



## DISSERTAÇÃO

Otimização Energética do Sistema de  
Refrigeração da máquina de impregnar  
*ZELL*

INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM OTIMIZAÇÃO  
ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA  
QUÍMICA

Aluna: Joana Maia

Orientadora no ISEP: Prof.<sup>a</sup>  
Anabela Guedes

Coorientadora no ISEP: Prof.<sup>a</sup> Paula  
Neto

Orientador Cofely na C-ITA: Eng.  
Pedro Serrano



## Agradecimentos

Quero agradecer às minhas orientadoras no ISEP, Prof.<sup>a</sup> Anabela Guedes e Prof.<sup>a</sup> Paula Neto pela disponibilidade, paciência e pelo apoio prestado.

Ao Eng.<sup>o</sup> Joaquim Rocha por me ter recebido na C-ITA com este projeto curricular e pelas ideias que me foi sugerindo.

Quero também agradecer ao Eng.<sup>o</sup> Pedro Serrano, da COFELY, por me ter proporcionado boas condições de trabalho e por ter orientado o meu trabalho na C-ITA.

Gostaria de agradecer especialmente ao Eng.<sup>o</sup> Miguel Sá pela amabilidade, ajuda e preocupação e a toda a equipa da COFELY que se encontra na C-ITA pela simpatia e companheirismo.

Gostaria de agradecer ao Romeu, ao Sr. Araújo da manutenção e ao Sr. Rodrigo que me ajudaram sem hesitar em todas as tarefas para as quais necessitei de auxílio.

Do mesmo modo quero agradecer ao Rafael Castro que colocou ao meu dispor toda a informação acerca da máquina *ZELL*.

Um grande agradecimento ao Sr. Jorge Couto pela tremenda simpatia e por me disponibilizar a programação semanal da produção na *ZELL*.

Um agradecimento muito especial às minhas colegas e amigas Rute Pacheco e Ana Martins que foram fundamentais na minha integração e me ajudaram sempre que precisei, não esquecendo do Hélder Ribeiro e do Miguel Ângelo que tornavam as horas de almoço ainda mais animadas.

Não posso deixar de agradecer a todos os meus colegas e amigos, pelo apoio nesta etapa e por todos os momentos que partilhámos nos últimos anos. Obrigada!

Devo também um grande agradecimento ao Álvaro por todo o incentivo, paciência, suporte e ajuda e, por estar sempre do meu lado.

Por fim, quero agradecer à minha família, em especial aos meus pais, que me deram a oportunidade de frequentar este mestrado e por todo o apoio ao longo da minha vida académica.



## Resumo

Esta dissertação teve como objetivo fundamental a otimização energética do sistema de refrigeração da máquina de impregnar tela *ZELL* e, como objetivo adicional, a avaliação da qualidade da água do circuito, justificada pela acentuada degradação dos rolos devido à corrosão provocada pela recirculação da água de arrefecimento.

Inicialmente fez-se o levantamento de informações do processo produtivo para caracterizar o funcionamento do sistema de refrigeração, tendo-se selecionado duas telas de poliéster designadas neste estudo por P1 e P2 e, também, uma tela de *nylon* designada por N.

Foram efetuados ensaios, um para cada tela, para a atual temperatura de *setpoint* da água à saída da torre de arrefecimento (30°C). Realizou-se outro ensaio para a tela N mas com uma temperatura de *setpoint* de 37°C, ao qual se chamou N37. Deste modo, determinou-se as potências térmicas removidas pela água de refrigeração e as potências térmicas perdidas por radiação e por convecção, tendo-se verificado que na generalidade dos rolos as referências P1 e P2 apresentam valores mais elevados. Em termos percentuais, a potência térmica removida pela água de refrigeração nos grupos tratores 1 e 3 e no conjunto de rolos de R1 a R29 corresponde a 48%, 10% e 70%, respetivamente.

