coloração amarelo-pálido, juntou-se a solução de amido e procedeu-se a uma nova titulação até à alteração de cor para azul.

O branco leva 25 mL de reagente de Luff-Shoorl, 25 mL de água, 10 mL de solução de iodeto de potássio e 25 mL de solução de ácido sulfúrico 6 *N*, sem levar à ebulição.

Compostos Fenólicos Totais pelo método de Folin-Ciocalteu

Foi utilizado 200 mg de amostra e não tendo sido possível detetar compostos fenólicos optou-se por pesar, numa segunda tentativa, 2 g de amostra moída, a qual foi extraída em 10 mL de metanol:água (50 %), em maceração a frio e agitação constante por um período de 4 horas. O extrato foi filtrado em papel filtro e o volume completado para 100 mL com metanol-água (50 %) [25].

Para a quantificação de fenóis nas amostras, foi utilizada a totalidade de cada extrato, acrescido de 2,5 mL da solução de FolinCiocalteu a 10% (v/v) e 2,0 mL da solução de carbonato de sódio a 4 % (m/v), tendo sido protegidos da luz. Após 30 minutos, foi medida a absorvância em espectrofotômetro, a 760 nm [26].

Para os padrões, dissolveu-se 0,5 g de ácido gálico em 10 mL de etanol, de seguida diluiu-se para um balão volumétrico de 100 mL (concentração final 5 g de ácido gálico por litro). Diluiu-se 1,2,5 e 10 mL, para um balão volumétrico de 100 mL, de modo a obter padrões com concentrações de 50, 100, 250 e 500 mg/L (ppm) [27].

Determinação de pigmentos [30]

Pesou-se 1 g de amostra e juntou-se entre 10 a 20 mL de mistura Acetona: Hexano (4:6), homogeneizou-se periodicamente durante 30 minutos. A absorvância foi lida num espectrofotômetro UV, a comprimentos de onda de 663, 645, 505 e 453 nm.

NP 1994 Determinação do Fósforo Total [38]

Preparou-se uma solução mãe num balão de 1000 mL e dissolveu-se 0,5043 g de fosfato dissódico em água destilada dessa solução pipetou-se 100 mL para um balão de 1000 mL e obteve-se uma solução de fostato com uma concentração final de 10 µg P₂O₂/mL.

Para a curva de calibração pipetou-se 1 mL, 2 mL, 3 mL, 5 mL, 7 mL, 10 mL, 12 mL e 14 mL. Adicionou-se de imediato 20 mL de ácido sulfúrico 2 N, 20 mL de molibdato de sódio e 20 mL de água destilada, colocou-se em banho-maria durante 30 minutos, deixou-se arrefecer e completou-se o volume com água destilada, leu-se a amostra em espectrofotometro de UV/VIS a um comprimento de onda de 700 nm.

Partindo de cinza já preparada, juntou-se 20 mL de ácido sulfúrico e 30 mL de água destilada de modo a dissolver a cinza, de seguida com o auxílio de água destilada, verteu-se a mistura para um balão de 100 mL. Juntou-se 20 mL de água destilada e 20 mL de molibdato de sódio. De seguida mergulhou-se o balão em banho-maria em ebulição onde permaneceu durante 30 minutos. Deixou-se arrefecer e completou-se o volume com água destilada. Determinou-se o valor por espectrofotometria UV/VIS a um comprimento de onda de 700 nm.

Determinação de Ferro, Mangânes, Magnésio, Cobre, Cálcio e Zinco, por absorção atômica

Num cadinho, pesou-se uma quantidade adequada da amostra previamente homogeneizada, de tal maneira que a leitura do elemento na solução da amostra digerida ficasse compreendida na faixa linear da curva-padrão. Carbonizou-se a amostra em chapa elétrica e colocou-se na mufla a 550 °C, durante um período de 4 horas. Retirou-se da mufla e deixou-se arrefecer.

Humedeceu-se novamente as cinzas com água desmineralizada e adicionou-se 1 mL de HNO₃. Carbonizou-se em chapa elétrica. Voltou para a mufla (400-450°C), quantas vezes foram necessárias, repetindo a adição de ácido, até a completa mineralização da amostra, ou seja, até a obtenção de cinzas claras, isentas de carvão.

Dissolveu-se as cinzas utilizando o ácido clorídrico, de tal maneira que a concentração final de ácido fosse a mesma que a das soluções padrão. Aqueceu-se e transferiu-se quantitativamente com água destilada para balão volumétrico de 100 mL [17].

Os padrões foram preparados com ácido nítrico 0,5%, de acordo com protocolos internos do DEQ-ISEP adequados ao equipamento em questão. Cada elemento analisado tem uma curva padrão própria, que corresponde à gama de trabalho mais sensível indicado no manual do fornecedor.

O método pressupõe a análise em espectrofotómetro de absorção atômica, e cada comprimento de onda é dado pela gama de trabalho em uso [36].

Determinação de Potássio, por Fotometria de Chama

Num cadinho, pesou-se uma quantidade adequada da amostra previamente homogeneizada, de tal maneira que a leitura do elemento na solução da amostra digerida ficasse compreendida na faixa linear da curva-padrão. Carbonizou-se a amostra em chapa elétrica e colocou-se na mufla a 550 °C, durante um período de quatro horas. Retirou-se da mufla e deixou-se arrefecer.

Humedeceu-se novamente as cinzas com água desmineralizada e adicionou-se 1 mL de HNO₃. Carbonizou-se em chapa elétrica. Voltou para a mufla (400-450°C), quantas vezes foram necessárias, repetindo a adição de ácido, até a completa mineralização da amostra, ou seja, até a obtenção de cinzas claras, isentas de carvão.

Dissolveu-se as cinzas utilizando o ácido clorídrico, de tal maneira que a concentração final de ácido fosse a mesma que a das soluções padrão. Aqueceu-se e transferiu-se quantitativamente com água destilada para balão volumétrico de 100 mL [17].

A determinação de potássio foi efetuada por fotometria de chama. Os padrões da curva de calibração foram preparados a partir de uma solução mãe de 100 ppm, em ácido nítrico a 1%, numa gama de trabalho de 0 a 10 ppm [17].

NP 2029 Determinação da celulose bruta [43]

Pesou-se entre 1 a 3 g de amostra.

Tratamento ácido - Juntou-se 200 mL de solução de ácido sulfúrico a 0,26N, previamente aquecido a 95-100°C, dispersando-se a amostra em 30 ou 40 mL. Levou-se à ebulição em sistema de refluxo, e ferveu-se durante 30 minutos, na presença de esferas de vidro. Tentou-se manter o volume constante.

Decorrido o tempo de ebulição, juntou-se 50 mL de água fria e separou-se o insolúvel por filtração. Lavou-se o recipiente com porções de água, deitando as águas de lavagem sobre o insolúvel. Repetiu-se até o pH ser neutro.

Tratamento alcalino - Transferiu-se o lavado para o balão de digestão, adicionou-se 200 mL de hidróxido de sódio 0,32 N, previamente aquecida a 95-100°C e antiespumante. O volume indicado na solução alcalina deve ser utilizado para o

arrastamento do insolúvel, adaptou-se o sistema de refluxo e levou-se à ebulição durante 30 minutos.

Após o tempo de ebulição, juntou-se 50 mL de água fria, separou-se o insolúvel por filtração, juntou-se ácido sulfúrico a 0,26 *N* previamente aquecido a 95-100°C e repetiu-se o processo de lavagem até o pH ser neutro.

Tratou-se com álcool etílico ou acetona a 95 % (v/v) e juntou-se éter de petróleo de modo a eliminar matérias gordas insaponificáveis. Consoante a técnica de filtração (neste caso papel de filtro) transfere-se os resíduos para um cadinho, previamente limpo e pesado.

Secagem - Secou-se a cápsula a 130 °C durante 2 horas, arrefeceu-se em exsiccador e pesou-se.

Incineração - Incinerou-se o resíduo seco a 600°C em mufla durante 1 hora, arrefeceu-se em exsiccador e pesou-se até obter valor constante.

NP 2026 Determinação Amido [41]

Preparou-se duas amostras, uma com 2,5 g para o poder rotatório total (t_1) e uma com 5 g para o poder rotatório das matérias insolúveis no álcool etílico a 40 % (t_2).

Poder Rotatório Total - Introduziu-se a amostra pesada em t_1 num balão volumétrico de 100 mL, juntou-se 50 mL de solução de ácido clorídrico e agitou-se, colocou-se o balão volumétrico em água a ferver durante 3 minutos em agitação, de seguida parou-se de agitar e deixou-se em água a ferver até atingir 15 minutos do início. Retirou-se o balão e adicionou-se 30 mL de água fria, deixando-se arrefecer até temperatura ambiente.

Adicionou-se 5 mL de solução de Carrez I e agitou-se durante 1 minuto, adicionou-se solução de Carrez II e agitou-se durante 1 minuto, completou-se o volume com água, homogeneizou-se e filtrou-se. Repetiu-se o processo até a solução filtrada ser límpida.

Poder Rotatório das Matérias Solúveis em Etanol a 40 %. - Introduziu-se a amostra pesada para t_2 num balão volumétrico de 100 mL e juntou-se 80 mL de solução de etanol a 40 %, agitou-se de 10 em 10 minutos durante 1 hora. Completou-se o volume com solução de álcool etílico a 40 %, homogeneizou-se e filtrou-se.

Num balão de destilação introduziram-se 50 mL do filtrado, juntou-se 2,1 mL de ácido clorídrico e agitou-se. Adaptou-se um condensador de refluxo e deixou-se 15 minutos em ebulição, transferiu-se o conteúdo para um balão de 100 mL arrastando os resíduos com água fria. Deixou-se arrefecer até temperatura ambiente.

Adicionou-se 5 mL de solução de Carrez I e agitou-se durante 1 minuto, adicionou-se solução de Carrez II e agitou-se durante 1 minuto, completou-se o volume com água, homogeneizou-se e filtrou-se. Repetiu-se o processo até que solução filtrada se tornasse límpida.

Por fim leu-se ambas as amostras num polarímetro em tubos de 200 mm.

A.3. Tratamento de Dados

pH

O valor de pH foi medido de três formas diferentes, a primeira em que a amostra homogeneizada era diluída em água e permanecia em agitação constante durante 20 min a frio e o valor de pH era lido no líquido. Os valores recolhidos encontram-se na tabela A.3.

Tabela A.3 - Valores de pH obtidos pela medição em solução aquosa com 20 minutos de agitação contínua.

Cenoura Fermentada		
pH	Média	Desvio Padrão
4,71	4,65	0,03
4,66		
4,63		
4,63		
4,63		
Couve-Flor Fermentada		
pH	Média	Desvio Padrão
4,65	4,59	0,03
4,59		
4,57		
4,56		
4,56		

Estes valores não foram considerados pois a diluição da polpa na água aumentava o valor de pH, ou seja, o resultado correspondia a um valor de acidez menor do que realmente era.

A segunda forma foi a homogeneização da amostra e leitura do valor de pH, com um medidor de pH de sólidos, no entanto não se considerou esta medida pois não se conseguiu obter um valor estável, o medidor tinha ranhuras onde entrava a amostra o que não facilitava a medição. O valor não estabilizava, mesmo que o medidor se encontrasse subterrado na amostra durante um determinado período de tempo (cerca de 15 minutos).

A terceira forma foi realizada nos laboratórios da Maçarico II, com recurso a um medidor de pH de sólidos e com a amostra homogeneizada em moinho industrial com uma segunda passagem na varinha mágica, da qual foi possível retirar valores constantes, em três medições consecutivas.

Os resultados para as três matrizes analisadas encontram-se descritos na tabela A.4.

Tabela A.4 - Valores obtidos em três medições consecutivas do valor de pH e respetivo valor médio.

Couve-flor Fresca		
pH	Média	Desvio Padrão
6,45	6,46	0,01
6,46		
6,46		
Couve-flor Fermentada		
pH	Média	Desvio Padrão
4,14	4,14	0
4,14		
4,14		
Cenoura Fermentada		
pH	Média	Desvio Padrão
4,02	4,02	0,01
4,01		
4,02		

O desvio padrão oferece uma informação sobre a dispersão dos resultados em relação ao seu valor médio, neste trabalho foi calculado de forma automática, recorrendo à função DESVPAD.P do excel, em que se considera que os seus argumentos são a população inteira, pois avaliou todos os resultados obtidos em cada parâmetro e não apenas uma amostra deles. Segundo a informação da função utilizada pelo excel, a

fórmula de cálculo deste é, $DESVPAD.P = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}}$, em que, x é o resultado do ensaio, \bar{x} é o valor médio dos resultados e n é o número de ensaios. Para todos os parâmetros que tiveram mais do que dois ensaios o desvio padrão foi calculado da mesma forma.

Humidade e Cinzas

O valor da percentagem de humidade e da percentagem de cinzas foi determinado com recurso ao protocolo experimental, 012/IV Perda por secagem (humidade) – Secagem direta em estufa a 105°C (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ªEdição, 2008) e 018/IV Resíduo por incineração – Cinzas (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ªEdição, 2008), respetivamente.

A percentagem de humidade foi obtida de acordo com as equações seguintes,

$$(m_{\text{cadinho}} + m_{\text{amostra}}) - m_{\text{cadinho+amostra após estufa}} = m_{\text{água}} \quad \text{Equação A.1}$$

$$\frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100 = \% \text{ Humidade} \quad \text{Equação A.2}$$

Necessário referir que as percentagens obtidas são relativas a uma amostra inicial húmida.

A percentagem de cinzas foi obtida na continuidade, pois após secagem em estufa e pesagem, as amostras seguiram para a mufla de modo a determinar a quantidade de matéria mineral.

$$m_{\text{cadinho+amostra após mufla}} - m_{\text{cadinho}} = m_{\text{cinzas}} \quad \text{Equação A.3}$$

$$\frac{m_{\text{cinzas}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100 = \% \text{ Humidade} \quad \text{Equação A.4}$$

Os resultados e valores de pesagem intermédios encontram-se descritos na tabela A.5.

Tabela A.5 - Valores de pesagens intermédias e resultados obtidos.

Cenoura Fermentada									
<i>m</i> cadinho (g)	<i>m</i> amostra (g)	<i>m</i> após estufa (g)	<i>m</i> água (g)	% Humidade	Média	<i>m</i> após mufla (g)	<i>m</i> cinzas (g)	% Cinzas	Média
73,8339	3,4615	74,4375	2,8579	82,5624	82,6208	74,2205	0,3866	11,1686	11,1688
67,0382	3,5202	67,6680	2,8904	82,1090		67,4419	0,4037	11,4681	
82,0817	3,5291	82,6749	2,9359	83,1912		82,4653	0,3836	10,8696	
Couve-flor Fresca									
<i>m</i> cadinho (g)	<i>m</i> amostra (g)	<i>m</i> após estufa (g)	<i>m</i> água (g)	% Humidade	Média	<i>m</i> após mufla (g)	<i>m</i> cinzas (g)	% Cinzas	Média
60,2951	3,6554	60,5796	3,3709	92,2170	92,2515	60,3178	0,0227	0,6210	0,6499
62,0790	3,2771	62,3369	3,0192	92,1302		62,1047	0,0257	0,7842	
61,1995	3,8761	61,4938	3,5818	92,4073		61,2206	0,0211	0,5444	
Couve-flor Fermentada									
<i>m</i> cadinho (g)	<i>m</i> amostra (g)	<i>m</i> após estufa (g)	<i>m</i> água (g)	% Humidade	Média	<i>m</i> após mufla (g)	<i>m</i> cinzas (g)	% Cinzas	Média
59,9422	4,5354	61,1475	3,3301	73,4246	73,4285	60,9979	1,0557	23,2769	23,1907
61,8317	4,2361	62,9584	3,1094	73,4024		62,8133	0,9816	23,1723	
62,5339	4,5751	63,7482	3,3608	73,4585		63,5918	1,0579	23,1230	

O desvio padrão relativamente à cenoura fermentada foi de 0,54 % na percentagem de humidade e 0,30 % na percentagem de cinzas. Para a couve-flor fresca foi de 0,14 % e 0,12 %, para a percentagem de humidade e percentagem de cinzas, respetivamente. Por fim para a couve-flor fermentada foi de 0,03 % na percentagem de humidade e 0,08 % na percentagem de cinzas.

Acidez

A determinação da acidez foi efetuada de acordo com três métodos diferentes, uma primeira de acordo com o protocolo, 016/IV Acidez (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008), outra pela, Norma 1421 (1977)-Determinação de Acidez e por fim seguindo o método interno nos laboratórios da empresa Maçarico.

A necessidade do recurso a outros métodos prendeu-se com a preparação da amostra para análise e pelo facto da % de acidez ser significativamente baixa, pois com o primeiro método a % de acidez dava negativa, e seguindo o método normativo a percentagem de acidez era superior a 100%.

Deste modo a acidez no caso da couve-flor em fresco foi determinada por titulação potenciométrica com NaOH a 0,1 N, no equipamento próprio (laboratórios Maçarico S.A.), sendo previamente homogeneizada no moinho industrial, os resultados da medição encontram-se descritos na tabela A.6 onde *m* significa massa de amostra pesada.

Tabela A.6 - Resultados obtidos na análise do valor da acidez na amostra de couve-flor em fresco.

Ensaio	Couve-Flor Fresca				
2	m=	5,0936	g	Ácido Láctico (%)	0,21
				Ácido Cítrico (%)	0,15
				Ácido Acético (%)	0,12
3	m=	5,0458	g	Ácido Láctico (%)	0,22
				Ácido Cítrico (%)	0,16
				Ácido Acético (%)	0,15

No ensaio 1, ocorreu um erro no equipamento e ele acabou por não titular, pelo que, no cálculo do desvio padrão esta análise foi desprezada, pois o seu valor era 0.

Assim os valores do desvio padrão entre a análise 2 e 3 são de 0,01 % para o ácido láctico e cítrico e de 0,02 % para o ácido acético.

Devido à pouca quantidade de amostra restante na fase final de análise, foi necessário recorrer a uma varinha mágica para a homogeneização das amostras fermentadas e a determinação da acidez foi efetuada por titulação com NaOH, em concentração de 0,98162 g/L e com fenolftaleína como indicador.

O cálculo para a determinação da acidez em função do volume de titulante gasto foi efetuado da seguinte forma,

$$\frac{f \times F \text{ (g/mL)} \times \Delta V \text{ (mL)}}{m \text{ (g)}} \times 100 = \% \text{ Acidez} \quad \text{Equação A.5}$$

Em que f é o fator de expressão do tipo de ácido, 0,90 para o ácido láctico, 0,64 para o ácido cítrico e 0,60 para o ácido acético, F é o fator de correção do NaOH utilizado na titulação, neste caso 0,0098162 g/mL, ΔV é o volume de NaOH gasto e por fim m é a massa de amostra pesada em g.

Os resultados obtidos, bem como os volumes de NaOH gastos na titulação, da análise do valor da acidez para a couve flor e cenoura fermentadas encontram-se descritos na tabela A.7.

Tabela A.7 - Resultados obtidos na análise da % de acidez na cenoura e couve-flor fermentadas.

Couve-Flor Fermentada								
				V_i (mL)	V_f (mL)	ΔV (mL)	%	
1	m=	3,0148	g	11,55	12,15	0,60	Ácido Láctico (%)	0,18
							Ácido Cítrico (%)	0,13
							Ácido Acético (%)	0,12
2	m=	3,6860	g	11,00	11,55	0,55	Ácido Láctico (%)	0,13
							Ácido Cítrico (%)	0,09
							Ácido Acético (%)	0,09
3	m=	3,6976	g	12,15	12,75	0,60	Ácido Láctico (%)	0,14
							Ácido Cítrico (%)	0,10
							Ácido Acético (%)	0,10
Cenoura Fermentada								
				V_i (mL)	V_f (mL)	ΔV (mL)	%	
1	m=	2,5892	g	6,55	7,6	1,05	Ácido Láctico (%)	0,36
							Ácido Cítrico (%)	0,25
							Ácido Acético (%)	0,24
2	m=	3,5337	g	7,60	9,05	1,45	Ácido Láctico (%)	0,36
							Ácido Cítrico (%)	0,26
							Ácido Acético (%)	0,24
3	m=	5,0241	g	9,05	10,95	1,90	Ácido Láctico (%)	0,33
							Ácido Cítrico (%)	0,24
							Ácido Acético (%)	0,22

O desvio padrão entre amostras analisadas no caso da couve-flor fermentada foi de 0,02 % para o ácido láctico, 0,02 % para o ácido cítrico e 0,02 % para o ácido acético. Para a cenoura fermentada os valores foram de 0,02 % para o ácido láctico, 0,01 % para o ácido cítrico e 0,01 % para o ácido acético.

Cloreto de Sódio (Sal)

A determinação da quantidade de sal (NaCl) existente nas amostras foi determinada por três métodos diferentes, um primeiro seguindo o protocolo 028/IV Cloretos por volumetria, outro pela norma NP-1422 e por fim o método interno utilizado pela empresa para controlo de rotina. Os dois primeiros métodos foram executados sem sucesso pois na extração do NaCl a matriz acabava por degradar e os resultados ou eram negativos ou com percentagens superiores a 100%.

Assim a determinação foi feita por meio de uma titulação com nitrato de prata a 0,1 N, dicromato de potássio e carbonato de cálcio. O cálculo da % de NaCl foi feito de acordo com a equação A.6.

$$\frac{M_{NaCl}(g/mol) \times f_{AgNO_3}(mol/L) \times \Delta V(mL)}{m(g) \times 10} \times 100 = \% NaCl \quad \text{Equação A.6}$$

Sendo o M a massa molar de cloreto de sódio, f a concentração molar do nitrato de prata, ΔV o volume gasto de titulante, m a massa de amostra pesada e 10 o fator de correção da concentração de nitrato de prata.

Os resultados obtidos e os volumes de titulante, gastos para as três matrizes em análise encontram-se na tabela A.8.

Tabela A.8 - Resultados obtidos na determinação do cloreto de sódio nas amostras.

Couve-Flor Fresca					
	$m(g)$	$V_i(mL)$	$V_f(mL)$	$\Delta V(mL)$	$\%NaCl$
1	0,6045	0,00	0,07	0,07	0,07
2	0,7828	0,07	0,14	0,07	0,05
3	0,6711	0,00	0,04	0,04	0,03
Couve-Flor Fermentada					
	$m(g)$	$V_i(mL)$	$V_f(mL)$	$\Delta V(mL)$	$\%NaCl$
1	0,3743	0,10	13,85	13,75	21,53
2	0,3549	0,25	13,45	13,20	21,79
3	0,3546	0,40	13,50	13,10	21,65
Cenoura Fermentada					
	$m(g)$	$V_i(mL)$	$V_f(mL)$	$\Delta V(mL)$	$\%NaCl$
1	0,4852	0,50	9,05	8,55	10,33
2	0,8271	9,05	24,45	15,40	10,91
3	0,5818	7,85	18,75	10,90	10,98

O desvio padrão entre análises no caso da couve-flor fresca foi de 0,02 %, na couve-flor fermentada de 0,13 % e na cenoura fermentada de 0,36 %.

Óleos e Gorduras

Foi determinado segundo o protocolo, 032/IV Lípidos ou Óleos e Gorduras-Extração Direta em Soxhlet, descrito no Anexo A.2, em que a extração demorou cerca de 8 horas. A percentagem de óleos e gorduras para a couve-flor fresca e fermentada bem como a cenoura fermentada foram determinadas segundo a equação A.8.

$$m_{bal\tilde{a}o+óleos\ após\ estufa} - m_{bal\tilde{a}o} = m_{óleos+gorduras} \quad \text{Equação A.7}$$

$$\frac{m_{\text{óleos+gorduras}}}{m_{\text{amostra}}} = \% \text{ Óleos e Gorduras} \quad \text{Equação A.8}$$

Os valores obtidos em pesagens e resultados para todas as amostras em análise encontram-se descritos na tabela A.9

Tabela A.9 - Valores obtidos na determinação da % de óleos e gorduras.

Cenoura Fermentada	
$m_{\text{ balão (g)}}$ =	150,3040
$m_{\text{ cartucho (g)}}$ =	3,0404
$m_{\text{ amostra (g)}}$ =	15,2985
$m_{\text{ balão + óleos após estufa (g)}}$ =	150,3297
$m_{\text{ Óleos + Gorduras (g)}}$ =	0,0257
% Óleos e Gorduras=	0,17
Couve-Flor Fermentada	
$m_{\text{ balão (g)}}$ =	155,0644
$m_{\text{ cartucho (g)}}$ =	2,6644
$m_{\text{ amostra (g)}}$ =	14,4659
$m_{\text{ balão + óleos após estufa (g)}}$ =	155,0756
$m_{\text{ Óleos + Gorduras (g)}}$ =	0,0112
% Óleos e Gorduras=	0,08
Couve-Flor Fresca	
$m_{\text{ balão (g)}}$ =	150,3186
$m_{\text{ cartucho (g)}}$ =	2,9801
$m_{\text{ amostra (g)}}$ =	19,3336
$m_{\text{ balão + óleos após estufa (g)}}$ =	150,3327
$m_{\text{ Óleos + Gorduras (g)}}$ =	0,0141
% Óleos e Gorduras=	0,07

Os resultados obtidos estão expressos em massa/massa em base húmida.

Proteína Bruta

Para a determinação da % de proteína bruta, seguiu-se o método descrito no protocolo interno de Laboratório de Qualidade I do DEQ-ISEP. Em que a % de proteína bruta é dada pela % de azoto presente na amostra.

A percentagem de azoto é determinada da seguinte forma,

$$\frac{V_{HCl} (mL) \times [HCl] (mol/L) \times 14,007 (g/mol)}{m_{\text{amostra}} (g)} \times 100 = \% \text{ Azoto} \quad \text{Equação A.9}$$

Em que V é o volume de ácido clorídrico gasto na titulação em mL, $[HCl]$ é a concentração do titulante em mol/L, 14,007 é a massa molar do azoto em g/mol e m é a massa da amostra em g. Os resultados obtidos encontram-se descritos na tabela A.10.

Tabela A.10 - Resultados obtidos ao longo da determinação da % de proteína bruta nas três amostras.

	Cenoura Fermentada		
	1	2	3
m_{tubo} (g)	166,8416	167,1372	165,8555
m_{amostra} (g)	1,4986	1,4066	1,4518
V_{inicial} (mL)	3,20	4,20	1,00
V_{final} (mL)	4,20	5,20	2,00
ΔV (mL)=	1,00	1,00	1,00
% Azoto=	0,08	0,08	0,08
Média=	0,08		
Desvio padrão=	0,003		
	Couve-Flor Fermentada		
	1	2	3
m_{tubo} (g)	169,0540	170,6961	165,8556
m_{amostra} (g)	1,0280	1,0996	1,3809
V_{inicial} (mL)	0,10	1,10	2,10
V_{final} (mL)	1,10	2,10	3,20
ΔV (mL)=	1,00	1,00	1,10
% Azoto=	0,11	0,11	0,09
Média=	0,10		
Desvio padrão=	0,01		
	Couve-Flor Fresca		
	1	2	3
m_{tubo} (g)	166,4622	165,9114	166,8461
m_{amostra} (g)	2,0991	2,0153	2,0998
V_{inicial} (mL)	2,00	7,00	12,10
V_{final} (mL)	7,00	12,10	17,10
ΔV (mL)=	5,00	5,10	5,00
% Azoto=	0,28	0,30	0,28
Média=	0,28		
Desvio padrão=	0,01		

Os resultados foram obtidos em relação à massa inicial da amostra, ou seja, em base húmida.

Fibra Bruta

A percentagem de fibra bruta na amostra foi determinada segundo o método, 044/IV Fibra bruta (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008), em que apenas podia ser utilizada a amostra em bruto se a sua percentagem de óleos e gorduras fosse inferior a 5%. Para as amostras fermentadas utilizou-se o restante dos óleos e gorduras, já na amostra em fresco utilizou-se o produto em bruto.

A % de fibra bruta é dada pela perda de massa entre as etapas de estufa e mufla, numa amostra tratada e filtrada. Os valores de pesagens intermédias, bem como, os resultados obtidos encontram-se descritos na tabela A.11.

Tabela A.11 - Valores obtidos em pesagens intermédias e resultados finais na determinação da % de fibra bruta.

Couve-Flor Fermentada		Cenoura Fermentada		Couve-Flor Fresca	
$m_{\text{cadinho}} \text{ (g)}=$	37,7058	$m_{\text{cadinho}} \text{ (g)}=$	37,4866	$m_{\text{cadinho}} \text{ (g)}=$	37,4551
$m_{\text{areia}} \text{ (g)}=$	1,5015	$m_{\text{areia}} \text{ (g)}=$	1,5006	$m_{\text{areia}} \text{ (g)}=$	1,5065
$m_{\text{amostra pesada}} \text{ (g)}=$	1,3728	$m_{\text{amostra pesada}} \text{ (g)}=$	1,4185	$m_{\text{amostra pesada}} \text{ (g)}=$	2,0399
$m_{\text{areia na mistura}} \text{ (g)}=$	0,5000	$m_{\text{areia na mistura}} \text{ (g)}=$	0,5001	$m_{\text{areia na mistura}} \text{ (g)}=$	0,5038
Após estufa a 105°C		Após estufa a 105°C		Após estufa a 105°C	
$m_{\text{cadinho} + \text{areia} + \text{amostra}} \text{ (g)}=$	39,6893	$m_{\text{cadinho} + \text{areia} + \text{amostra}} \text{ (g)}=$	39,6893	$m_{\text{cadinho} + \text{areia} + \text{amostra}} \text{ (g)}=$	39,4701
Após mufla 2h, 400 °C		Após mufla 2h, 400 °C		Após mufla 2h, 400 °C	
$m_{\text{cadinho} + \text{areia} + \text{amostra}} \text{ (g)}=$	39,6739	$m_{\text{cadinho} + \text{areia} + \text{amostra}} \text{ (g)}=$	39,6739	$m_{\text{cadinho} + \text{areia} + \text{amostra}} \text{ (g)}=$	39,4393
$m_{\text{fibra}} \text{ (g)}=$	0,0154	$m_{\text{fibra}} \text{ (g)}=$	0,0154	$m_{\text{fibra}} \text{ (g)}=$	0,0308
% Fibra=	1,12	% Fibra=	1,09	% Fibra=	1,51

A % de fibra bruta foi obtida em massa/massa, em que a massa inicial é húmida.

Pigmentos

A determinação dos pigmentos foi efetuada em espectrofotometria de UV, seguindo o método Determinação de pigmentos em tomate.

Consiste numa extração e de seguida, numa leitura da amostra a diferentes comprimentos de onda, o valor da quantidade de cada pigmento foi determinada com recurso às seguintes equações.

$$\text{Clorofila A} = 0,999 \times A_{663 \text{ nm}} - 0,0989 \times A_{645 \text{ nm}} \quad \text{Equação A.10}$$

$$\text{Clorofila B} = -0,328 \times A_{663 \text{ nm}} + 1,77 \times A_{645 \text{ nm}} \quad \text{Equação A.11}$$

$$\text{Licopeno} = -0,0458 \times A_{663 \text{ nm}} + 0,204 \times A_{645 \text{ nm}} + 0,372 \times A_{505 \text{ nm}} - 0,0806 \times A_{453 \text{ nm}}$$

Equação A.12

$$\beta - \text{Caroteno} = 0,216 \times A_{663 \text{ nm}} - 1,22 \times A_{645 \text{ nm}} - 0,304 \times A_{505 \text{ nm}} + 0,452 \times A_{453 \text{ nm}}$$

Equação A.13

Em que A é a absorvância a diferentes comprimentos de onda. Os resultados são expressos em mg/100 mL de amostra, e encontram-se na tabela A.12.

Tabela A.12 - Resultados obtidos na determinação de pigmentos para as três matrizes em análise.

Cenoura Fermentada					
1		2		3	
m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)	m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)	m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)
21,9400	1,0235	22,334	0,9917	34,4598	0,995
λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
663	0,01	663	0,008	663	0,013
645	0,008	645	0,006	645	0,011
505	0,124	505	0,11	505	0,115
453	0,772	453	0,689	453	0,682
Valores médios (mg / 100 mL)			Desvio padrão		
Clorofila A=		0,009		0,002	
Clorofila B=		0,011		0,004	
Licopeno=		0		0,002	
β -Caroteno=		0,280		0,021	
Couve-Flor Fermentada					
1		2		3	
m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)	m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)	m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)
λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
663	0,025	663	0,021	663	0,036
645	0,026	645	0,022	645	0,038
505	0,040	505	0,033	505	0,062
453	0,050	453	0,040	453	0,079
Valores médios (mg / 100 mL)			Desvio padrão		
Clorofila A=		0,024		0,007	
Clorofila B=		0,042		0,012	
Licopeno=		0,017		0,005	
β -Caroteno=		0		0,004	
Couve-Flor Fresca					
1		2		3	
m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)	m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)	m_{tubo} (g)	m_{amostra} (g)
-	1,0251	-	1,0363	-	1,0306
λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
663	0,002	663	0,004	663	0,004
645	0,002	645	0,002	645	0,002
505	0,000	505	-0,001	505	0,000
453	0,006	453	0,004	453	0,006
Valores médios (mg / 100 mL)			Desvio padrão		
Clorofila A		0,003		0,001	
Clorofila B		0,002		0,000	
Licopeno		0		0,000	
β -Caroteno		0,001		0,000	

Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram determinados em função de uma curva de calibração com ácido gálico, pelo que os resultados são expressos em mg ácido gálico/L. O protocolo seguido foi Compostos Fenólicos Totais pelo método de Folin-Ciocalteu. Os valores de concentração bem como a curva de calibração encontram-se descritos na tabela A.13 e figura A.1.

Tabela A.13 - Valores utilizados na construção da curva de calibração dos compostos fenólicos.

Concentração (mg ácido gálico/L)	Absorvância ($\lambda=760$ nm)
0	0
0,9992	0,035
2,4980	0,071
4,9960	0,161
9,9920	0,296

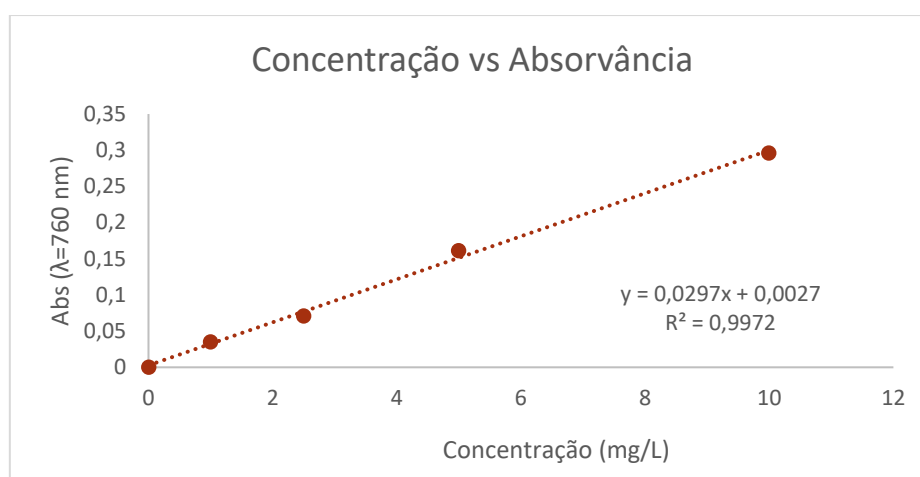


Figura A.1 - Curva de calibração, Concentração de ácido gálico (mg/L) vs Absorbância (nm).

A equação da curva é $Abs (nm) = 0,0297 \times [mg_{\text{ácido gálico}}/L] + 0,0027$.

A determinação dos limites de deteção e quantificação é efetuada pelo método estatístico dos mínimos quadrados. Cujas equações modelo se encontram representadas pelas equações A.14, A.15 e A.16.

$$LD = 3 \times \frac{s_y}{b} \quad \text{Equação A.14}$$

$$LQ = 10 \times \frac{s_y}{b} \quad \text{Equação A.15}$$

O valor de $\frac{s_y}{x}$ é calculado por,

$$\frac{s_y}{x} = \sqrt{\frac{\sum[y_i - (a + b \times x_i)]^2}{n-2}} \quad \text{Equação A.16}$$

Sendo a e b provenientes da equação $Abs = b \times [mg_{\text{ácido gálico}}/L] + a$, n o número de leituras consideradas, y_i a Abs (nm) para cada leitura e x_i a $[mg_{\text{ácido gálico}}/L]$ em cada leitura.

Os valores da concentração foram obtidos pela utilização da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras.

Tabela A.14 - Valores de absorvância obtidos para diferentes amostras.

Cenoura Fermentada	Abs=	0,056
Couve-flor Fermentada	Abs=	0,049
Couve-flor Fresca	Abs=	0,062

Os valores obtidos no limite de deteção e quantificação, para um valor de $\frac{s_y}{x}$ de 0,007, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.15.

Tabela A.15 - Resultados obtidos na determinação da concentração de compostos fenólicos.

	Concentração (mg ácido gálico/L)
Limite de Deteção (LD)	0,72
Limite de Quantificação (LQ)	2,40
Cenoura Fermentada	1,79
Couve-flor Fermentada	1,56
Couve-flor Fresca	2,00

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada (após extração em metanol e água) de cenoura fermentada de partindo de 2,0326 g de cinza, 2,0127 g de couve-flor fermentada e 2,0606 g de couve-flor fresca.

Fósforo

A determinação de fósforo nas amostras foi efetuada de acordo com a norma NP1994, comumente utilizada nos laboratórios da instituição, utilizando cinza de forma direta, evitando o risco de degradação da amostra.

A curva de calibração foi preparada a partir de uma solução mãe de fósforo, as concentrações e absorvâncias para uma leitura em espectrofotômetro de UV/VIS a 700 nm encontram-se na tabela A.16.

Tabela A.16 - Valores de concentração e absorvância utilizados na construção da curva de calibração na determinação da concentração de fósforo.

Concentração (mg fósforo/L)	Absorvância ($\lambda=700$ nm)
0	0
17,576	0,032
87,880	0,143
175,760	0,267
351,520	0,478
527,280	0,692
878,800	1,092

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.2.

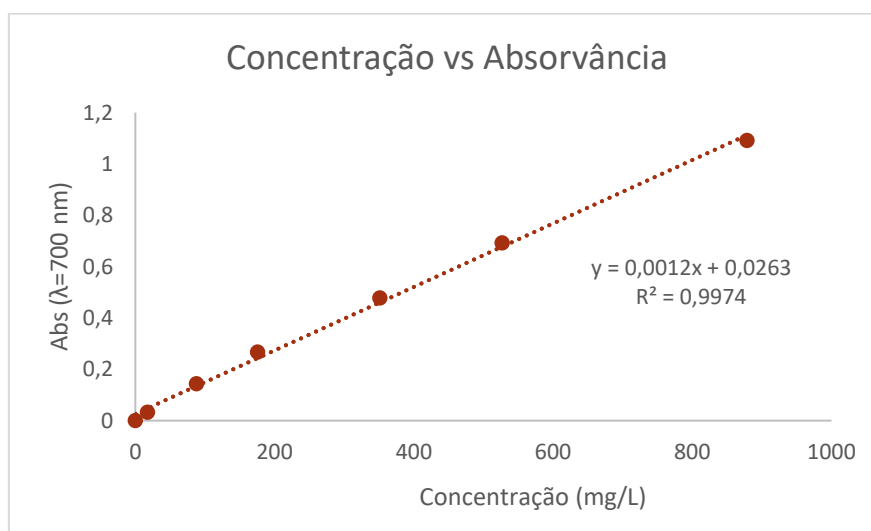


Figura A.2 - Curva de calibração para a determinação de fósforo.