Com a avaliação às necessidades de arrefecimento da máquina *ZELL*, confirmou-se que os caudais atuais de refrigeração dos rolos garantem condições, mais que suficientes, de funcionamento dos rolamentos. Assim sendo, fez-se uma análise no sentido da diminuição do caudal total que passou de 10,25 L/s para 7,65 L/s. Considerando esta redução, determinou-se o caudal de ar húmido a ser introduzido na torre de arrefecimento. O valor determinado foi de 4,6 m<sup>3</sup><sub>ar húmido</sub>/s, o que corresponde a uma redução de cerca de 32% em relação ao caudal atual que é de 6,8 m<sup>3</sup><sub>ar húmido</sub>/s.

Com os resultados das análises efetuadas à água do circuito de refrigeração, concluiu-se que a água de reposição e a água de recirculação possuem má qualidade para uso na generalidade dos sistemas de refrigeração, principalmente devido aos elevados valores de concentração de ferro e condutividade elétrica, responsáveis pela intensificação da corrosão no interior dos rolos.

Palavras-chave: Otimização energética, Torre de arrefecimento, Corrosão



## Abstract

This dissertation had as the main objective the energy optimization of the cooling system of the cord fabric impregnating machine ZELL and, as an additional objective, the water in the circuit quality evaluation because of the sharp deterioration of the rolls due to corrosion caused by the water recirculation cooling.

Initially it was collected information of the production process to characterize how the refrigeration system works, having two cord fabrics of polyester selected in this study designated as P1 and P2, and also a nylon cord fabric designated by N.

Tests were made, one for each cord fabric, for the current setpoint temperature of the water at the exit of the cooling tower (30°C). Another test was performed to the N cord fabric but with a setpoint temperature of 37°C, which was named N37. Thus, it was determined the heat lost by the cooling water and the heats lost by radiation and convection, where it was found that in most of the rolls the references P1 and P2 have the highest heat load. In percentage terms, the heat removed by the cooling water in the tractor groups 1 and 3 and in the rolls between R1 and R29 corresponds to 48%, 10% and 70%, respectively.

By evaluating the cooling requirements of the impregnation machine ZELL, it was confirmed that the current cooling flow of the rolls ensure more than enough operation conditions for the bearings. Therefore, an analysis was made towards the reduction of the total flow from 10,25 L/s to 7,65 L/s. Considering this reduction, it was determined the moist air flow being introduced into the cooling tower. The determined value was 4,6 m<sup>3</sup> moist air/s, which corresponds to a reduction of 32% compared to the current flow that is 6,8 m<sup>3</sup> moist air/s.

With the results of the analysis performed with the water of the cooling circuit, it was concluded that the replenishment and recirculation waters have poor quality to be used in most refrigeration systems, mainly due to the high values of iron concentration and electrical conductivity, which are responsible for the intensification of the corrosion inside of the rolls.

Keywords: Energy Optimization, Cooling Tower, Corrosion



## Índice

1. Introdução .....	1
1.1. A Indústria Têxtil do Ave, S.A.....	1
1.2. Cofely, GDF SUEZ.....	4
1.3. Processo de Fabrico das Telas e dos Cabos .....	6
1.3.1. Torcedura.....	6
1.3.2. Tecelagem .....	8
1.3.3. Impregnação .....	9
1.4. Objetivos da Dissertação .....	10
1.5. Organização da Dissertação .....	11
2. A Máquina de Impregnação <i>ZELL</i> .....	13
2.1. Caracterização da Máquina <i>ZELL</i> .....	13
2.2. Sistema de Refrigeração da <i>ZELL</i> .....	17
2.2.1. Arrefecimento dos rolos .....	18
2.2.2. Torre de arrefecimento evaporativa.....	22
2.2.3. Tratamento da água de arrefecimento .....	24
3. Otimização Energética do Sistema de Refrigeração da <i>ZELL</i> .....	27
3.1. Dados Experimentais .....	27
3.1.1. Temperaturas médias da água de refrigeração e características do ar .....	30
3.1.2. Temperaturas médias das chumaceiras.....	39
3.1.3. Consumos médios de água de reposição.....	43
3.1.4. Consumos médios de energia elétrica associados ao circuito de refrigeração	43