A equação da curva é $Abs = 0,0012 \times [mg_{fósforo}/L] + 0,0263$.

A determinação de *LD* e *LQ* é feita de forma análoga aos compostos fenólicos, recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. Os valores da concentração foram obtidos

pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.17).

Tabela A.17 - Absorvâncias obtidas para as diferentes amostras na determinação da concentração de fósforo.

Cenoura Fermentada	Abs=	0,298
Couve-flor Fermentada	Abs=	0,070
Couve-flor Fresca	Abs=	0,175

Os valores obtidos no limite de detecção e quantificação, para um valor de $s_{y/x}$ de 0,021, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.18.

Tabela A.18 - Resultados obtidos na determinação da concentração de fósforo e respetivos valores de *LD* e *LQ*.

	Concentração (mg fósforo/L)
Limite de Detecção (<i>LD</i>)	51,76
Limite de Quantificação (<i>LQ</i>)	172,53
Cenoura Fermentada	226,42
Couve-flor Fermentada	36,42
Couve-flor Fresca	123,92

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada de cenoura fermentada de partindo de 0,5018 g de cinza, 0,5053 g de couve-flor fermentada e 0,3401 g de couve-flor fresca.

Ferro

A determinação de ferro seguiu o protocolo interno do DEQ-ISEP adaptado ao equipamento de absorção atômica existente, no entanto a digestão da amostra seguiu o método, 393/IV Digestão da amostra (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008).

A absorção atômica funciona com soluções em meio ácido, o ácido utilizado foi o nítrico a 0,5%, as soluções-padrão para a curva de calibração foram preparadas a partir de uma solução mãe de ferro, e o valor da absorvância fornecido pelo equipamento corresponde à média de três leituras efetuadas em cada padrão e amostra.

A curva de calibração foi lida num espectrofotómetro de absorção atômica, com a lâmpada de ferro, na gama mais sensível do equipamento para este elemento, 2 a 9 mg/L,

a um comprimento de onda de 248,3 nm. Os valores de concentração e respectivas absorvâncias encontram-se na tabela A.19.

Tabela A.19 - Concentrações e absorvâncias utilizadas na construção da curva de calibração do ferro.

Concentração (mg _{ferro} /L)	Absorvância ($\lambda=248,3$ nm)
0	0
1	0,014
2	0,030
4	0,047
10	0,113

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.3.

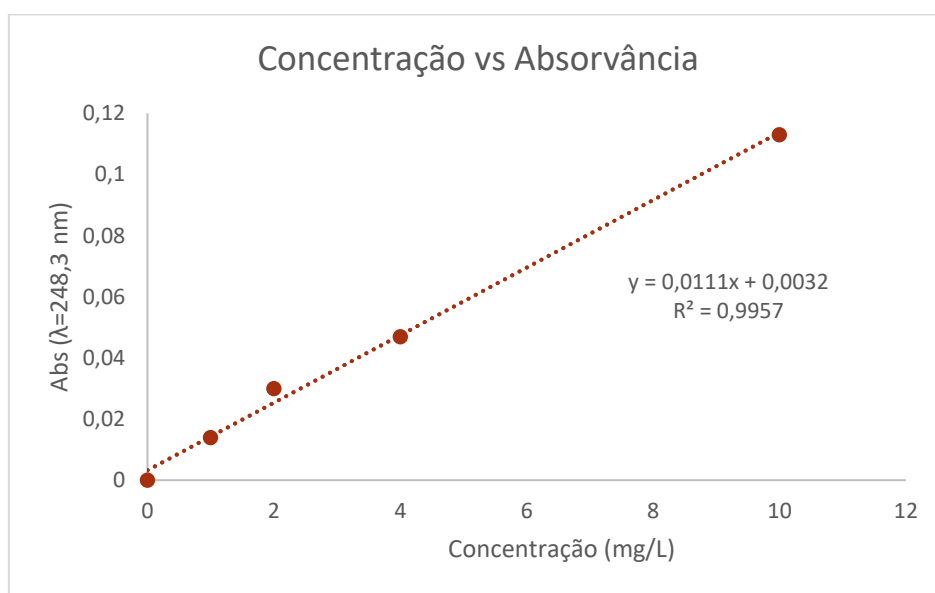


Figura A.3 - Curva de calibração para a determinação do elemento ferro.

A equação da curva é $Abs = 0,0111 \times [mg_{ferro}/L] + 0,0032$.

A determinação de *LD* e *LQ* foi efetuada recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. Os valores da concentração foram obtidos pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.20).

Tabela A.20 - Valores de absorvância obtidos para as três amostras na determinação da concentração do elemento ferro.

Cenoura Fermentada	Abs=	0,071
Couve-flor Fermentada	Abs=	0,135
Couve-flor Fresca	Abs=	0,101

Os valores obtidos no limite de detecção e quantificação, para um valor de $s_{\frac{y}{x}}$ de 0,006, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.21.

Tabela A.21 - Valores de concentração de ferro e respetivos valores de *LD* e *LQ*.

	Concentração (mg _{ferro} /L)
Limite de Detecção (<i>LD</i>)	1,52
Limite de Quantificação (<i>LQ</i>)	5,06
Cenoura Fermentada	6,11
Couve-flor Fermentada	11,87
Couve-flor Fresca	8,81

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada (cinzas digeridas) de cenoura fermentada de partindo de 1,0005 g, 2,0053 g de couve-flor fermentada e 1,0696 g de couve-flor fresca.

Cobre

A determinação de cobre, assim como o ferro, seguiu o protocolo interno do DEQ-ISEP adaptado ao equipamento de absorção atômica existente, no entanto a digestão da amostra seguiu o método, 393/IV Digestão da amostra (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008).

A absorção atômica funciona com soluções em meio ácido, o ácido utilizado foi o nítrico a 0,5%, as soluções-padrão para a curva de calibração foram preparadas a partir de uma solução mãe de cobre, e o valor da absorvância fornecido pelo equipamento corresponde à média de três leituras efetuadas em cada padrão e amostra.

A curva de calibração foi lida num espectrofotómetro de absorção atômica, com a lâmpada de cobre, na gama mais sensível do equipamento para este elemento, 1 a 5 mg/L, a um comprimento de onda de 324,7 nm. Os valores de concentração e respetivas absorvâncias encontram-se na tabela A.22.

Tabela A.22 - Concentrações e absorvâncias utilizados na curva de calibração do cobre.

Concentração (mg _{cobre} /L)	Absorvância ($\lambda=248,3$ nm)
0,5	0,161
1	0,287
2	0,505
3	0,718
4	0,873
5	1,007

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.4.

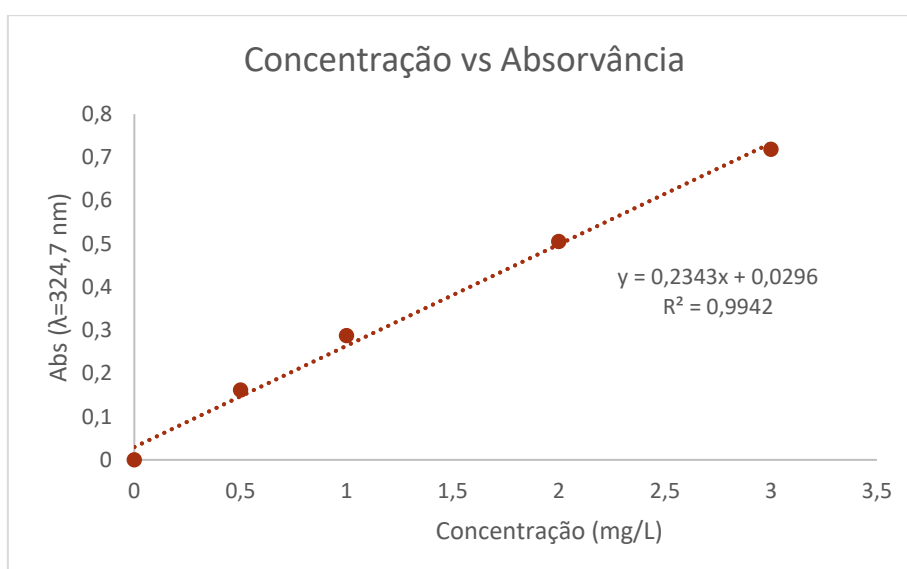


Figura A.4 - Curva de calibração do elemento cobre.

A equação da curva é $Abs = 0,2343 \times [mg_{cobre}/L] + 0,0296$.

A determinação de *LD* e *LQ* foi efetuada recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. Os valores da concentração foram obtidos pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.23).

Tabela A.23 - Absorvâncias obtidas para as três amostras.

Cenoura Fermentada	Abs=	0,09
Couve-flor Fermentada	Abs=	0,144
Couve-flor Fresca	Abs=	0,173

Os valores obtidos no limite de detecção e quantificação, para um valor de s_y de 0,018, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.24.

Tabela A.24 - Limites de detecção e quantificação e concentrações do elemento cobre nas três amostras em análise.

	Concentração (mg _{cobre} /L)
Limite de Detecção (<i>LD</i>)	0,23
Limite de Quantificação (<i>LQ</i>)	0,78
Cenoura Fermentada	0,26
Couve-flor Fermentada	0,49
Couve-flor Fresca	0,61

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada de cenoura fermentada de partindo de 2,0015 g, 2,0053 g de couve-flor fermentada e 1,0696 g de couve-flor fresca.

Magnésio

A determinação de magnésio, assim como o ferro e cobre, seguiu o protocolo interno do DEQ-ISEP adaptado ao equipamento de absorção atômica existente, no entanto a digestão da amostra seguiu o método, 393/IV Digestão da amostra (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008).

A absorção atômica funciona com soluções em meio ácido, o ácido utilizado foi o nítrico a 0,5 %, as soluções-padrão para a curva de calibração foram preparadas a partir de uma solução mãe de magnésio.

A curva de calibração foi lida num espectrofotômetro de absorção atômica, com a lâmpada de magnésio e cálcio, na gama mais sensível do equipamento para este elemento, 0,1 a 0,4 mg/L, a um comprimento de onda de 285,2 nm. Os valores de concentração e respectivas absorvâncias encontram-se na tabela A.25.

Tabela A.25 - Concentração e absorvâncias utilizadas na curva de calibração do elemento magnésio.

Concentração (mg _{magnésio} /L)	Absorvância ($\lambda=285,2$ nm)
0,1	0,281
0,16	0,391
0,2	0,48
0,3	0,61
0,4	0,72

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.5.

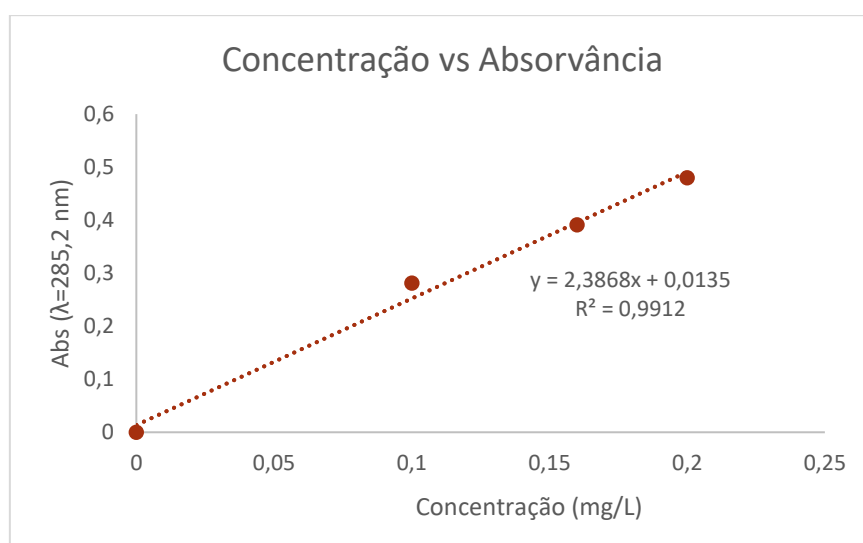


Figura A.5 - Curva de calibração do magnésio.

A equação da curva é $Abs = 2,3868 \times [mg_{magnésio}/L] + 0,0135$.

A determinação de LD e LQ foi efetuada recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. Os valores da concentração foram obtidos pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.26).

No caso do magnésio por se encontrar em grandes quantidades foi necessário diluir a amostra original, o fator de diluição é uma fração que resulta da divisão do volume da solução final pelo volume da solução inicial, os volumes da diluição e o respetivo fator encontram-se na tabela A.26.

Tabela A.26 - Absorvâncias, diluições e fator de diluição, lidas e utilizados nas amostras para a determinação da concentração de magnésio.

	Diluição	Fator de Diluição	Absorvância
Cenoura Fermentada	1 mL em 250 mL	250	0,282
Couve-flor Fermentada	1 mL em 100 mL	100	0,393
Couve-flor Fresca	50 µL em 250 mL	2000	0,304

Os valores obtidos no limite de detecção e quantificação, para um valor de $s_{y/x}$ de 0,022, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.27.

Tabela A.27 - Concentração de magnésio nas amostras e limites de detecção e quantificação.

	Concentração (mg _{magnésio} /L)
Limite de Detecção (<i>LD</i>)	0,03
Limite de Quantificação (<i>LQ</i>)	0,09
Cenoura Fermentada	28,12
Couve-flor Fermentada	15,90
Couve-flor Fresca	243,42

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada de cenoura fermentada de partindo de 1,0005 g, 1,0037 g de couve-flor fermentada e 1,0696 g de couve-flor fresca.

Zinco

A determinação de zinco, assim como o ferro e cobre, seguiu o protocolo interno do DEQ-ISEP adaptado ao equipamento de absorção atômica existente, no entanto a digestão da amostra seguiu o método, 393/IV Digestão da amostra (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008).

A absorção atômica funciona com soluções em meio ácido, o ácido utilizado foi o nítrico a 0,5 %, as soluções-padrão para a curva de calibração foram preparadas a partir de uma solução mãe de zinco.

A curva de calibração foi lida num espectrofotômetro de absorção atômica, com a lâmpada de zinco, na gama mais sensível do equipamento para este elemento, 0,4 a 1,5 mg/L, a um comprimento de onda de 213,9 nm. Os valores de concentração e respetivas absorvâncias encontram-se na tabela A.28.

Tabela A.28 - Dados utilizados na construção da curva de calibração do zinco.

Concentração (mg _{zinco} /L)	Absorvância ($\lambda=213,9$ nm)
0,1	0,218
0,2	0,333
0,25	0,409
0,5	0,707
1	1,007

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.6.

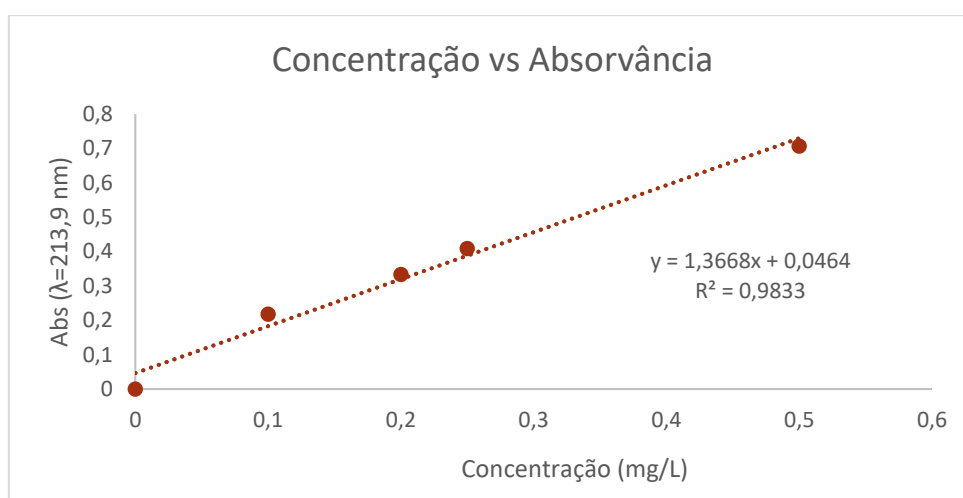


Figura A.6-Curva de calibração do zinco.

A equação da curva é $Abs = 1,3668 \times [mg_{zinco}/L] + 0,0464$.

A determinação de LD e LQ foi efetuada recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. Os valores da concentração foram obtidos pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.29).

Tabela A.29-Absorvâncias lidas para as amostras na determinação da concentração de zinco.

Cenoura Fermentada	Abs=	0,351
Couve-flor Fermentada	Abs=	0,415
Couve-flor Fresca	Abs=	0,777

Os valores obtidos no limite de deteção e quantificação, para um valor de $s_{\frac{y}{x}}$ de 0,034, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.30.

Tabela A.30 - Concentrações de zinco nas amostras e respectivos *LD* e *LQ*.

	Concentração (mg _{zinco} /L)
Limite de Detecção (<i>LD</i>)	0,08
Limite de Quantificação (<i>LQ</i>)	0,25
Cenoura Fermentada	0,22
Couve-flor Fermentada	0,27
Couve-flor Fresca	0,53

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada de cenoura fermentada de partindo de 2,0015 g, 2,0053 g de couve-flor fermentada e 1,0696 g de couve-flor fresca.

Manganês

A determinação de manganês, assim como o magnésio e cobre, seguiu o protocolo interno do DEQ-ISEP adaptado ao equipamento de absorção atômica existente, no entanto a digestão da amostra seguiu o método, 393/IV Digestão da amostra (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ªEdição, 2008).

A absorção atômica funciona com soluções em meio ácido, o ácido utilizado foi o nítrico a 0,5%, as soluções-padrão para a curva de calibração foram preparadas a partir de uma solução mãe de manganês.

A curva de calibração foi lida num espectrofotômetro de absorção atômica, com a lâmpada de manganês, na gama mais sensível do equipamento para este elemento, 1 a 3,6 mg/L, a um comprimento de onda de 279,5 nm. Os valores de concentração e respectivas absorvâncias encontram-se na tabela A.31.

Tabela A.31 - Concentrações e Absorvâncias utilizadas na curva de calibração do manganês.

Concentração (mg _{manganês} /L)	Absorvância ($\lambda=279,5$ nm)
0	0
1	0,398
2	0,718
3	0,973

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.7.

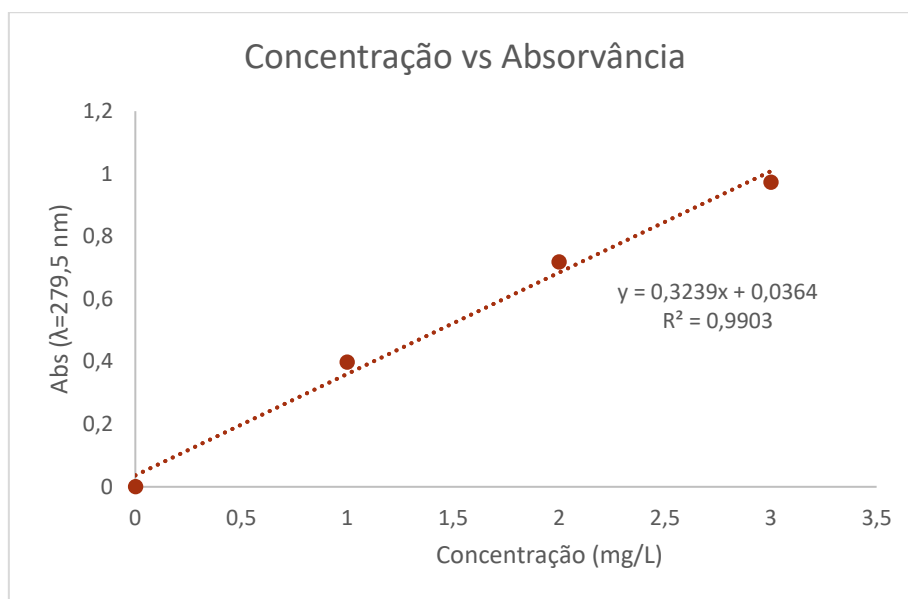


Figura A.7 - Curva de calibração do manganês.

A equação da curva é $Abs = 0,3239 \times [mg_{manganês}/L] + 0,0364$.

A determinação de LD e LQ foi efetuada recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. Os valores da concentração foram obtidos pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.32).

Tabela A.32 - Determinação da concentração de manganês, absorvâncias lidas nas amostras.

Cenoura Fermentada	Abs=	0,097
Couve-flor Fermentada	Abs=	0,081
Couve-flor Fresca	Abs=	0,139

Os valores obtidos no limite de deteção e quantificação, para um valor de s_y de 0,051, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.33.

Tabela A.33 - Concentrações e limites de deteção e quantificação para o manganês.

	Concentração (mg manganês/L)
Limite de Deteção (LD)	0,47
Limite de Quantificação (LQ)	1,56
Cenoura Fermentada	0,19
Couve-flor Fermentada	0,14
Couve-flor Fresca	0,32

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada de cenoura fermentada de partindo de 2,0015 g, 2,0053 g de couve-flor fermentada e 1,0696 g de couve-flor fresca.

Cálcio

A determinação de cálcio, assim como o magnésio e cobre, seguiu o protocolo interno do DEQ-ISEP adaptado ao equipamento de absorção atômica existente, no entanto a digestão da amostra seguiu o método, 393/IV Digestão da amostra (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008).

A absorção atômica funciona com soluções em meio ácido, o ácido utilizado foi o nítrico a 0,5%, as soluções-padrão para a curva de calibração foram preparadas a partir de uma solução mãe de cálcio.

A curva de calibração foi lida num espectrofotómetro de absorção atômica, com a lâmpada de cálcio e magnésio, na gama mais sensível do equipamento para este elemento, 1 a 4 mg/L, a um comprimento de onda de 422,7 nm. Os valores de concentração e respetivas absorvâncias encontram-se na tabela A.34.

Tabela A.34 - Dados utilizados na construção da curva de calibração do cálcio.

Concentração (mg cálcio/L)	Absorvância ($\lambda=422,7$ nm)
0	0
0,5	0,046
1	0,067
1,5	0,085
2	0,109
3	0,150
4	0,188

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.8.

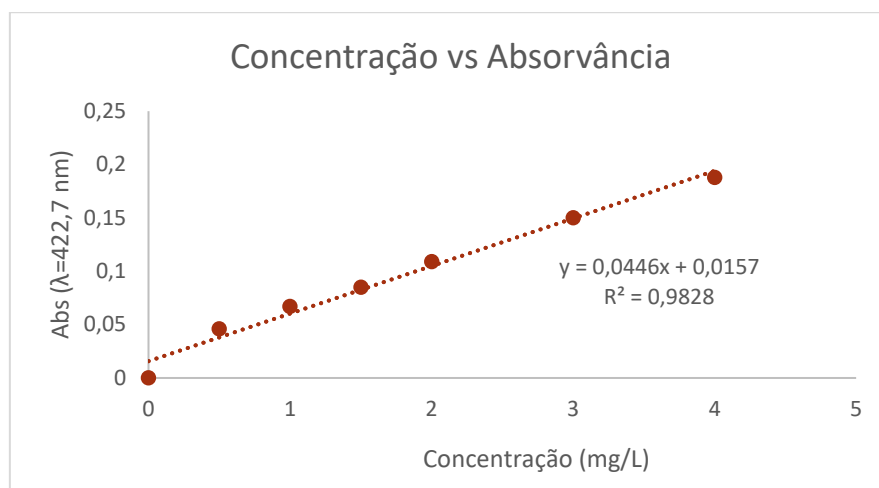


Figura A.8 - Curva de calibração do cálcio.

A equação da curva é $Abs = 0,0446 \times [mg_{cálcio}/L] + 0,0157$.

A determinação de LD e LQ foi efetuada recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. Os valores da concentração foram obtidos pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.35).

No caso do cálcio por se encontrar em grandes quantidades foi necessário diluir a amostra original, o fator de diluição é uma fração que resulta da divisão do volume da solução final pelo volume da solução inicial, os volumes da diluição e o respetivo fator encontram-se na tabela A.35.

Tabela A.35 - Absorvâncias, diluições e fator de diluição, lidas e utilizados nas amostras para a determinação da concentração de cálcio.

	Diluição	Fator de Diluição	Absorvância
Cenoura Fermentada	1 mL em 100 mL	100	0,142
Couve-flor Fermentada	1 mL em 100 mL	100	0,185
Couve-flor Fresca	0,25 mL em 25 mL	100	0,144

Os valores obtidos no limite de deteção e quantificação, para um valor de s_x de 0,001, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.36.

Tabela A.36 - Resultados de concentração de cálcio e respectivos *LD* e *LQ*.

	Concentração (mg cálcio/L)
Limite de Detecção (<i>LD</i>)	0,09
Limite de Quantificação (<i>LQ</i>)	0,31
Cenoura Fermentada	284,35
Couve-flor Fermentada	389,49
Couve-flor Fresca	288,43

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada de cenoura fermentada de partindo de 1,0005 g, 1,0037 g de couve-flor fermentada e 1,0696 g de couve-flor fresca.

Potássio

A determinação de potássio foi efetuada por fotometria de chama, seguindo um protocolo interno do DEQ-ISEP adaptado ao equipamento de absorção atômica existente, no entanto a digestão da amostra seguiu o método, 393/IV Digestão da amostra (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008).

O fotómetro absorção atômica funciona com soluções em meio ácido, o ácido utilizado foi o nítrico a 1%, as soluções-padrão para a curva de calibração foram preparadas a partir de uma solução mãe de potássio.

A curva de calibração foi lida num fotómetro que oscila entre dois elementos o potássio e o sódio, no entanto ao calibrar o equipamento para ambos os elementos apenas foi possível estabilizar e receber leituras constantes de absorvância para o elemento potássio. Os valores de absorvâncias lidos para as diferentes concentrações encontram-se na tabela A.37.

Tabela A.37 - Concentrações e absorvâncias das soluções padrão de potássio utilizadas na curva de calibração.

Concentração (mg potássio/L)	Absorvância
1	0
2	0,01
4	0,03
5	0,04
10	0,1

A curva de calibração obtida encontra-se na figura A.9.

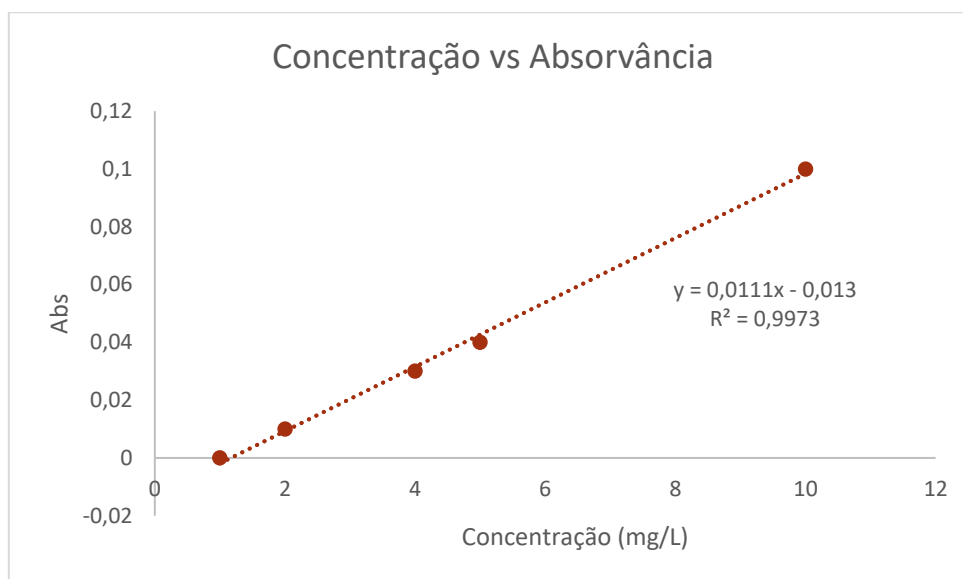


Figura A.9-Curva de calibração do potássio.

A equação da curva é $Abs = 0,0111 \times [mg_{potássio}/L] - 0,013$.

A determinação de *LD* e *LQ* foi efetuada recorrendo às equações A.14, A.15 e A.16. de modo análogo aos outros elementos como fósforo ou magnésio. Os valores da concentração foram obtidos pela manipulação da equação da curva de calibração, substituindo os valores da absorvância das amostras (tabela A.38).

No caso do potássio por se encontrar em grandes quantidades foi necessário diluir a amostra original, o fator de diluição é uma fração que resulta da divisão do volume da solução final pelo volume da solução inicial, os volumes da diluição e o respetivo fator encontram-se na tabela A.38.

Tabela A.38-Absorvâncias, diluições e fator de diluição, lidas e utilizados nas amostras para a determinação da concentração de potássio.

	Diluição	Fator de Diluição	Absorvância
Cenoura Fermentada	0,1 mL em 25 mL	250	0,040
Couve-flor Fermentada	0,1 mL em 10 mL	100	0,090
Couve-flor Fresca	0,15 mL em 100 mL	667	0,090

Os valores obtidos no limite de deteção e quantificação, para um valor de $s_{\frac{y}{x}}$ de 0,0021, bem como as concentrações nas amostras analisadas, encontram-se na tabela A.39.

Tabela A.39-Limite de detecção e quantificação e concentrações de potássio obtidas nas amostras.

	Concentração (mg potássio/L)
Limite de Detecção (<i>LD</i>)	0,56
Limite de Quantificação (<i>LQ</i>)	1,86
Cenoura Fermentada	1193,69
Couve-flor Fermentada	927,93
Couve-flor Fresca	3711,71

Os resultados obtidos são para uma amostra tratada de cenoura fermentada de partindo de 1,0005 g, 1,0037 g de couve-flor fermentada e 1,0696 g de couve-flor fresca.

Hidratos de carbono, com base em açúcares totais

Os hidratos de carbono foram determinados seguindo o método, 040/IV Glicídios totais em glicose (Hidratos de carbono, com base em açúcares totais), (Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 2008).

Foram realizados dois ensaios, um com a massa de amostra inicial de acordo com o protocolo experimental que não surtiu resultados e outro com um aumento da massa de amostra, que acabou por não originar resultados, no entanto, tratando-se de um método titulométrico, visualmente ocorreram mudanças na amostra, mas o ponto de equivalência não foi atingido.

Deste modo, os resultados não foram considerados pois para a amostra em análise era necessário um método mais preciso, pois a quantidade de açúcares é pequena.

Amido

A determinação da percentagem de amido foi efetuada segundo o método experimental descrito na norma NP 2026. E o cálculo seguiu a equação A.17.

$$\frac{2000 \times (P - P')}{[\alpha]_D^{20^\circ}} = \% \text{ Amido} \quad \text{Equação A.17}$$

Em que P é o poder rotatório total em graus para t_1 , P' é o poder rotatório em graus para t_2 e $[\alpha]_D^{20^\circ}$ é o poder rotatório específico, em graus do amido puro, neste caso 184,0°.

Os resultados obtidos encontram-se na tabela A.41.

Tabela A.40 - Resultados obtidos por leitura no polarímetro e respetivo resultado em % de amido.

Couve-flor fresca			
Temperatura	29 °C		
<i>P</i>	<i>t</i> _{1,1}	119,95 °	119,83 °
	<i>t</i> _{1,2}	119,70 °	
<i>P'</i>	<i>t</i> _{2,1}	118,55 °	118,53 °
	<i>t</i> _{2,2}	118,50 °	
α (amido puro em alimentos, em °)	184,0		
% Amido	14,13		

Celulose Bruta

A percentagem de celulose bruta foi determinada com recurso ao protocolo experimental descrito na norma NP 2029. O cálculo foi efetuado de acordo com a equação A.18.

$$[m_1 - (m_2 + m_3)] \times \frac{100}{m_0} = \% \text{ Celulose Bruta} \quad \text{Equação A.18}$$

Em que m_0 é a massa da toma para análise, em g, m_1 é a massa do cadinho mais resíduo após estufa a 105°C, m_2 é a massa do cadinho mais o resíduo após mufla e m_3 é a diferença da massa determinada na mufla durante o ensaio em branco à quantidade total de adjuvante de filtração, que neste caso é 0, pois não se utilizou adjuvante de filtração.

O resultado e o valor de cada uma das massas da equação A.18, encontram-se na tabela A.41.

Tabela A.41 - Resultados da determinação da % de celulose bruta.

Couve-flor fresca		
m_0	3,0030	g
m_1	55,0970	g
m_2	54,7371	g
m_3	0	g
Celulose Bruta	11,98	%

Açúcares totais

A determinação da quantidade de açúcares totais seguiu o procedimento experimental da norma NP 1785.

O teor em açúcares da toma, expresso em mg, é dado pela tabela anexa à norma, pelo volume de tiosulfato de sódio 0,1N gasto na amostra em relação ao branco. Os valores desta diferença encontram-se na tabela A.42.

Tabela A.42-Valores da diferença de volumes de tiosulfato de sódio 0,1N, para a determinação da massa de açúcar.

	Açúcares totais depois da inversão	Açúcares redutores	Branco
$V_{inicial}$ (mL)	20,7	24,2	25,9
V_{final} (mL)	24,2	25,9	27,0
ΔV (mL)	3,5	1,7	1,1
Diferença em relação ao branco (mL)	2,4	0,6	

Com o valor da diferença consulta-se a tabela da figura A.10.

NP-1785, p. 8 de 8

ANEXO

TABELA DE VALORES PARA 25cm³ DE REAGENTE DE LUFF-SCHOORL
(cm³ DE SOLUÇÃO DE Na₂S₂O₃, 0,1 N, 2 MIN DE AQUECIMENTO,
10 MIN DE PERVURA)

Na ₂ S ₂ O ₃ 0,1 N cm ³	Glucose, frutose, açúcares invertidos C ₄ H ₁₂ O ₄	
	mg	Diferença
1	2,4	2,4
2	4,8	2,4
3	7,2	2,5
4	9,7	2,5
5	12,2	2,5
6	14,7	2,5
7	17,2	2,6
8	19,8	2,6
9	22,4	2,6
10	25,0	2,6
11	27,6	2,7
12	30,3	2,7
13	33,0	2,7
14	35,7	2,8
15	38,5	2,8
16	41,3	2,9
17	44,2	2,9
18	47,1	2,9
19	50,0	3,0
20	53,0	3,0
21	56,0	3,1
22	59,1	3,1
23	62,2	

Figura A.10 - Tabela de conversão de volume gasto de tiosulfato de sódio 0,1N em açúcar [40].

O valor é dado por interpolação, para a diferença de 0,6 mL, a massa de açúcares redutores é de 1,44 mg, para a diferença de 2,4 a massa de açúcares totais após inversão é de 5,76 mg.

De modo a obter o resultado em percentagem dividiu-se pela massa de amostra inicial (base húmida), ou seja, 2,5026 g. O cálculo dos açúcares totais expressos em sacarose e o teor em sacarose são dados pelas equações A.19 e A.20, respetivamente.

$$0,95 \times \% \text{ Açúcares totais após inversão} = \% \text{ Açúcares Totais} \quad \text{Equação A.19}$$

$$0,95 \times (\% \text{ Açúcares totais após inversão} - \% \text{ Açúcares redutores}) = \% \text{ Sacarose}$$

Equação A.20

Os resultados obtidos para a couve-flor fresca encontram-se descritos na tabela A.43.

Tabela A.43 -Percentagem de açúcares existentes na amostra de couve-flor fresca.

Teor em açúcares totais após inversão	0,23	%
Teor em açúcares redutores	0,06	%
Teor em Sacarose	0,16	%
Teor açúcares totais expresso em sacarose	0,22	%

Conversão de unidades em base húmida para base seca

Concluído o tratamento de dados, têm-se os resultados obtidos para todos os parâmetros analisados, no entanto estes encontram-se em base húmida, pelo que foi necessário a conversão para base seca, de modo a facilitar a análise e comparação com tabelas de composição bibliográficas. Os resultados em base húmida encontram-se descritos na tabela A.44.

Tabela A.44 - Resultados obtidos em % Base Húmida, para os parâmetros analisados, nas três matrizes.

Parâmetro		Resultado			Unidades
		Cenoura Fermentada	Couve-Flor Fermentada	Couve-Flor Fresca	
pH		4,02	4,14	6,46	-
Acidez	Ácido Láctico	0,35	0,15	0,22	% (Mássica em Base Húmida)
	Ácido Cítrico	0,25	0,11	0,16	
	Ácido Acético	0,23	0,10	0,14	
Cinzas		11,17	23,19	0,65	
Sal		10,74	21,66	0,05	
Humidade		82,62	73,43	92,25	
Óleos e Gorduras		0,17	0,08	0,07	
Fibra Bruta		1,09	1,12	1,51	
Proteína Bruta		0,08	0,10	0,28	
Hidratos de carbono (em açúcares totais)		Não Detetável	Não Detetável	Não Detetável	
Amido		-	-	14,13	
Celulose Bruta		-	-	11,98	
Teor em Sacarose		-	-	0,16	
Teor açúcares totais expresso em sacarose		-	-	0,22	
Pigmentos	Clorofila A	0,0095	0,024	0,0031	
	Clorofila B	0,011	0,042	0,0024	mg Clorofila B/100 mL
	Licopeno	0	0,017	0	mg Licopeno/100 mL
	β-Caroteno	0,28	0	0,00079	mg β-Caroteno/100 mL
Compostos fenólicos		1,79	1,56	2,00	mg Ácido Gálico/L
Fósforo		226,42	36,42	123,92	mg Fósforo/L
Ferro		6,11	11,87	12,23	mg Ferro/L
Cobre		0,26	0,49	0,61	mg Cobre /L
Magnésio		28,12	15,90	243,42	mg Magnésio/L
Zinco		0,22	0,27	0,53	mg Zinco/L
Manganês		0,19	0,14	0,32	mg Manganês/L
Cálcio		284,35	389,49	288,43	mg Cálcio/L
Potássio		1193,69	927,93	3783,75	mg Potássio/L
Iodo		Não Detetável	Não Detetável	Não Detetável	-
Flúor		Não Detetável	Não Detetável	Não Detetável	-
Enxofre		Detetável	Detetável	Detetável	-

Os exemplos de cálculo descritos abaixo dizem respeito a todas as conversões de base húmida em base seca, partindo de percentagens, massa húmida pesada e cinza.

Percentagem de humidade e de matéria seca em base húmida

A percentagem de humidade da cenoura fermentada é de 82,62%

$$100 \% - \% \text{ Humidade} = \% \text{ Mássica Matéria Seca em Base Húmida} \quad \text{Equação A.21}$$

$$\% \text{ Matéria seca} = 100 - 82,62 = 17,38 \% \text{ Mássica Base Húmida}$$

Percentagem de humidade em base seca

A % de humidade na cenoura fermentada é de 82,62 % em base húmida, já a % de humidade em base seca é dada por,

$$\% \text{ Humidade} = \frac{82,62 \%}{17,38 \%} \times 100 = \% \text{ Mássica em Base Seca}$$

Ácido láctico, Ácido cítrico, Ácido acético, Cloretos, Óleos e Gorduras, Fibra bruta, Proteína bruta, Celulose bruta, Amido, Açúcares totais, Cinzas

$$\frac{\% \text{ Ácido cítrico}}{\% \text{ Matéria seca em Base Húmida}} \times 100 = \% \text{ Ácido cítrico em base seca} \quad \text{Equação A.22}$$

A % de ácido cítrico na cenoura fermentada é de 0,25 % em base húmida, já a % em base seca é dada por,

$$\% \text{ Ácido cítrico} = \frac{0,25 \%}{17,38 \%} \times 100 = 1,44 \% \text{ Mássica em Base Seca}$$

Para os restantes parâmetros mencionados, o cálculo foi efetuado de forma análoga.