3.1.5.	Caudais volumétricos .....	44
3.2.	Perdas Térmicas .....	45
3.2.1.	Potência térmica removida pela água de arrefecimento .....	46
3.2.2.	Potência térmica de radiação .....	50
3.2.3.	Potência térmica de convecção .....	53
3.2.4.	Avaliação da importância dos mecanismos térmicos .....	56
3.3.	Avaliação das Necessidades de Arrefecimento .....	58
3.4.	Avaliação da Torre de Arrefecimento .....	60
3.4.1.	Determinação do caudal de ar .....	61
3.4.2.	Determinação do parâmetro $k_{ya}$ .....	64
3.4.3.	Determinação do novo caudal de ar .....	66
4.	Água do Sistema de Refrigeração .....	69
4.1.	Análise físico-química e bacteriológica da água .....	70
4.2.	Avaliação da qualidade da água .....	73
5.	Conclusões e Sugestões de Trabalho Futuro .....	75
	Referências Bibliográficas .....	77
	Anexos .....	79
A.	Informações da Torre de Arrefecimento Uniclimate .....	81
B.	Dados Fornecidos .....	84
B.1	Produção de tela impregnada em 2013 .....	84
C.	Dados Recolhidos .....	85
C.1	Temperaturas da água de refrigeração e características do ar .....	85
C.2	Temperatura das chumaceiras .....	90

C.3	Consumos de água de reposição .....	92
C.4	Consumos de energia elétrica associados ao circuito de refrigeração .....	93
D.	Exemplos de Cálculo .....	94
D.1	Determinação da potência removida pela água de arrefecimento .....	94
D.2	Determinação da potência de radiação .....	94
D.3	Determinação da potência de convecção .....	95
E.	Propriedades Física do Ar .....	98
F.	Carta Psicométrica .....	99
G.	Carta de Stevens .....	100
H.	Parâmetros Indicativos da Qualidade da Água em Sistemas de Refrigeração .....	101
I.	Boletins de Análise da Água .....	103
I.1	Análise físico-química da água do poço antes e após o descalcificador .....	103
I.2	Análise bacteriológica da água do poço antes e após o descalcificador .....	105
I.3	Análise físico-química e bacteriológica da água de recirculação no sistema .....	107



## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Indústria Têxtil do Ave, S.A. (C-ITA) [3].....	4
Figura 1.2 - Esquema de fabrico de tela e cabos impregnados .....	7
Figura 1.3 - (a) Torção de 3 fios x3, (b) Torção de 2 cordas a partir de 4 fios x2x2 [6] .....	8
Figura 1.4 - Sentido de torção da corda têxtil [7] .....	8
Figura 1.5 - Tear SULZER e respetivo carro esquinadeira .....	9
Figura 2.1 - Esquema representativo da máquina ZELL.....	15
Figura 2.2 - Esquema representativo da máquina ZELL e do sistema de refrigeração .....	19
Figura 2.3 - Rolos R17 e R18 (topo da estufa 5) .....	21
Figura 2.4 - Esquema de configuração dos rolos com uma única passagem .....	22
Figura 2.5 - Esquema de configuração dos rolos com uma passagem no tubo e uma passagem na carcaça (rolos dos grupos tratores) .....	22
Figura 2.6 - Constituição esquemática da torre de arrefecimento.....	23
Figura 2.7 - Torre de arrefecimento Uniclíma .....	24
Figura 3.1 - Percentagem de metros produzidos de cada referência no ano de 2013 .....	28
Figura 3.2 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 1 para a referência P1 e P2.....	32
Figura 3.3 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 3 para a referência P1 e P2.....	33
Figura 3.4 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos R1 a R29 para as referências P1 e P2.....	34
Figura 3.5 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos R1 a R29 para as referências N e N37 .....	35