Compostos fenólicos, Pigmentos

No caso da cenoura fermentada, o valor dos compostos fenólicos é de 1,79 mg ácido gálico/L, a massa em base húmida utilizada para a extração foi de 2,0326 g, num balão volumétrico de 100 mL.

$$m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) \rightarrow V_{\text{Balão volumétrico de mistura}} (mL)$$

$$m_{\text{Obtida em Base Húmida}} (g) \rightarrow 1000 \text{ mL}$$

$$m_{\text{Obtida em Base Húmida}} (g) = \frac{m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) \times 1000 \text{ mL}}{V_{\text{Balão volumétrico de mistura}} (mL)} \quad \text{Equação A.23}$$

$$m_{\text{Obtida em Base Húmida}} (g) = \frac{2,0326 g \times 1000 mL}{100 mL} = 20,326 g$$

$$m_{\text{Base Seca}} (g) = m_{\text{Obtida em Base Húmida}} (g) \times \text{fração de matéria seca em base húmida} \text{ Equação A.24}$$

$$m_{\text{Base Seca}} (g) = 20,326 g \times (1 - 0,8262) = 3,533 g$$

$$\% \text{ Compostos fenólicos em base seca} = \frac{1,79 \text{ mg}_{\text{ácido gálico}}}{(3,533 \times 1000) \text{ mg}} \times 100 = 50,664 \%$$

No caso dos pigmentos o cálculo da passagem do resultado de base húmida para base seca foi feito de forma igual, no entanto foi feito para os três ensaios realizados para cada matriz e o valor final corresponde ao valor médio em base seca.

Ferro, Potássio, Cobre, Magnésio, Manganês, Zinco, Cálcio, Fósforo

Para a determinação de todos estes parâmetros partiu-se de cinza, no caso do ferro, para a cenoura fermentada, pesou-se 1,0005 g de cinza. A percentagem de cinza, em base húmida, para a cenoura fermentada é de 11,17% e o valor final obtido é de 6,11 mg_{Fe}/L

Sabendo a % em cinzas da cenoura fermentada (11,17%), pela definição de percentagem em cada 100 g de amostra húmida existem 11,17 g de cinzas, assim com um valor de cinza de 1,0005 g, tem-se a massa húmida correspondente.

$$m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) = \frac{m_{\text{Total}}(g) \times m_{\text{Cinza pesada}}(g)}{m_{\text{Cinza na totalidade da amostra}}} \quad \text{Equação A.25}$$

$$m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) = \frac{100 g \times 1,0005 g}{11,17 g} = 8,957 g$$

Ou,

$$m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) = \frac{m_{\text{Cinza pesada}}(g)}{\text{Fração}_{\text{Cinza na totalidade da amostra}}} \quad \text{Equação A.26}$$

$$m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) = \frac{1,0005 g}{0,1117} = 8,957 g$$

$$m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) \rightarrow V_{\text{Balão volumétrico de mistura}} (mL)$$

$$m_{\text{Obtida em Base Húmida}} (g) \rightarrow 1000 \text{ mL}$$

$$m_{\text{Obtida em Base Húmida}} (g) = \frac{m_{\text{Pesada em Base Húmida}} (g) \times 1000 \text{ mL}}{V_{\text{Balão volumétrico de mistura}} (mL)} \quad \text{Equação A.27}$$

$$m_{\text{Obtida em Base Húmida}} (g) = \frac{8,957 \text{ g} \times 1000 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 89,57 \text{ g}$$

$$m_{\text{Base Seca}} (g) = 89,57 \text{ g} \times (1 - 0,8262) = 15,57 \text{ g}$$

$$\% \text{ Ferro em base seca} = \frac{6,11 \text{ mg}_{\text{Ferro}}}{(15,57 \times 1000) \text{ mg}} \times 100 = 0,0392 \%$$

Para os restantes oligoelementos o cálculo foi efetuado da mesma forma.

Os resultados obtidos em % de base seca para todos os parâmetros analisados nas três matrizes, encontram-se descritos na tabela A.45.

Tabela A.45 - Resultados obtidos em % Base Seca, para todos os parâmetros analisados, nas três matrizes.

Parâmetro		Resultado (% Base Seca)			Unidades
		Cenoura Fermentada	Couve-Flor Fermentada	Couve-Flor Fresca	
pH		4,02	4,14	6,46	-
Acidez	Ácido Lático	2,02	0,57	2,77	% (Mássica em Base Seca)
	Ácido Cítrico	1,44	0,40	2,00	
	Ácido Acético	1,35	0,38	1,74	
Cinzas		64,27	87,28	8,39	
Sal		61,79	81,50	0,67	
Óleos e Gorduras		0,97	0,29	0,94	
Pigmentos	Clorofila A	0,00011	0,00028	3,5E-05	
	Clorofila B	0,00013	0,00048	2,7E-05	
	Licopeno	0	0,00019	0	
	β-Caroteno	0,0032	0	9E-06	
Fibra Bruta		6,25	4,22	19,49	
Proteína Bruta		0,46	0,39	3,68	
Compostos fenólicos		0,051	0,045	0,056	
Hidratos de carbono (em açúcares totais)		Não Detetável	Não Detetável	Não Detetável	
Antioxidantes totais (em ácido ascórbico)		Não Detetável	Não Detetável	Não Detetável	
Amido		-	-	182,36	
Celulose Bruta		-	-	154,67	
Teor em Sacarose		-	-	2,12	
Teor açúcares totais expresso em sacarose		-	-	2,82	
Fósforo		2,900	0,463	2,342	
Ferro		0,039	0,019	0,037	
Cobre		0,00083	0,00078	0,0018	
Magnésio		0,180	0,102	0,731	
Zinco		0,00072	0,00043	0,0016	
Manganês		0,00060	0,00022	0,001	
Cálcio		1,827	2,494	0,867	
Potássio		7,668	5,942	11,368	
Iodo		Não Detetável	Não Detetável	Não Detetável	-
Flúor		Não Detetável	Não Detetável	Não Detetável	
Enxofre		Detetável	Detetável	Detetável	
Humidade		475,40	276,34	1190,58	% (Mássica em Base Seca)
Humidade		82,62	73,43	92,25	% (Mássica em Base Húmida)
Matéria Seca		17,38	26,57	7,75	

B. Estudo da eficiência energética da ETARI

B.1. Resumo equipamentos por localização, potência nominal e frequência de trabalho

A tabela B.1, representa a localização espacial e localização no quadro elétrico geral onde foram efetuadas as medições de tensão e corrente, e a tabela B.2, contém a informação contante nas chapas de motor como corrente nominal, tensão de trabalho, fator de potência e tipo de motor, e se tem ou não variador agregado na instalação.

Tabela B.1 - Localização, sub-localização e orientação no quadro elétrico geral da ETARI.

Localização	Sub localização	Equipamento	Código de Identificação	Portas	Localização das fases no Quadro elétrico
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Elevatória Inicial de Concentrados	Bomba submersível 1	BSC1	2	1,2,3
	Elevatória Inicial de Concentrados	Bomba submersível 2	BSC2		4,5,6
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Elevatória Inicial de Mistos	Bomba submersível 1	BSM3		7,8,9
	Elevatória Inicial de Mistos	Bomba submersível 2	BSM4		10,11,12
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Equalização/ Homogeneização	Agitador Submersível Concentrados	ASC1		25,26,27
	Equalização/ Homogeneização	Bomba Parafuso Concentrados 1	BPC1		16,17,18
	Equalização/ Homogeneização	Bomba Parafuso Concentrados 2	BPC2		19,20,21
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Equalização/ Homogeneização	Agitador Submersível Mistos 1	ASM2		22,23,24
	Equalização/ Homogeneização	Agitador Submersível Mistos 2	ASM3		13,14,15
	Equalização/ Homogeneização	Bomba Parafuso Mistos 1	BPM3		28,29,30
	Equalização/ Homogeneização	Bomba Parafuso Mistos 2	BPM4		31,32,33
Flotação por Ar Dissolvido	Desidratação de Lamas	Bomba de Recirculação	BR		34,35,36
	Desidratação de Lamas	Raspador	R	37,38,39	
	Desidratação de Lamas	Compressor	C1	40,41	
Reator Biológico	Reator Biológico	Sobrepessor 1	S1	3	1,2,3
	Reator Biológico	Sobrepessor 2	S2		4,5,6

Tabela B.1 (continuação) - Localização, sub-localização e orientação no quadro elétrico geral da ETARI.

Localização	Sub localização	Equipamento	Código de Identificação	Portas	Localização das fases no Quadro elétrico
Tratamento de Lamas	Desidratação de Lamas	Centrifuga	CM	4	35,36,37
	Armazenamento de Lamas	Compressor de Canal Lateral	C2		1,2,3
	Armazenamento de Lamas	Bomba Lamas Espessas 1	BLE1		7,8,9
	Armazenamento de Lamas	Bomba Lamas Espessas 2	BLE2		4,5,6
	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora Polímero 1	BD1		14,15,16
	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora Polímero 2	BD2		17,18,19
	Desidratação de Lamas	Unidade de Mistura do Polímero	UMP		10,11,12
	Desidratação de Lamas	Parafuso lamas	PL		20,21,22
Reagentes	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora NaOH 1	BD3	5	7,8,9
	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora NaOH 2	BD4		10,11,12
	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora Coagulante 1	BD5		13,14,15
	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora Coagulante 2	BD6		16,17,18
	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora de Floculante 1	BD7		19,20
	Coagulação/ Flotação	Bomba Doseadora de Floculante 2	BD8		21,22
	Coagulação/ Flotação	Agitador Vertical Floculante	AV1		23,24,25

Tabela B.2 - Características das chapas dos motores dos equipamentos em análise.

Localização	Equipamento	Potência Nominal (kW)	Corrente Nominal (A)	Tensão de Funcionamento (V)	Fator de potência	Frequência (Hz)	Variações	Gama de Frequências de Trabalho (Hz)	Eficiência do Motor	Tipo de Motor
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	2,40	5,50	400	0,74	50	x	25-50	-	Trifásico
	Bomba submersível 2	2,40	5,50	400	0,74	50	x	25-50	-	Trifásico
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	2,40	5,50	400	0,74	50	x	30-50	-	Trifásico
	Bomba submersível 2	2,40	5,50	400	0,74	50	x	30-50	-	Trifásico
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1,50	3,80	400	0,80	50		-	-	Trifásico
	Bomba Parafuso Concentrados 1	3,00	6,17	400	0,82	50	x	25-50	IE3	Trifásico
	Bomba Parafuso Concentrados 2	3,00	6,17	400	0,82	50	x	25-50	IE3	Trifásico
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1,50	3,80	400	0,80	50		-	-	Trifásico
	Agitador Submersível Mistos 2	1,50	3,80	400	0,80	50		-	-	Trifásico
	Bomba Parafuso Mistos 1	3,00	6,17	400	0,82	50	x	30-50	IE3	Trifásico
	Bomba Parafuso Mistos 2	3,00	6,17	400	0,82	50	x	30-50	IE3	Trifásico

Tabela B.2 (continuação) - Características das chapas dos motores dos equipamentos em análise.

Localização	Equipamento	Potência Nominal (kW)	Corrente Nominal (A)	Tensão de Funcionamento (V)	Fator de potência	Frequência (Hz)	Variações	Gama de Frequências de Trabalho (Hz)	Eficiência do Motor	Tipo de Motor
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	7,50	3,10	400	0,92	50	x	25-50	IE3	Trifásico
	Raspador	0,50	0,68	400	0,61	50		-	-	Trifásico
	Compressor	1,10	6,70	230	0,95	50		-	-	Monofásico
Reator Biológico	Sobrepessor 1	37,00	65,80	400	0,86	50	x	40-50	IE3	Trifásico
	Sobrepessor 2	37,00	65,80	400	0,86	50	x	50,00	IE3	Trifásico
Tratamento de Lamas	Centrifuga	7,50	14,00	400	0,86	50	x	50,00	IE3	Trifásico
	Compressor de Canal Lateral	0,70	3,80	400	1,00	50			-	Trifásico
	Bomba Lamas Espessas 1	3,00	6,17	400	0,82	50		-	IE2	Trifásico
	Bomba Lamas Espessas 2	3,00	6,17	400	0,82	50		-	IE2	Trifásico
	Bomba Doseadora Polímero 1	0,37	1,02	400	0,72	50		-	-	Trifásico
	Bomba Doseadora Polímero 2	0,37	1,02	400	0,72	50		-	-	Trifásico
	Unidade de Mistura do Polímero	12,62	25,00	400	1,00	50		-	-	Trifásico
	Parafuso lamas	0,75	3,49	400	0,75	50		-	IE2	Trifásico

Tabela B.2 (continuação) - Características das chapas dos motores dos equipamentos em análise.

Localização	Equipamento	Potência Nominal (kW)	Corrente Nominal (A)	Tensão de Funcionamento (V)	Fator de potência	Frequência (Hz)	Variador	Gama de Frequências de Trabalho (Hz)	Eficiência do Motor	Tipo de Motor
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1	0,09	0,42	400	0,60	50		-	-	Trifásico
	Bomba Doseadora NaOH 2	0,09	0,42	400	0,60	50		-	-	Trifásico
	Bomba Doseadora Coagulante 1	0,07	0,20	400	0,78	50		-	-	Trifásico
	Bomba Doseadora Coagulante 2	0,07	0,20	400	0,78	50		-	-	Trifásico
	Bomba Doseadora de Floculante 1	0,17	0,50	230	0,75	50		-	-	Monofásico
	Bomba Doseadora de Floculante 2	0,17	0,50	230	0,75	50		-	-	Monofásico
	Agitador Vertical Floculante	0,25	0,73	400	0,81	50		-	-	Trifásico

B.2. Medições

As medições efetuadas para a determinação dos consumos energéticos dos equipamentos foram efetuadas de duas formas, leituras simultâneas na fase e no neutro (tensão simples), ou seja, a tensão lida na fase 1 e no neutro (N), com a corrente lida em 1, originam o consumo na fase 1, o mesmo se repete para a fase 2 e 3 (tabelas B.3 a B10). A outra forma foi efetuar leituras simultâneas em duas fases (tensão composta).

Tabela B.3 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 04/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1	233,1	4,3	0,70
		2	232,3	4,2	
		3	233,1	4,3	
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	228,9	2,8	0,80
		2	229,1	2,7	
		3	229,1	2,8	
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	227,9	2,4	0,80
		2	230,3	2,4	
		3	230,3	2,3	
	Agitador Submersível Mistos 2	1	233,3	3,5	0,80
		2	231,9	3,4	
		3	233,3	3,5	
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	229,9	12,7	0,80
		2	230,1	12,5	
		3	230,3	12,8	
	Raspador	1	230,2	0,7	0,80
		2	230,1	0,6	
		3	230,2	0,6	
Tratamento de Lamas	Unidade de Mistura de Polímero	1	230,1	1,4	1,00
		2	231,2	1,5	
		3	231,3	1,4	
Reagentes	Bomba Doseadora Coagulante 1	1	233,2	0,2	0,78
		2	231,2	0,2	
		3	233,3	0,2	
	Bomba Doseadora Coagulante 2	1	230,0	0,2	0,78
		2	230,1	0,2	
		3	230,0	0,2	
	Bomba Doseadora de Floculante 1	1	232,3	0,2	0,75
	Agitador Vertical Floculante	1	230,2	0,6	0,81
2		230,1	0,6		
3		230,2	0,6		

Tabela B.4 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 06/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	230,1	4,4	0,70
		2	230,2	4,3	
		3	230,2	4,3	
	Bomba submersível 2	1	242,5	3,8	0,74
		2	231,8	3,7	
		3	245,3	3,6	
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 2	1	231,1	4,3	0,74
		2	231,2	4,3	
		3	231,2	4,3	
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	230,9	2,8	0,80
		2	230,8	2,8	
		3	231,2	2,8	
	Bomba Parafuso Concentrados 1	1	229,6	3,4	0,82
		2	229,8	3,4	
		3	230	3,4	
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	228,9	2,5	0,80
		2	229,3	2,4	
		3	229,9	2,4	
	Agitador Submersível Mistos 2	1	230,2	3,4	0,80
		2	230,1	3,5	
		3	230,2	3,4	
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	233,2	12,7	0,80
		2	233,3	12,6	
		3	233,3	12,6	
	Raspador	1	232,1	0,6	0,80
		2	230,6	0,6	
		3	233,9	0,6	
Tratamento de Lamas	Unidade de Mistura de Polímero	1	230,1	1,4	1,00
		2	230,1	1,4	
		3	230,2	1,4	
Reagentes	Bomba Doseadora Coagulante 1	1	230,6	0,2	0,78
		2	230,4	0,2	
		3	230,7	0,2	
	Agitador Vertical Floculante	1	233,5	0,6	0,81
		2	232,9	0,6	
		3	233,9	0,6	

Tabela B.5 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 11/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP	
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 2	1	230	4,3	0,74	
		2	230	4,2		
		3	230,1	4,3		
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	232,2	2,8	0,80	
		2	232,1	2,7		
		3	233,1	2,8		
	Bomba Parafuso Concentrados 1	1	228,7	3,3	0,82	
		2	228,9	3,3		
		3	229,1	3,3		
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	230,1	2,4	0,80	
		2	230,1	2,5		
		3	230,1	2,4		
	Agitador Submersível Mistos 2	1	241,1	3,5	0,80	
		2	231,6	3,4		
		3	246,2	3,5		
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	233,5	12,6	0,80	
		2	233,2	12,6		
		3	233,8	12,5		
	Raspador	1	231,5	0,6	0,80	
		2	231,6	0,6		
		3	231,6	0,6		
	Compressor	1	241,7	6,5	0,80	
	Tratamento de Lamas	Unidade de Mistura de Polímero	1	233,6	1,4	1,00
			2	233,6	1,4	
3			233,6	1,5		
Reagentes	Bomba Doseadora Coagulante 1	1	231,2	0,2	0,78	
		2	231,2	0,2		
		3	233,4	0,2		
	Agitador Vertical Floculante	1	229,9	0,6	0,81	
		2	230	0,6		
		3	230	0,6		

Tabela B.6 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 13/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP	
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	230	4,4	0,70	
		2	230,1	4,3		
		3	230,1	4,4		
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 2	1	230	4,4	0,74	
		2	230	4,3		
		3	230	4,4		
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	231,2	2,8	0,80	
		2	231,2	2,8		
		3	232	2,9		
	Bomba Parafuso Concentrados 1	1	230	3,5	0,82	
		2	230,6	3,4		
		3	230,9	3,5		
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	233,1	2,6	0,80	
		2	233	2,5		
		3	233,1	2,5		
	Agitador Submersível Mistos 2	1	230,2	3,6	0,80	
		2	230,1	3,5		
		3	230,2	3,5		
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	231,6	12,6	0,80	
		2	229,8	12,4		
		3	231,9	12,5		
	Raspador	1	230	0,6	0,80	
		2	230,7	0,6		
		3	230,1	0,6		
	Compressor	1	231,4	6,5	0,80	
	Tratamento de Lamas	Unidade de Mistura de Polímero	1	230,2	1,5	1,00
			2	230,1	1,5	
3			230,4	1,5		
Reagentes	Bomba Doseadora Coagulante 1	1	230,2	0,2	0,78	
		2	230,2	0,2		
		3	230,9	0,2		
	Agitador Vertical Floculante	1	235,6	0,6	0,81	
		2	232,1	0,6		
		3	237,1	0,6		

Tabela B.7 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 17/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	229,8	4,4	0,70
		2	229,8	4,3	
		3	229,9	4,3	
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 2	1	230,2	4,3	0,74
		2	230,1	4,2	
		3	230,1	4,3	
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	230,4	2,9	0,80
		2	230,4	2,9	
		3	231,1	2,8	
	Bomba Parafuso Concentrados 1	1	233,1	3,4	0,82
		2	233,1	3,4	
		3	233,1	3,4	
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	227,6	2,5	0,80
		2	227,8	2,5	
		3	230	2,4	
	Agitador Submersível Mistos 2	1	230,2	3,6	0,80
		2	231,6	3,5	
		3	234,1	3,5	
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	230	12,6	0,80
		2	231	12,4	
		3	231,2	12,6	
	Raspador	1	229,6	0,6	0,80
		2	229,5	0,6	
		3	229,8	0,6	
Tratamento de Lamas	Unidade de Mistura de Polímero	1	234,2	1,5	1,00
		2	234,3	1,5	
		3	236,4	1,5	
Reagentes	Agitador Vertical Floculante	1	230	0,6	0,81
		2	230,1	0,6	
		3	230,1	0,6	

Tabela B.8 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 19/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	238,7	4,4	0,70
		2	238,6	4,3	
		3	240,1	4,4	
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1	234,2	4,4	0,70
		2	234,1	4,3	
		3	234,2	4,4	
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	231,2	2,9	0,80
		2	233,4	2,8	
		3	233,4	2,9	
	Bomba Parafuso Concentrados 1	1	228,7	3,6	0,82
		2	228,8	3,6	
		3	229,2	3,6	
	Bomba Parafuso Concentrados 2	1	234,1	3,8	0,82
		2	234,4	3,8	
		3	234,4	3,7	
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	231,2	2,5	0,80
		2	232,1	2,5	
		3	232,2	2,5	
	Agitador Submersível Mistos 2	1	237,6	3,6	0,80
		2	237,2	3,5	
		3	237,6	3,5	
	Bomba Parafuso Mistos 1	1	231,2	3,6	0,82
		2	231,1	3,6	
		3	231,3	3,7	
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	242,6	12,5	0,80
		2	242,8	12,4	
		3	245,1	12,7	
	Raspador	1	236,4	0,7	0,80
		2	236,4	0,6	
		3	236,5	0,6	
Tratamento de Lamas	Unidade de Mistura de Polímero	1	234,6	1,5	1,00
		2	234,5	1,5	
		3	234,5	1,5	
	Parafuso lamas	1	230,1	2	0,75
		2	230,2	2	
		3	230,1	2,1	
Reagentes	Agitador Vertical Floculante	1	231,2	0,6	0,81
		2	231,4	0,6	
		3	231,4	0,6	

Tabela B.9 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 25/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	231,1	4,3	0,70
		2	231,1	4,3	
		3	231,2	4,4	
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 2	1	230,4	4,3	0,74
		2	230,8	4,2	
		3	231,1	4,3	
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	232,2	2,8	0,80
		2	232,4	2,8	
		3	232,4	2,9	
	Bomba Parafuso Concentrados 1	1	231,2	3,3	0,82
		2	231,6	3,3	
		3	231,6	3,3	
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	230,1	2,5	0,80
		2	230	2,4	
		3	230,1	2,4	
	Agitador Submersível Mistos 2	1	232,4	3,4	0,80
		2	229,6	3,5	
		3	232,6	3,5	
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	229,8	12,7	0,80
		2	229,8	12,4	
		3	230	12,8	
	Raspador	1	231,3	0,7	0,80
		2	231,9	0,6	
		3	233,6	0,6	
Tratamento de Lamas	Unidade de Mistura de Polímero	1	231,2	1,4	1,00
		2	231,2	1,5	
		3	231,4	1,4	
Reagentes	Agitador Vertical Floculante	1	229,5	0,6	0,81
		2	231,2	0,6	
		3	232,1	0,6	

Tabela B.10 - Resultados obtidos nas medições de tensão e corrente, com o equipamento FLUKE 323, para tensões simples, no dia 27/06/2019.

Localização	Equipamento	Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	229,6	4,3	0,70
		2	228,9	4,2	
		3	234,5	4,3	
	Bomba submersível 2	1	230,2	3,7	0,74
		2	241,6	3,5	
		3	242,8	3,5	
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1	233,2	4,2	0,70
		2	233,4	4,1	
		3	234,1	4,2	
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	231,5	2,8	0,80
		2	231,5	2,7	
		3	233,7	2,8	
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	231,2	2,4	0,80
		2	231,2	2,4	
		3	231,4	2,3	
	Agitador Submersível Mistos 2	1	242,2	3,5	0,80
		2	229,6	3,4	
		3	242,7	3,4	
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1	1	230,1	0,4	0,60
		2	230,4	0,4	
		3	230,4	0,4	
	Agitador Vertical Floculante	1	230,6	0,6	0,81
		2	229,1	0,6	
		3	234,5	0,6	

Para a tensão composta, ou seja, leituras fase vs fase, de modo a obter o consumo na fase 1, a tensão é lida entre a fase 3 e a fase 2, e a corrente é lida na fase 1. No consumo da fase 2, a tensão é lida entre a fase 1 e a fase 3 e a corrente é lida na fase 2, já para o consumo da fase 3, a tensão é lida entre a fase 1 e a fase 2, e a corrente é lida em 3 (tabela B.11).

Tabela B.11 - Resultados obtidos na medição de tensão e corrente com o equipamento FLUKE 323, para tensões compostas, no dia 03/06/2019.

Localização	Equipamento	Ligação	Tensão (V)	Fase	Corrente (A)	FP
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1→2	416,7	3	4,3	0,7
		2→3	416,7	1	4,4	
		3→1	418,9	2	4,2	
	Bomba submersível 2	1→2	417,4	3	3,7	0,74
		2→3	417,2	1	3,7	
		3→1	418,2	2	3,6	
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1→2	417,6	3	2,8	0,80
		2→3	417,4	1	2,8	
		3→1	418,8	2	2,7	
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1→2	418,2	3	2,3	0,80
		2→3	417,1	1	2,5	
		3→1	418,9	2	2,4	
	Agitador Submersível Mistos 2	1→2	416,5	3	3,5	0,80
		2→3	416,9	1	3,6	
		3→1	418,4	2	3,5	
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1→2	417,4	3	13,0	0,80
		2→3	416,8	1	12,9	
		3→1	418,4	2	12,7	
	Raspador	1→2	417,9	3	0,6	0,80
		2→3	416,5	1	0,6	
		3→1	417,4	2	0,6	
	Compressor	1→N	232,8	1	6,5	0,80
Reator Biológico	Sobrepessor 1	1→2	406,5	3	56,0	0,61
		2→3	406,6	1	56,6	
		3→1	406,5	2	55,9	
	Sobrepessor 2	1→2	405,2	3	57,1	0,95
		2→3	405,4	1	57,4	
		3→1	405,3	2	55,8	

Tabela B.11 (continuação) - Resultados obtidos na medição de tensão e corrente com o equipamento FLUKE 323, para tensões compostas, no dia 03/06/2019.

Localização	Equipamento	Ligação	Tensão (V)	Fase	Corrente (A)	FP
Tratamento de Lamas	Compressor de Canal Lateral	1→2	412,4	3	1,7	1,00
		2→3	414,8	1	1,8	
		3→1	415,9	2	1,7	
	Bomba Lamas Espessas 1	1→2	376,2	3	3,3	0,82
		2→3	376,6	1	3,3	
		3→1	379,7	2	3,2	
	Bomba Doseadora Poli 1	1→2	384,5	3	0,7	0,72
		2→3	384,6	1	0,8	
		3→1	385,3	2	0,7	
	Parafuso lamas	1→2	415,5	3	2,0	0,75
		2→3	415,9	1	1,9	
		3→1	417,1	2	2,0	
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1	1→2	421,3	3	0,4	0,60
		2→3	420,3	1	0,4	
		3→1	422,4	2	0,4	
	Bomba Doseadora Coagulante 1	1→2	420,2	3	0,2	0,78
		2→3	419,8	1	0,2	
		3→1	422,7	2	0,2	
	Bomba Doseadora de Floculante 2	1→N	235,1	1	0,2	0,75
	Agitador Vertical Floculante	1→2	420,2	3	0,6	0,81
		2→3	419,5	1	0,6	
		3→1	421,1	2	0,6	

Noutra fase do trabalho, utilizou-se um equipamento que fornecia o fator de potência instantâneo bem como a energia ativa total, reativa total e aparente total. As medições efetuadas com este aparelho encontram-se nas tabelas B.12 a B.15. De salientar que o equipamento UNIT-T, UT-232, utilizado não deteta corrente inferior a 1 A, pelo que nestes casos recorreu-se ao equipamento FLUKE 323, em que o fator de potência do equipamento é o da chapa do motor e não o instantâneo.

Este equipamento mede com 4 ponteiras e uma pinça, em que as ponteiras estão nas três fases e no neutro em simultâneo e a pinça vai andando de fase em fase, permitindo assim ler os valores fase a fase.

Tabela B.12 - Resultados obtidos nas medições de dia 09/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.

Localização	Equipamento	Fase	U (V)	I (A)	FP	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	228,9	4,2	0,859	2,75	1,65	3,20
		2	231,9	4,2				
		3	233,8	4,2				
	Bomba submersível 2	1	231,8	3,6	0,102	0,25	2,42	2,43
		2	231,3	3,5				
		3	230,3	3,5				
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1	229,5	4,2	0,552	1,58	2,39	2,86
		2	231,5	4,2				
		3	232,1	4,1				
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Bomba Parafuso Concentrados 2	1	170,2	3,6	0,886	1,09	0,58	1,23
		2	170,5	3,6				
		3	170,4	3,5				
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	229,7	2,3	0,820	1,30	0,92	1,59
		2	233,2	2,3				
		3	230,2	2,3				
	Agitador Submersível Mistos 2	1	230,2	3,5	0,683	1,45	1,55	2,12
		2	231,5	3,4				
		3	231,4	3,5				
	Bomba Parafuso Mistos 2	1	172,2	3,5	0,288	0,13	0,44	0,45
		2	173,8	3,4				
		3	172,6	3,2				
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	229,8	12,8	0,920	8,01	3,41	8,70
		2	230,1	12,7				
		3	232,7	12,7				
Reator Biológico	Sobrepessor 1	1	230,8	56,1	0,835	32,11	21,10	38,42
		2	231,2	56,3				
		3	230,9	56,1				
Reagentes	Bomba Doseadora Coagulante 1	1	230,4	0,2	0,780	0,11	0,14	0,09
		2	232,2	0,2				
		3	232	0,2				
	Agitador Vertical Floculante	1	229,5	0,6	0,810	0,33	0,41	0,24
		2	229,1	0,6				
		3	228,7	0,6				

Tabela B.13 - Resultados obtidos nas medições de dia 12/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.

Localização	Equipamento	Fase	U (V)	I (A)	FP	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	231,8	4,3	0,551	1,63	2,43	2,90
		2	232,3	4,2				
		3	233,1	4,2				
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1	232,5	4,3	0,596	1,86	2,51	3,12
		2	233,9	4,2				
		3	233,1	4,2				
	Bomba submersível 2	1	231,7	4,3	0,586	0,61	0,85	1,04
		2	232,3	4,3				
		3	232,7	4,3				
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	231,2	2,7	0,440	0,89	1,82	2,02
		2	232,2	2,6				
		3	233,8	2,8				
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	232,5	2,3	0,828	1,34	0,91	1,62
		2	233,1	2,3				
		3	233,3	2,3				
	Agitador Submersível Mistos 2	1	231,7	3,4	0,852	2,27	1,38	2,65
		2	232,2	3,5				
		3	233,4	3,4				
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	234,6	12,9	0,939	8,41	3,15	8,98
		2	232,4	13				
		3	233,1	12,6				
	Raspador	1	233,0	0,6	0,61	0,26	0,42	0,33
		2	233,9	0,6				
		3	233,9	0,6				
Compressor	1	233,9	6,5	0,939	1,41	1,50	0,52	
Reator Biológico	Sobrepessor 1	1	195,9	53,9	0,821	24,02	16,28	29,01
		2	195,8	52,4				
		3	196,3	52,4				

Tabela B.13(continuação) - Resultados obtidos nas medições de dia 12/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.

Localização	Equipamento	Fase	U (V)	I (A)	FP	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Tratamento de Lamas	Centrifuga	1	231,3	8,5	0,986	4,39	0,76	4,45
		2	232,4	8,5				
		3	231,3	7				
	Compressor de Canal Lateral	1	231,2	1,5	0,693	0,77	0,80	1,11
		2	231,9	1,5				
		3	232,2	1,5				
	Bomba Lamas Espessas 1	1	216,3	3,3	0,587	1,55	1,97	2,64
		2	217,3	3,2				
		3	217,2	3,1				
	Bomba Doseadora Poli 1	1	223,5	0,8	0,428	0,09	0,19	0,21
		2	223,1	0,7				
		3	224,7	0,7				
	Unidade de Mistura de Polímero	1	232,5	1,3	0,227	0,20	0,86	0,88
		2	233,9	1,3				
		3	234,3	1,3				
Parafuso lamas	1	231,9	1,8	0,128	0,17	1,31	1,32	
	2	232,6	1,9					
	3	232,4	1,9					
Reagentes	Bomba Doseadora Coagulante 1	1	231,8	0,3	0,780	0,13	0,16	0,10
		2	233,3	0,2				
		3	232,1	0,2				
	Bomba Doseadora de Floculante 2	1	232,1	0,6	0,750	0,10	0,14	0,09
	Agitador Vertical Floculante	1	230,2	0,6	0,810	0,34	0,41	0,24
		2	230,1	0,6				
3		230,6	0,6					

Tabela B.14 - Resultados obtidos nas medições de dia 19/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.

Localização	Equipamento	Fase	U (V)	I (A)	FP	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	234,4	4,4	0,547	1,27	1,95	2,32
		2	234,9	4,3				
		3	236,4	4,3				
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1	234,3	4,4	0,585	1,17	1,63	2,00
		2	235,6	4,4				
		3	236,2	4,4				
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	234,2	2,7	0,661	0,80	0,91	1,21
		2	234,9	2,5				
		3	231,3	2,6				
	Bomba Parafuso Concentrados 1	1	170,6	3,5	0,797	0,63	0,48	0,79
		2	171,9	3,4				
		3	171,6	3,2				
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 2	1	229,7	3,3	0,888	2,24	1,16	2,52
		2	231,2	3,5				
		3	231,6	3,3				
	Bomba Parafuso Mistos 2	1	171,6	3,3	0,171	0,25	1,44	1,46
		2	171,4	3,2				
		3	174,2	3,5				
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	231,4	12,8	0,940	8,40	8,94	3,05
		2	231,2	12,9				
		3	232	12,8				
	Raspador	1	233,2	0,6	0,610	0,26	0,42	0,33
		2	233,2	0,6				
		3	231,9	0,6				
Compressor	1	232,9	6,5	0,941	1,40	1,49	0,50	
Reator Biológico	Sobrepessor 1	1	186,8	53,9	0,828	24,08	16,29	29,04
		2	196,1	52,5				
		3	184,4	52,8				

Tabela B.14 (continuação) - Resultados obtidos nas medições de dia 19/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.

Localização	Equipamento	Fase	U (V)	I (A)	FP	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Tratamento de Lamas	Centrifuga	1	235,1	7,8	0,981	3,80	0,76	3,87
		2	234,6	7,6				
		3	235,3	6,7				
	Compressor de Canal Lateral	1	231,3	1,6	0,762	1,06	0,90	1,39
		2	232,4	1,7				
		3	233,9	1,7				
	Bomba Lamas Espessas 2	1	175,1	3,5	0,317	0,41	1,23	1,29
		2	173,8	3,4				
		3	173,5	3,4				
	Bomba Doseadora Poli 1	1	247,2	0,7	0,447	0,17	0,34	0,38
		2	246,9	0,7				
		3	246,8	0,7				
	Unidade de Mistura de Polímero	1	234,9	1,3	0,255	0,23	0,88	0,90
		2	235	1,3				
		3	235,7	1,3				
Parafuso lamas	1	234,1	1,9	0,115	0,16	1,39	1,39	
	2	235,2	2					
	3	236,1	2					
Reagentes	Bomba Doseadora Coagulante 2	1	228,9	0,2	0,780	0,11	0,14	0,09
		2	229	0,2				
		3	228,7	0,2				
	Bomba Doseadora de Flocculante 2	1	231	0,4	0,750	0,07	0,09	0,06
	Agitador Vertical Flocculante	1	230,9	0,6	0,810	0,34	0,42	0,24
2		231,5	0,6					
3		231,5	0,6					

Tabela B.15 - Resultados obtidos nas medições de dia 26/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.

Localização	Equipamento	Fase	U (V)	I (A)	FP	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1	233,1	4,2	0,542	1,60	2,49	2,95
		2	233,6	4,2				
		3	234,4	4,2				
	Bomba submersível 2	1	231,1	3,6	0,145	0,37	2,53	2,55
		2	232,6	3,5				
		3	233,6	3,6				
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1	232	4,3	0,569	1,67	2,41	2,93
		2	232,8	4,1				
		3	233,2	4,2				
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1	232,3	2,7	0,644	1,18	1,41	1,83
		2	233,7	2,6				
		3	243,1	2,7				
	Bomba Parafuso Concentrados 2	1	171,7	3,5	0,884	1,60	0,83	1,80
		2	172	3,5				
		3	171,6	3,4				
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1	230,8	3,3	0,831	1,58	1,07	1,90
		2	232,5	3,3				
		3	233,3	3,3				
	Agitador Submersível Mistos 2	1	231,1	3,4	0,810	1,88	1,37	2,32
		2	231,5	3,3				
		3	232,6	3,3				
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	1	231,3	12,9	0,921	8,15	3,43	8,84
		2	232,6	12,8				
		3	232,5	13				
	Raspador	1	232,8	0,6	0,610	0,26	0,42	0,33
		2	232,9	0,6				
		3	233	0,6				
	Compressor	1	232,8	6,5	0,940	1,43	1,51	0,48

Tabela B.15, Continuação-Resultados obtidos nas medições de dia 26/07/2019, com o equipamento UNI-T, UT-232.

Localização	Equipamento	Fase	U (V)	I (A)	FP	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Reator Biológico	Sobrepessor 1	1	195,7	54,2	0,826	27,01	18,00	32,46
		2	196,1	54,1				
		3	194,8	54,2				
Tratamento de Lamas	Centrifuga	1	234,1	7,9	0,990	4,07	0,58	4,11
		2	232,9	7,9				
		3	233	7,6				
	Compressor de Canal Lateral	1	231,3	1,6	0,724	0,79	0,76	1,09
		2	232,1	1,6				
		3	233	1,6				
	Bomba Doseadora Poli 2	1	236,9	0,7	0,863	0,38	0,23	0,44
		2	232,5	0,8				
		3	233,3	0,7				
	Unidade de Mistura de Polímero	1	232,7	1,2	0,227	0,86	0,20	0,88
		2	233,3	1,3				
		3	232,5	1,3				
	Parafuso lamas	1	231,6	1,8	0,138	0,18	1,29	1,30
		2	231	1,8				
		3	233,1	1,9				

B.3. Cálculos de Consumos Energéticos

Como mencionado no capítulo 3, subcapítulo 3.2.5, foram efetuadas medições de duas formas diferentes, pelo que os dados foram submetidos a dois tipos de tratamento.

Segue-se o exemplo de cálculo para medição em tensão simples, ou seja, entre uma fase e o neutro, num motor trifásico, bomba submersível 1, da estação elevatória de concentrados. Os valores obtidos nas medições, bem como o fator de potência da chapa do motor, encontram-se na tabela B.16.