Figura 3.6 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 1 para a referência N e N37 .....	36
Figura 3.7 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 3 para a referência N.....	37
Figura 3.8 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de entrada de água para as referências P1, P2 e N.....	40
Figura 3.9 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de saída de água para as referências P1, P2 e N.....	41
Figura 3.10 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de entrada e saída de água no grupo trator 1 .....	42
Figura 3.11 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de entrada e saída de água no grupo trator 3.....	42
Figura 3.12 - Esquema dos mecanismos térmicos de dissipação de calor pela tela.....	46
Figura 3.13 - Potência removida pela água no grupo trator 1 .....	47
Figura 3.14 - Potência removida pela água no grupo trator 3 .....	47
Figura 3.15 - Potência removida pela água nos rolos R1 a R29 .....	49
Figura 3.16 - Potência perdida por radiação pela tela nos grupos tratores 1 e 3 .....	51
Figura 3.17 - Potência perdida por convecção pela tela nos grupos tratores 1 e 3.....	55
Figura 3.18 - Percentagem de potência média perdida no grupo trator 1 .....	57
Figura 3.19 - Percentagem de potência média perdida no grupo trator 3 .....	57
Figura 3.20 - Percentagem de potência média perdida nos rolos de R1 a R29 .....	58
Figura 3.21 - Representação esquemática da torre de arrefecimento e das condições de funcionamento.....	62
Figura 3.22 - Diagrama da força impulsora na torre de arrefecimento [8] .....	65
Figura F.1 - Carta psicométrica para mistura ar-água à pressão atmosférica, 101,325 kPa [16] .....	99

Figura G.1 - Carta de Stevens para determinação do fator  $f$  [13].....100



## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Condições de impregnação para as referências selecionadas .....	29
Tabela 3.2 - Temperaturas médias da água à entrada dos rolos.....	31
Tabela 3.3 - Temperaturas médias da água à entrada da torre de arrefecimento.....	31
Tabela 3.4 - Temperaturas ambientes médias e humidades relativas médias na envolvente exterior ao edifício da máquina ZELL .....	38
Tabela 3.5 - Temperaturas ambientes médias na envolvente interior do edifício da máquina ZELL .....	38
Tabela 3.6 - Consumos médios de água de reposição.....	43
Tabela 3.7 - Consumos médios de energia elétrica por parte da torre de arrefecimento e das bombas .....	44
Tabela 3.8 - Caudais volumétricos nos rolos R1 a R29 .....	44
Tabela 3.9 - Caudais volumétricos nos rolos dos grupos tratores 1 e 3.....	45
Tabela 3.10 - Potência perdida por radiação pela tela nos rolos R1 a R29.....	52
Tabela 3.11 - Potência perdida por convecção pela tela nos rolos R1 a R29 .....	56
Tabela 3.12 - Ajuste do caudal de água de refrigeração.....	60
Tabela 3.13 - Curva de saturação, reta de operação e respetivas forças impulsoras para $30 \leq T_L \leq 37,1$ , $L=1,76$ ( $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) e $G=1,38$ ( $\text{kg}_{\text{ar seco}}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) .....	66
Tabela 3.14 - Curva de saturação, reta de operação e respetivas forças impulsoras para $30 \leq T_L \leq 37,1$ , $L=1,32$ ( $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) e $G=1,0$ ( $\text{kg}_{\text{ar seco}}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) .....	67
Tabela 4.1 - Resultados da análise físico-química à água do poço antes do descalcificador	70
Tabela 4.2 - Resultados da análise físico-química à água do poço após o descalcificador ..	70
Tabela 4.3 - Resultados das análises bacteriológicas à água do poço antes e após o descalcificador .....	71

Tabela 4.4 - Resultados da análise físico-química à água de recirculação no sistema.....	72
Tabela 4.5 - Resultados da análise bacteriológica à água de recirculação no sistema.....	72
Tabela B.1 - Produção de tela impregnada no ano de 2013.....	84
Tabela C.1 - Temperaturas da água medidas à entrada dos rolos .....	85
Tabela C.2 - Temperaturas da água medidas à entrada da torre de arrefecimento .....	86
Tabela C.3 - Temperaturas da água medidas à saída dos rolos dos grupos tratores 1 e 3 ..	87
Tabela C.4 - Temperaturas da água medidas à saída dos rolos R1 a R29.....	88
Tabela C.5 - Temperaturas ambientes e humidades relativas na envolvente exterior ao edifício da máquina ZELL .....	89
Tabela C.6 - Temperaturas ambientes na envolvente interior do edifício da máquina ZELL.	89
Tabela C.7 - Temperaturas das chumaceiras na extremidade de entrada de água nos rolos R1 a R29.....	90
Tabela C.8 - Temperaturas das chumaceiras na extremidade de saída de água nos rolos R1 a R29 .....	91
Tabela C.9 - Temperaturas das chumaceiras na extremidade de entrada e saída de água nos rolos dos grupos tratores 1 e 3.....	92
Tabela C.10 - Consumos de água de reposição registados .....	92
Tabela C.11 - Consumos de energia elétrica por parte da torre de arrefecimento e das bombas .....	93
Tabela E.1 - Propriedades físicas do ar a 1 atm [15].....	98
Tabela H.1 - Valores indicativos da qualidade da água de reposição e água de recirculação [17].....	101
Tabela H.2 - Valores indicativos da qualidade da água de recirculação [18] .....	102