Tabela B.16 - Dados para o cálculo do consumo energético da BSC1, em tensão simples.

Fase	Tensão (V)	Corrente (A)	FP
1	230,1	4,4	0,74
2	230,2	4,3	
3	230,2	4,3	

Exemplo de Cálculo da Energia Ativa (kW), partindo da equação,

$$P_F = U_{FN} \times I_F \times \cos \phi,$$

$$P_1 = (230,1 \text{ V} \times 4,4 \text{ A} \times 0,74) \times \frac{1 \text{ kV}}{1000 \text{ V}} = 0,75 \text{ kW}$$

$$P_2 = (230,2 \text{ V} \times 4,3 \text{ A} \times 0,74) \times \frac{1 \text{ kV}}{1000 \text{ V}} = 0,73 \text{ kW}$$

$$P_3 = (230,2 \text{ V} \times 4,3 \text{ A} \times 0,74) \times \frac{1 \text{ kV}}{1000 \text{ V}} = 0,73 \text{ kW}$$

$$P_{Total} = P_1 + P_2 + P_3 = 0,75 + 0,73 + 0,73 = 2,21 \text{ kW}$$

Sabendo o valor do fator de potência (FP ou $\cos \phi$) e com o valor da energia ativa total é possível saber a energia aparente total (S_{Total} em kVA).

$$\cos \phi = \frac{P_F}{S_{Total}} \Leftrightarrow S_{Total} = \frac{2,21 \text{ kW}}{0,74} = 2,99 \text{ kVA}$$

Com o valor da energia aparente total e com recurso à equação $S_{Total} = \sqrt{P_{Total}^2 + Q_{Total}^2}$, é possível saber o valor da energia reativa (Q_{Total} em kVAr).

$$S_{Total} = \sqrt{P_{Total}^2 + Q_{Total}^2} \Leftrightarrow Q_{Total} = \sqrt{S_{Total}^2 - P_{Total}^2} \Leftrightarrow Q_{Total} =$$

$$\sqrt{(2,99 \text{ kVA})^2 - (2,09 \text{ kW})^2} \Leftrightarrow Q_{Total} = 2,14 \text{ kVAr}$$

Os consumos para os restantes equipamentos foram efetuados da mesma forma.

Os valores obtidos nas medições, bem como o fator de potência da chapa do motor da bomba submersível 1, da estação elevatória de concentrados, encontram-se na tabela B.17 e correspondem a medições efetuadas em tensões compostas, ou seja, entre fases.

Tabela B.17 - Dados para o cálculo do consumo energético da BSC1, em tensão composta.

Ligação	Tensão (V)	Fase	Corrente (A)	FP
1→2	416,7	3	4,3	0,74
2→3	416,7	1	4,4	
3→1	418,9	2	4,2	

Exemplo de Cálculo da Energia Ativa (kW), partindo das equações,

$$P_1 = U_{1 \rightarrow 2} \times I_3 \times \cos \phi \Leftrightarrow P_1 = (416,7 \text{ V} \times 4,3 \text{ A} \times 0,74) \times \frac{1 \text{ kV}}{1000 \text{ V}} = 1,33 \text{ kW}$$

$$P_2 = U_{2 \rightarrow 3} \times I_1 \times \cos \phi \Leftrightarrow P_2 = (416,7 \text{ V} \times 4,4 \text{ A} \times 0,74) \times \frac{1 \text{ kV}}{1000 \text{ V}} = 1,36 \text{ kW}$$

$$P_3 = U_{3 \rightarrow 1} \times I_2 \times \cos \phi \Leftrightarrow P_3 = (418,9 \text{ V} \times 4,2 \text{ A} \times 0,74) \times \frac{1 \text{ kV}}{1000 \text{ V}} = 1,30 \text{ kW}$$

$$P_{Total} = \sqrt{3} \times (P_1 \text{ ou } P_2 \text{ ou } P_3) \Leftrightarrow P_1 = \sqrt{3} \times 1,33 \text{ kW} \Leftrightarrow P_1 = 2,30 \text{ kW}$$

Sabendo o valor do fator de potência (FP ou $\cos \phi$) e com o valor da energia ativa total é possível saber a energia aparente total (S_{Total} em kVA).

$$\cos \phi = \frac{P_F}{S_{Total}} \Leftrightarrow S_{Total} = \frac{2,30 \text{ kW}}{0,74} = 3,11 \text{ kVA}$$

Com o valor da energia aparente total e com recurso à equação

$S_{Total} = \sqrt{P_{Total}^2 + Q_{Total}^2}$, é possível saber o valor da energia reativa (Q_{Total} em kVAr).

$$S_{Total} = \sqrt{P_{Total}^2 + Q_{Total}^2} \Leftrightarrow Q_{Total} = \sqrt{S_{Total}^2 - P_{Total}^2} \Leftrightarrow Q_{Total} = \sqrt{(3,11 \text{ kVA})^2 - (2,30 \text{ kW})^2} \Leftrightarrow Q_{Total} = 2,09 \text{ kVAr}$$

Os consumos para os restantes equipamentos foram efetuados da mesma forma.

Os consumos finais para o mês de Junho, foram obtidos pela média dos consumos dos diversos dias de medição e encontram-se na tabela B.18.

Tabela B.18 - Consumos obtidos, nas medições com pinça amperimétrica, FLUKE, 323, relativas ao mês de JUNHO.

Localização	Equipamento	Fator de Potência Real	Energia Ativa Total (kW)	Energia Aparente Total (kVA)	Energia Reativa Total (kVAr)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	0,74	2,12	3,03	2,16
	Bomba submersível 2	0,74	1,94	2,63	1,77
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	0,74	2,09	2,99	2,13
	Bomba submersível 2	0,74	2,20	2,97	2,00
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	0,80	1,57	1,96	1,18
	Bomba Parafuso Concentrados 1	0,82	1,93	2,36	1,35
	Bomba Parafuso Concentrados 2	0,82	2,17	2,65	1,52
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	0,80	1,35	1,69	1,01
	Agitador Submersível Mistos 2	0,80	1,96	2,45	1,47
	Bomba Parafuso Mistos 1	0,82	2,07	2,52	1,44
	Bomba Parafuso Mistos 2	0,82	-	-	-
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	0,92	7,10	8,87	5,32
	Raspador	0,61	0,34	0,43	0,26
	Compressor	0,95	1,22	1,53	0,92
Reator Biológico	Sobrepessor 1	0,86	24,05	39,43	31,24
	Sobrepessor 2	0,86	38,07	40,07	12,51

Tabela B.18 (continuação) - Consumos obtidos, nas medições com pinça amperimétrica, FLUKE, 323, relativas ao mês de JUNHO.

Localização	Equipamento	Fator de Potência Real	Energia Ativa Total (kW)	Energia Aparente Total (kVA)	Energia Reativa Total (kVAr)
Tratamento de Lamas	Centrifuga	0,86	4,05	4,50	1,96
	Compressor de Canal Lateral	1,00	1,24	1,24	0,00
	Bomba Lamas Espessas 1	0,82	1,76	2,15	1,23
	Bomba Lamas Espessas 2	0,82			
	Bomba Doseadora Poli 1	0,72	0,34	0,47	0,32
	Bomba Doseadora Poli 2	0,72		-	
	Unidade de Mistura de Polímero	1,00	1,02	0,95	0,04
	Parafuso lamas	0,75	1,07	1,42	0,94
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1	0,60	0,17	0,28	0,23
	Bomba Doseadora NaOH 2	0,60		-	
	Bomba Doseadora Coagulante 1	0,78	0,11	0,14	0,09
	Bomba Doseadora Coagulante 2	0,78	0,11	0,14	0,09
	Bomba Doseadora de Floculante 1	0,75	0,03	0,05	0,03
	Bomba Doseadora de Floculante 2	0,75	0,04	0,05	0,03
	Agitador Vertical Floculante	0,81	0,34	0,42	0,25

Os consumos obtidos têm um fator de potência médio de 0,80, no entanto os consumos da bomba parafuso de mistos 2, da bomba de lamas espessas 2 e da bomba doseadora de NaOH 2 não puderam ser avaliados pois estes equipamentos estavam desativados devido a avarias.

Relativamente aos consumos obtidos com recurso ao equipamento UNI-T, UT-232, estes foram processados da mesma forma com a média dos consumos dos dias em que se efetuaram as medições. No entanto, este equipamento de medição tinha uma limitação, não conseguia detetar corrente elétrica inferior a 1 A (raspador, bomba doseadora de hidróxido de sódio 1 e 2, bomba doseadora de coagulante 1 e 2, bomba doseadora de floculante 1 e 2 e agitador vertical de floculante), pelo que nestes equipamentos foi utilizado o mesmo método de cálculo que se utilizou anteriormente para a tensão simples e com recurso ao fator de potência da chapa do motor. Os resultados obtidos encontram-se na tabela B.19.

Tabela B.19 - Consumos obtidos pela medição com multímetro UNI-T, UT-232, relativos ao mês de JULHO.

Localização	Equipamento	Fator de Potência Instantâneo Médio	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	0,625	1,81	2,13	2,84
	Bomba submersível 2	0,124	0,31	2,48	2,49
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	0,576	1,57	2,24	2,73
	Bomba submersível 2	0,586	0,61	0,85	1,04
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	0,551	0,96	1,38	1,69
	Bomba Parafuso Concentrados 1	0,797	0,63	0,48	0,79
	Bomba Parafuso Concentrados 2	0,885	1,35	0,71	1,52
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	0,826	1,41	0,97	1,70
	Agitador Submersível Mistos 2	0,808	1,96	1,37	2,40
	Bomba Parafuso Mistos 1		-		
	Bomba Parafuso Mistos 2	0,230	0,38	1,59	1,57
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	0,930	8,31	4,66	7,43
	Raspador	0,61*	0,26	0,33	0,42
	Compressor	0,940	1,41	0,51	1,51
Reator Biológico	Sobrepessor 1	0,828	26,81	17,92	32,23
	Sobrepessor 2		-		

* Fator de potência da chapa do motor

Tabela B.19 (continuação) - Consumos obtidos pela medição com multímetro UNI-T, UT-232, relativos ao mês de JULHO.

Localização	Equipamento	Fator de Potência Instantâneo Médio	Energia Ativa Total (kW)	Energia Reativa Total (kVAr)	Energia Aparente Total (kVA)
Tratamento de Lamas	Centrifuga	0,986	4,09	0,70	4,14
	Compressor de Canal Lateral	0,726	0,87	0,82	1,20
	Bomba Lamas Espessas 1	0,349	0,87	1,80	2,13
	Bomba Lamas Espessas 2	0,317	0,41	1,23	1,29
	Bomba Doseadora Poli 1	0,438	0,13	0,27	0,30
	Bomba Doseadora Poli 2	0,863	0,38	0,23	0,44
	Unidade de Mistura de Polímero	0,236	0,43	0,65	0,89
	Parafuso lamas	0,118	0,17	1,33	1,34
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1	-	-	-	-
	Bomba Doseadora NaOH 2	-	-	-	-
	Bomba Doseadora Coagulante 1	0,78*	0,12	0,09	0,15
	Bomba Doseadora Coagulante 2	0,78*	0,11	0,09	0,14
	Bomba Doseadora de Floculante 1	0,75*	0,02	0,02	0,02
	Bomba Doseadora de Floculante 2	0,75*	0,09	0,08	0,12
	Agitador Vertical Floculante	0,81*	0,34	0,24	0,41

* Fator de potência da chapa do motor

Os consumos obtidos têm um fator de potência médio de 0,658. No entanto os consumos da bomba de parafuso 1 do tanque de equalização de mistos, do sobrepessor 2 e de ambas as bombas doseadoras de hidróxido de sódio não puderam ser avaliados pois estes equipamentos estavam desativados.

B.4. Dados adicionais

Para efetuar os cálculos de consumos energéticos são necessários alguns dados adicionais, como tipo de abastecimento energético (BTN, BTE, MT ou AT), ciclo horário, horas e períodos de funcionamento de cada equipamento, caudais por equipamento ou etapa de tratamento, bem como as tarifas energéticas. No caso da empresa, a distribuidora energética é a ENDESA e a distribuição ocorre em média tensão. Na tabela B.20 encontram-se os dados da fatura de energia elétrica, da empresa Maçarico II, referente ao mês de Maio.

Tabela B.20 - Fatura da eletricidade referente ao mês de Maio, da distribuidora ENDESA [1].

	Consumo EA Fatura (kWh/mês)		Consumo ER Fatura (kVArh/mês)
HP	10963	Reativa fornecida no Vazio	748
HC	29796		
HV	6899		
HSV	3962		
Total	51620		

Após a análise das taxas aplicadas na fatura, o termo de energia variável está sujeito ao contrato da distribuidora com o cliente e varia. Já o termo de acesso à rede de energia é taxado e regulamentado pela ERSE, assim como o ciclo horário aplicável (tabelas B.21 e B22.).

Tabela B.21 - Ciclo semanal aplicado a todos os fornecimentos energéticos em Portugal Continental, decretado pela ERSE, para o ano 2019 [60].

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Tabela B.22 - Taxas aplicadas a distribuição em média tensão, decretado pela ERSE, para o ano de 2019 [61].

TARIFA DE ACESSO ÀS REDES EM MT		PREÇOS	
Potência		(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia) *
	Horas de ponta	5,928	0,1949
	Contratada	0,984	0,0324
Energia ativa		(EUR/kWh)	
Períodos I, IV	Horas de ponta	0,0499	
	Horas cheias	0,0387	
	Horas de vazio normal	0,0143	
	Horas de super vazio	0,0136	
Períodos II, III	Horas de ponta	0,0496	
	Horas cheias	0,0384	
	Horas de vazio normal	0,0142	
	Horas de super vazio	0,0137	
Energia reativa		(EUR/kvarh)	
	Indutiva	0,0248	
	Capacitiva	0,0187	

* RRC art. 119.º, n.º 6

Com as taxas do termo de energia variável e com as taxas regulamentadas para a distribuição em média tensão, construiu-se a tabela B.23 como resumo.

Tabela B.23 - Resumo de tarifas aplicadas para a distribuição em média tensão, pela distribuidora energética ENDESA, com as taxas de acesso à rede para o período de hora legal de Verão.

Tarifas em Média Tensão (MT)			
Potência	HP	5,928	€/kW.mês
		0,1949	€/kW.dia
	Contratada	0,984	€/kW.mês
		0,0324	€/kW.dia
Energia Ativa	Termo de Energia Variável		
	HP	0,072883	€/kWh
	HC	0,069945	
	HV	0,062401	
	HSV	0,055235	
	Termo de Energia ATR		
	HP	0,0496	€/kWh
	HC	0,0384	
	HV	0,0142	
	HSV	0,0137	
Energia Reativa	Indutiva	0,0248	€/kvarh
	Capacitiva	0,0187	

De acordo com os dados fornecidos pelo controlador automático do equipamento foi possível obter valores médios de horas de funcionamento (tabela B.24).

Tabela B.24 - Valores médios de horas de funcionamento por equipamento e horas de funcionamento por período horário.

Localização	Equipamento	Horas de Funcionamento/Dia (h)	Horas de Ponta (HP)	Horas Cheias (HC)	Horas de Vazio Normal (HV)	Horas de Super Vazio (HSV)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	7	3	4		
	Bomba submersível 2	9	3	7		
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	5	3	2		
	Bomba submersível 2	8	3	5		
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	24	3	14	3	4
	Bomba Parafuso Concentrados 1	4	3	1		
	Bomba Parafuso Concentrados 2	3	3			
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	24	3	14	3	4
	Agitador Submersível Mistos 2	24	3	14	3	4
	Bomba Parafuso Mistos 1	7	3	4		
	Bomba Parafuso Mistos 2	4	3	1		
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	8	3	5		
	Raspador	8	3	5		
	Compressor	3	3			
Reactor Biológico	Sobrepessor 1	2	2			
	Sobrepessor 2	1	1			

Tabela B.24 (continuação) - Valores médios de horas de funcionamento por equipamento e horas de funcionamento por período horário.

Localização	Equipamento	Horas de Funcionamento/Dia (h)	Horas de Ponta (HP)	Horas Cheias (HC)	Horas de Vazio Normal (HV)	Horas de Super Vazio (HSV)
Tratamento de Lamas	Centrifuga	2	2			
	Compressor de Canal Lateral	1	1			
	Bomba Lamas Espessas 1	1	1			
	Bomba Lamas Espessas 2	0,2	0,2			
	Bomba Doseadora Poli 1	1	1			
	Bomba Doseadora Poli 2	0,2	0,2			
	Unidade de Mistura de Polímero	1	1			
	Parafuso lamas	2	2			
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1	2	2			
	Bomba Doseadora NaOH 2	1	1			
	Bomba Doseadora Coagulante 1	2	2			
	Bomba Doseadora Coagulante 2	2	1			
	Bomba Doseadora de Flocculante 1	2	2			
	Bomba Doseadora de Flocculante 2	3	1			
	Agitador Vertical Flocculante	24	3	14	3	4

Devido a dificuldades e erros na contabilização de horas de funcionamento dos equipamentos por parte do autómato, as horas de funcionamento respeitantes às bombas doseadoras de hidróxido de sódio, aos agitadores submersíveis e vertical, aos sobrepressores, à bomba de recirculação, ao raspador, à centrífuga e ao parafuso de lamelas foram estimadas.

Isto é, sabe-se que as bombas doseadoras de hidróxido de sódio trabalham consoante o pH do efluente, se contabilizarmos dois momentos de maior afluência diária de efluente na ETAR, esta trabalha cerca de uma a duas horas/dia.

Os agitadores submersíveis cessam funções se o nível nos tanques de equalização for inferior a 20% o que não aconteceu durante as medições efetuadas. A média diária retirada dos registos oscilou entre 21 a 24 horas/dia de janeiro a julho. Assim considerou-se 24 horas de trabalho diário.

Os sobrepressores trabalham cerca de 1 hora diária alternadamente. Estes equipamentos apenas entram em funcionamento se existir necessidade de oxigenar o efluente no reator biológico. No mês de Julho o sobrepressor 1 começou a funcionar cerca de 2 horas/dia enquanto que o sobrepressor 2 não foi utilizado.

Já a bomba de recirculação e o raspador trabalham em simultâneo e só iniciam ou cessam funções se os operários as ligarem manualmente, pelo que, foram consideradas as 8 horas de trabalho diário.

No caso da centrífuga como o horário de funcionamento oscilava entre 5 horas/dia, 1 hora por semana ou 1 hora em duas semanas, tendo em conta o uso futuro considerou-se que esta funcionaria 2 horas por dia e o parafuso de lamelas que funciona em simultâneo com esta, trabalharia também as mesmas duas horas diárias.

Os caudalímetros permitiram obter o caudal por etapa de tratamento, bem como o caudal de efluente tratado por dia (tabela B.25)

Tabela B.25 - Caudais por etapa de tratamento e caudal tratado diariamente.

Etapa de tratamento	Caudal de Entrada (m³/dia)
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	183,40
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	106,38
Flotação por Ar Dissolvido	87,16
Reator Biológico	84,32
Tratamento de Lamas	9,86
Efluente Total Tratado (m³/dia)	123,60

B.5. Cálculos dos Custos de Energia

Para o cálculo dos custos de energia é necessário saber o consumo em kWh e kVARh de cada equipamento, em base diária e mensal. Estes valores são obtidos pela multiplicação do consumo em kW e kVA pelo número de horas de funcionamento diário de cada equipamento, em cada período horário (anexo B.4, tabela B.24).

Os resultados obtidos para a energia ativa e energia reativa encontram-se nas tabelas B.26 e B.27, respetivamente.

Tabela B.26 - Consumos diários e mensais de energia ATIVA em kWh, relativos ao mês de JULHO, para o período horário legal de Verão.