## 1. Introdução

Atualmente, as preocupações energéticas e os problemas ambientais começam a marcar fortemente as sociedades e o desenvolvimento industrial e tecnológico. Para grandes organizações, como o grupo *Continental A.G.*, e em especial para a Indústria Têxtil do Ave, S.A. (C-ITA) é muito importante associar a marca ao conceito de sustentabilidade, que engloba os aspetos económico, social e ambiental.

Os pneus produzidos pela marca alemã são certificados pelo selo Europeu “The European tyre label”, desde 2012, o que permite ao consumidor, aquando a compra, ter acesso a informações importantes como a eficiência energética, aderência ao piso molhado e o ruído. Graças aos avanços tecnológicos na área dos materiais, tem sido possível melhorar continuamente as propriedades químicas e mecânicas do produto final, resultando numa maior segurança na condução e na redução dos consumos energéticos.

Uma das preocupações da C-ITA é a qualidade da tela e dos cabos para incorporação em pneus, pelo que a sua produção acompanha a evolução dos pneumáticos, quer em termos de matérias-primas, quer em termos de processos de fabrico e equipamentos.

Outras questões igualmente importantes, a par da qualidade do produto, são o aumento da eficiência produtiva associada à redução e controlo dos consumos energéticos, e a minimização dos impactes sobre o ambiente, decorrentes da atividade industrial. Deste modo, é possível manter ou mesmo aumentar a competitividade e o crescimento económico.

Neste capítulo são apresentadas a C-ITA, empresa na qual foi desenvolvido este trabalho, e a Cofely, empresa que colabora com a C-ITA e que foi responsável pela orientação desta dissertação. Também são apresentados o processo produtivo dos cabos e da tela impregnada, e os objetivos da dissertação.

### 1.1. A Indústria Têxtil do Ave, S.A.

Fundada em 16 de Dezembro de 1948, com a designação de *Intext*, a Indústria Têxtil do Ave, S.A., foi construída com o propósito de produzir telas de reforço para pneus da *Manufactura*

*Nacional de Borracha, S.A. - Mabor*, que até então eram importadas da empresa norte-americana *The General Tire and Rubber Company* [1].

Situada na freguesia de Lousado, V.N. Famalicão, junto à atual Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A. (CMIP), a *Intext*, iniciou a sua atividade industrial em 1950, produzindo telas em algodão, com uma produção mensal de 60 toneladas.

No decorrer de 1958, assistiu-se a uma evolução na manufatura de pneus com a introdução de telas em fibras artificiais de *rayon* de alta tenacidade. Estas fibras mais regulares e em forma de multifilamento contínuo vieram substituir o algodão.

Para a utilização do *rayon* como reforço de pneus era necessário um acabamento final (*dip and dry*), de forma a garantir a sua adesão à borracha. Este tratamento era realizado inicialmente na *Intext*, através da máquina *Kidde* de impregnar cabos. Porém a capacidade desta máquina era reduzida, pelo que a Mabor adquiriu a máquina LITZLER de impregnar tecido, que anos mais tarde (1962/1963), viria a ser comprada pela *Intext* [2].

O aparecimento de novas fibras sintéticas, como a poliamida (*nylon*) de alta tenacidade, contribuiu para a substituição do *rayon*, principalmente, em aplicações mais exigentes. Assim, em 1963, a *Intext* adquiriu a unidade de acabamento de tela (*dipping and hot-stretch*) da marca *Industrial Ovens* (I.O.), o que possibilitou o aumento da capacidade de produção.