Localização	Equipamento	Energia Ativa Total (kW)	Consumo diário em kWh				Consumo mensal em kWh			
			HP	HC	HV	HSV	HP	HC	HV	HSV
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	1,81	5,44	7,25			119,63	159,50		
	Bomba submersível 2	0,31	0,93	2,17			20,46	47,74		
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	1,57	4,71	3,14			103,62	69,08		
	Bomba submersível 2	0,61	1,83	3,05			40,26	67,10		
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	0,96	2,87	13,39	2,87	3,83	88,97	415,19	88,97	118,63
	Bomba Parafuso Concentrados 1	0,63	1,89	0,63			41,58	13,86		
	Bomba Parafuso Concentrados 2	1,35	4,04				88,77			
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	1,41	4,22	19,69	4,22	5,63	130,82	610,49	130,82	174,43
	Agitador Submersível Mistos 2	1,96	5,88	27,44	5,88	7,84	182,28	850,64	182,28	243,04
	Bomba Parafuso Mistos 1									
	Bomba Parafuso Mistos 2	0,38	1,13	0,38			24,84	8,28		
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	8,31	24,92	41,54			548,30	913,83		
	Raspador	0,26	0,77	1,28			16,89	28,15		
	Compressor	1,41	4,24				93,38			
Reactor Biológico	Sobrepessor 1	26,81	53,61				1179,42			
	Sobrepessor 2									

Tabela B.26 (continuação) - Consumos diários e mensais de energia ATIVA em kWh, relativos ao mês de JULHO, para o período horário legal de Verão.

Localização	Equipamento	Energia Ativa Total (kW)	Consumo diário em kWh				Consumo mensal em kWh			
			HP	HC	HV	HSV	HP	HC	HV	HSV
Tratamento de Lamas	Centrifuga	4,09	8,17				179,81			
	Compressor de Canal Lateral	0,87	0,87				19,21			
	Bomba Lamas Espessas 1	0,87	0,87				19,03			
	Bomba Lamas Espessas 2	0,41	0,08				1,80			
	Bomba Doseadora Polímero 1	0,13	0,13				2,86			
	Bomba Doseadora Polímero 2	0,38	0,08				1,67			
	Unidade de Mistura do Polímero	0,43	0,43				9,46			
Parafuso lamas	0,17	0,34				7,48				
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1									
	Bomba Doseadora NaOH 2									
	Bomba Doseadora Coagulante 1	0,12	0,24				5,18			
	Bomba Doseadora Coagulante 2	0,11	0,11				2,36			
	Bomba Doseadora de Flocculante 1	0,02	0,03				0,77			
	Bomba Doseadora de Flocculante 2	0,09	0,09				1,91			
	Agitador Vertical Flocculante	0,34	1,01	4,70	1,01	1,34	31,22	145,69	31,22	41,62

Tabela B.27 - Consumos diários e mensais de energia REATIVA em kVArh, relativos ao mês de JULHO, para o período horário legal de Verão.

Localização	Equipamento	Energia Reativa Total (kVAr)	Consumo diário em kVArh				Consumo mensal em kVArh			
			HP	HC	HV	HSV	HP	HC	HV	HSV
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	2,13	6,39	8,52			140,58	187,44		
	Bomba submersível 2	2,48	7,43	17,33			163,35	381,15		
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	2,24	6,71	4,47			147,51	98,34		
	Bomba submersível 2	0,85	2,55	4,25			56,10	93,50		
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	1,38	4,14	19,32	4,14	5,52	128,34	598,92	128,34	171,12
	Bomba Parafuso Concentrados 1	0,48	1,44	0,48			31,68	10,56		
	Bomba Parafuso Concentrados 2	0,71	2,12				46,53			
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	0,97	2,90	13,53	2,90	3,87	89,90	419,53	89,90	119,87
	Agitador Submersível Mistos 2	1,37	4,10	19,11	4,10	5,46	126,95	592,41	126,95	169,26
	Bomba Parafuso Mistos 1									
	Bomba Parafuso Mistos 2	1,59	4,78	1,59			105,14	35,05		
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	4,66	13,99	23,31			307,73	512,88		
	Raspador	0,33	1,00	1,66			21,94	36,57		
	Compressor	0,51	1,54				33,89			
Reator Biológico	Sobrepessor 1	17,92	35,84				788,37			
	Sobrepessor 2									

Tabela B.27 (continuação) - Consumos diários e mensais de energia REATIVA em kVArh, relativos ao mês de JULHO, para o período horário legal de Verão.

Localização	Equipamento	Energia Reativa Total (kVAr)	Consumo diário em kVArh				Consumo mensal em kVArh			
			HP	HC	HV	HSV	HP	HC	HV	HSV
Tratamento de Lamas	Centrifuga	0,70	1,40				30,80			
	Compressor de Canal Lateral	0,82	0,82				18,04			
	Bomba Lamas Espessas 1	1,80	1,80				39,49			
	Bomba Lamas Espessas 2	1,23	0,25				5,41			
	Bomba Doseadora Polímero 1	0,27	0,27				5,83			
	Bomba Doseadora Polímero 2	0,23	0,05				1,01			
	Unidade de Mistura do Polímero	0,65	0,65				14,23			
	Parafuso lamas	1,33	2,66				58,52			
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1		-							
	Bomba Doseadora NaOH 2		-							
	Bomba Doseadora Coagulante 1	0,09	0,19				4,15			
	Bomba Doseadora Coagulante 2	0,09	0,09				1,89			
	Bomba Doseadora de Floculante 1	0,02	0,03				0,68			
	Bomba Doseadora de Floculante 2	0,08	0,08				1,69			
	Agitador Vertical Floculante	0,24	0,73	3,40	0,73	0,97	22,60	105,47	22,60	30,14

Na tabela B.28 encontram-se os valores totais consumidos diários e mensais de energia ativa e energia reativa.

Tabela B.28 - Valores totais de consumos diários e mensais em kWh e kVArh.

		Dia	Mês
Energia Ativa	HP	128,92	2961,98
	HC	124,66	3329,55
	HV	13,98	433,29
	HSV	18,64	577,72
	Total (kWh)	286,19	7302,53
Energia Reativa	Total (kVArh)	248,55	5464,16
	Fora do Vazio (kVArh)	220,87	5243,29
	No Vazio (kVArh)	27,68	858,17

Uma vez determinados os consumos totais diários e mensais, é necessário calcular os custos diários e mensais no período de hora legal de verão. Para os cálculos dos custos apenas foram considerados os resultados de medição do mês de Julho uma vez que foi possível determinar o fator de potência instantâneo de cada equipamento e assim fazer uma avaliação do funcionamento do equipamento, obtendo também consumos mais exatos e não por estimativa com recurso ao fator de potência descrito na chapa do motor elétrico.

Todos os cálculos foram feitos por excesso, tendo-se considerado que:

- A fabrica labora de segunda a sexta das 8:30h às 12:30h e das 13:30h às 17:30h;
- Todos os equipamentos que trabalhavam menos de 24h dia, laboravam 22 dias por mês e os que efetuavam trabalho 24 horas diárias laboravam 31 dias por mês;
- Aos equipamentos que trabalhavam mais do que as 8h laborais diárias aplicou-se a taxa para o período horário com tarifa mais elevada.

Para o cálculo dos custos são necessárias as tarifas de acesso à rede energética no período de hora legal de verão e as tarifas de energia variável (anexo B.4, tabela B.24), o tipo de energia reativa cobrada e os consumos diários e mensais. Os valores dos consumos em kWh e kVAr, encontram-se nas tabelas B.26 e B.27.

Com os consumos representado na tabela B.26, respeitante ao valor da energia ativa e na tabela B.27 para a energia reativa, segue o exemplo de cálculo para os custos diários, relativos à energia ativa no período de hora de ponta.

Segue-se o cálculo do consumo em hora de ponta, 128,92 kWh por dia no período de hora legal de verão, para o termo de energia variável, com a taxa aplicada de 0,072883 €/kWh.

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= \text{Consumo total do período horário (kWh)} \times \text{Taxa} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \text{Custo} &= 128,92 \text{ kWh} \times 0,072883 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 9,40\text{€} \end{aligned}$$

Para os restantes períodos horários, tanto para o termo de energia variável como para o termo de acesso à rede, os custos foram calculados de forma análoga.

Exemplo de cálculo para o período de hora legal de verão da energia reativa fornecida no vazio,

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= \text{Consumo total do período HV e HSV (kVAh)} \times \text{Taxa} \left(\frac{\text{€}}{\text{kVAh}} \right) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \text{Custo} &= (11,86 + 15,82) \text{ kVAh} \times 0,0187 \frac{\text{€}}{\text{kVAh}} = 0,52 \text{ €} \end{aligned}$$

Por análise da fatura de energia elétrica verificou-se que a energia reativa é cobrada como energia reativa capacitiva, ou seja, é fornecida no período de vazio, o que engloba os períodos HV e HSV. Pelo que para determinar o custo de energia reativa somou-se os consumos diários e mensais e multiplicou-se pela taxa aplicada. Os consumos diários e mensais de energia reativa para cada período horário encontram-se na tabela B.27.

O custo da energia reativa fornecida fora do vazio é de 4,13 € por dia. Para obter os custos mensais procedeu-se da mesma forma.

Os valores obtidos para a energia ativa nos termos de energia variável e de acesso à rede, bem como a energia reativa, encontram-se na tabela B.29.

Tabela B.29 - Custos diários e mensais de energia ativa e energia reativa capacitiva fornecida no período de vazio, no período horário legal de Verão.

Custos diários			Custos mensais		
Tarifas em MT			Tarifas em MT		
Energia Ativa	Termo de Energia Variável		Energia Ativa	Termo de Energia Variável	
	HP	9,40		HP	206,71
	HC	8,72		HC	191,83
	HV	0,87		HV	19,19
	HSV	1,03		HSV	22,65
	Termo de Energia ATR			Termo de Energia ATR	
	HP	6,39		HP	146,91
	HC	4,79		HC	127,85
	HV	0,20		HV	6,15
	HSV	0,26		HSV	7,91
Energia Reativa	Fornecida no vazio	0,52	Energia Reativa	Fornecida no vazio	16,05

Os custos totais diários e mensais para a energia ativa resultaram da soma de cada período horário para os diferentes termos. Já o valor da energia reativa permanece o mesmo.

Tabela B.30 - Resumo de consumos e custos, diários e mensais.

	Dia	Mês
Custo Total (€)	36,3	914,8
Custo Energia Ativa (€)	31,7	796,5
Custo Energia Ativa + Energia Reativa Capacitiva (€)	32,2	812,6
Caudal (m ³)	123,6	-
Custo Específico (€/m ³)	0,26	-
Consumo (kWh)	286,2	7302,5
Consumo Específico (kWh/m ³)	2,3	-

Com vista a determinar o custo de energia ativa por equipamento e por etapa de tratamento, elaborou-se a tabela B.31, em que o custo é determinado pela soma da multiplicação dos consumos por período horário (em kWh) pelas taxas que lhe são aplicadas (termo de energia variável e termo de acesso à rede).

Tabela B.31 - Custo mensal de cada equipamento e de cada etapa de tratamento.

Localização	Equipamento	Custo mensal em €				Custo mensal por etapa de tratamento (€)
		HP	HC	HV	HSV	
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	Bomba submersível 1	14,65	17,28			39,61
	Bomba submersível 2	2,51	5,17			
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	Bomba submersível 1	12,69	7,48			32,38
	Bomba submersível 2	4,93	7,27			
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	Agitador Submersível Concentrados	10,90	44,98	6,82	8,18	88,34
	Bomba Parafuso Concentrados 1	5,09	1,50			
	Bomba Parafuso Concentrados 2	10,87				
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	Agitador Submersível Mistos 1	16,02	66,14	10,02	12,02	253,36
	Agitador Submersível Mistos 2	22,33	92,16	13,96	16,75	
	Bomba Parafuso Mistos 1	-				
	Bomba Parafuso Mistos 2	3,04	0,90			
Flotação por Ar Dissolvido	Bomba de Recirculação	67,16	99,01			182,72
	Raspador	2,07	3,05			
	Compressor	11,44				
Reator Biológico	Sobrepessor 1	144,46				144,46
	Sobrepessor 2	-				
Tratamento de Lamas	Centrifugar	22,02				29,56
	Compressor de Canal Lateral	2,35				
	Bomba Lamas Espessas 1	2,33				
	Bomba Lamas Espessas 2	0,22				
	Bomba Doseadora Polímero 1	0,35				
	Bomba Doseadora Polímero 2	0,20				
	Unidade de Mistura do Polímero	1,16				
	Parafuso lamas	0,92				
Reagentes	Bomba Doseadora NaOH 1	-				26,12
	Bomba Doseadora NaOH 2	-				
	Bomba Doseadora Coagulante 1	0,63				
	Bomba Doseadora Coagulante 2	0,29				
	Bomba Doseadora de Flocculante 1	0,09				
	Bomba Doseadora de Flocculante 2	0,23				
	Agitador Vertical Flocculante	3,82	15,78	2,39	2,87	

Os custos mensais por equipamento são necessários para determinar qual a etapa de tratamento que tem o maior custo. Na tabela B.32 apresentam-se os custos de energia ativa por cada etapa de tratamento e custo total. Este custo total pode ser calculado por duas formas: pela soma dos custos de todos os equipamentos ou pelo custo total mensal da energia ativa (ver tabela B.30).

Tabela B.32 - Resumo de custos por etapa de tratamento e custos totais.

	Custo mensal (€)
Estação Elevatória de Efluentes Concentrados	39,61
Estação Elevatória de Efluentes Mistos	32,38
Tanque de Equalização de Efluentes Concentrados	88,34
Tanque de Equalização de Efluentes Mistos	253,36
Flotação por Ar Dissolvido	182,72
Reator Biológico	144,46
Tratamento de Lamas	29,56
Reagentes	26,12
Total (soma do custo de todos os equipamentos)	796,55

B.6. Auxiliares Para a Optimização da Eficiência Energética

Para o dimensionamento da bateria de condensadores foi necessário recorrer a uma tabela de coeficientes de potência, em que é dado o coeficiente em função dos fatores de potencia inicial e o pretendido (tabela B.33).

Tabela B.33 - Seleção do coeficiente de potência de uma bateria de condensadores [62].

Valores iniciais da instalação		Valores pretendidos na instalação								
tg φ	cos φ	tg φ	0,39	0,36	0,32	0,29	0,25	0,20	0,14	0,00
tg φ	cos φ	cos φ	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40	1,896	1,928	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291	
1,98	0,45	1,589	1,622	1,656	1,693	1,734	1,781	1,842	1,985	
1,73	0,50	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732	
1,52	0,55	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518	
1,33	0,60	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333	
1,17	0,65	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169	
1,02	0,70	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020	
0,88	0,75	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882	
0,75	0,80	0,355	0,387	0,421	0,458	0,449	0,547	0,608	0,750	
0,62	0,85	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620	
0,48	0,90	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484	

Na figura B.1 encontra-se um esquema auxiliar para a escolha do tipo de compensação da bateria de condensadores.

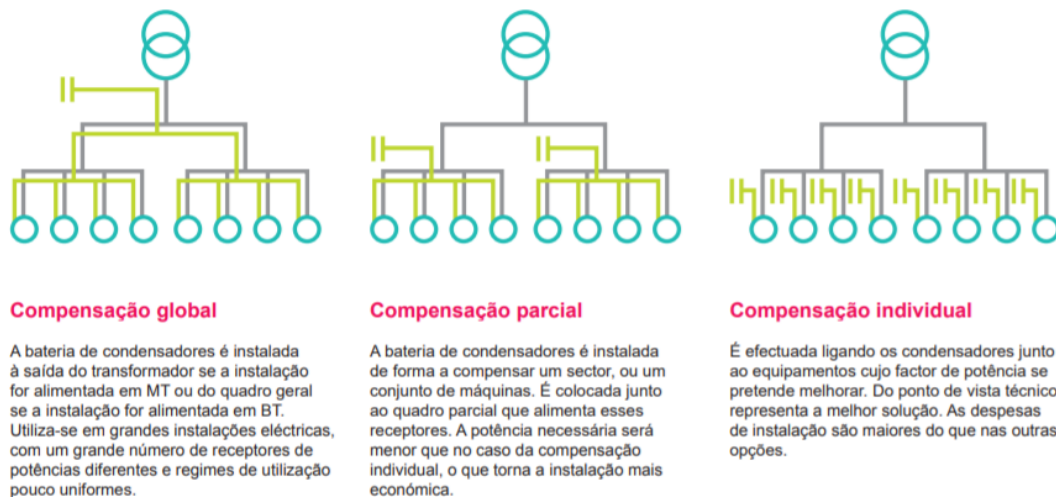


Figura B.1 - Esquema auxiliar na escolha do tipo de compensação [62].

C. Glossário

Transesterificação - O processo químico no qual um álcool reage com os triglicéridos no óleo vegetal ou nas gorduras animais, de modo a separar a glicerina e produzir biodiesel.

Nutracêuticos - Produtos naturais formados por diversos componentes, que proporcionam benefícios específicos para a saúde.

Corrente contínua constante - conhecida por corrente contínua (CC, em Português, ou DC em Inglês), o fluxo de elétrons dá-se apenas num sentido; obtém-se a partir de pilhas, baterias, dínamos, fontes de tensão e retificação de corrente alternada [51].

Corrente descontínua periódica sinusoidal - conhecida por corrente alternada (CA, em Português, ou AC em Inglês), o fluxo de elétrons dá-se nos dois sentidos; varia sempre da mesma forma repetindo-se ao longo do tempo, tem variação sinusoidal e é obtida a partir de alternadores e geradores de sinal [51].

Tensões simples - Tensão entre cada condutor de fase e o neutro. Nas redes de distribuição de baixa tensão é aproximadamente de 230 V [51].

Tensões compostas - Tensão entre dois condutores de fase. Nas redes de distribuição de baixa tensão é aproximadamente de 400-430 V. Nas redes de transporte de alta e média tensões, apenas se indica o valor das tensões compostas. Assim, quando é indicado que uma linha tem tensões de 220 kV ou 30 kV, são os valores eficazes de tensões compostas [51].

Corrente de linha - Corrente entre duas fases [51].

Corrente de fase - Corrente entre o gerador e a fase [51].

Impedância - Pode ser indutiva ou capacitiva e manifesta-se como o somatório de todos os opostos à passagem de corrente num circuito [51].

Tensão elétrica - Diferença de potencial entre dois pontos, geralmente simbolizada pelas letras V, U ou E, cuja unidade de medida é o Volt (V) [63].

Corrente elétrica - Movimentação de elétrons ordenada no sentido contrário ao campo elétrico, sendo a intensidade da corrente elétrica simbolizada por i ou I e a unidade de medida é o Ampère (A) [63].

Frequência - Corresponde ao número de ciclos do sinal alternado que ocorrem a cada segundo, apresentada em Hertz (Hz). Em Portugal a frequência adotada é de 50 Hz [64].

Circuito indutivo - No instante inicial ($t = 0$), o indutor está totalmente sem energia, logo a corrente elétrica é zero (nula) e toda a tensão do gerador está aplicada nele. Nos instantes seguintes, a ação da corrente elétrica sobre o indutor (campo magnético) dá origem a uma defasagem de 90° entre a tensão e a corrente, ou seja, a corrente está atrasada em relação à tensão, mantendo-se assim enquanto o circuito estiver ligado [64].

Circuito capacitivo - Quando se liga o circuito, o capacitor está totalmente descarregado: a sua tensão é zero (nula) e a corrente elétrica é máxima. Isso significa que há um desfasamento de 90° entre a tensão e a corrente, ou seja, a corrente está adiantada em relação à tensão, mantendo-se assim enquanto o circuito estiver ligado. Quando a tensão sobre o capacitor for nula, a corrente será máxima e vice-versa [64].