Até ao ano de 1968, em que se concluíram as obras de construção do salão 2, a produção estava confinada ao salão 1, onde coexistiam fibras de algodão, *rayon* e *nylon*. Após a construção do novo salão, as fibras de *rayon* e *nylon* foram separadas do algodão, para reduzir a sua contaminação devido ao “voaço” libertado pela fibra natural, que causava problemas de qualidade ao nível da aderência da borracha aos tecidos artificiais e sintéticos [2].

Nos anos 70 e 80, a *Intext* terá participado em vários projetos de inovação tecnológica, o que permitiu a renovação da secção de torcedura e de tecelagem, bem como do equipamento de impregnação *Industrial Ovens*. Deste modo, foi aumentada a capacidade produtiva, que em 1982, atingiu as 350 toneladas de tela por mês, além das 70 ton/mês relativas à produção de algodão [2].

No decorrer da década de 80, deu-se início à produção de tela em fibra sintética de poliamida aromática (aramida) e encerrou-se a fição de algodão, em setembro de 1987. A aramida é muito utilizada principalmente para a incorporação em pneus de carros de competição e aviões, pois apresenta alta resistência ao impacto e reduzido alongamento.

Em 1988, a *Intext* foi incorporada no grupo Amorim, passando a ser conhecida como ITA. Esta alteração, no grupo de acionistas, possibilitou novos investimentos nas secções de torcedura, tecelagem e acabamentos, o que contribuiu para um acréscimo de produção e produtividade [2].

O ano de 1992 ficou marcado pela reestruturação dos recursos humanos e pela implementação de um sistema automatizado de recolha de dados, do processo produtivo. No mesmo período, foram adquiridos novos teares com tecnologia de inserção de trama por projétil e ainda a máquina de impregnação de tela, *ZELL*.

Em 1993, cerca de 95% do capital da ITA passa a pertencer ao grupo *Continental A.G.*, sendo a sua designação alterada para C-ITA. Na figura 1.1 encontram-se representadas as atuais instalações da C-ITA.

No ano de 1993, a C-ITA recebe o prémio EDP – Gestão Racional de Energia e torna-se uma das primeiras empresas têxteis nacionais, a obter a certificação do Sistema de Gestão da Qualidade, segundo a norma ISO 9001. Anos mais tarde, em 1998, a C-ITA torna-se a segunda empresa Portuguesa certificada pela APCER segundo a norma ISO 14001 - Sistema de Gestão Ambiental [2].

No período de 2000 a 2008, realizaram-se novos investimentos em torcedores mais avançados (IBCT), com torção simultânea de fio e corda, e teares com inserção de trama por jato de ar. Ainda no final deste período, procedeu-se à construção do laboratório de investigação e desenvolvimento, bem como à compra da máquina de impregnar cabos *Benninger-ZELL*, conhecida por *SingleEnd*. Desta forma foi possível alargar a capacidade de produção, que atualmente corresponde a 14.000 ton/ano [2].

Recentemente, a C-ITA implementou um sistema de supervisão e controlo industrial com uma rede de autómatos e sensores que possibilita a monitorização gráfica e *layout* fabril, através da internet, conhecendo em cada instante as ordens de fabrico, quantidades produzidas em cada máquina, etc [2].

Em 2013 a C-ITA alcançou recordes de produção e de vendas, finalizando o ano com um acréscimo de 2,2%, relativamente a 2012, no número de toneladas de telas e de cabos impregnados [3].



Figura 1.1 - Indústria Têxtil do Ave, S.A. (C-ITA) [3]

## 1.2. Cofely, GDF SUEZ

A Cofely é uma empresa multinacional, pertencente ao grupo *GDF SUEZ*, que lidera o mercado Europeu na prestação de serviços de eficiência energética e ambiental. Registada em Portugal como *GDF SUEZ Energia e Serviços Portugal, S.A.*, a 1 de Janeiro de 2010, a Cofely como é conhecida, resulta da união entre a ACIT e a ENDEL, empresas integrantes do ramo *GDF SUEZ Energy Services* dedicadas à Gestão Técnica (operação e manutenção de instalações) e *Facility Management*, nos setores Industrial e Terciário [4].

A ACIT, fundada em 1983, foi a primeira empresa em Portugal dedicada exclusivamente à gestão técnica e manutenção de edifícios.

A ENDEL atuava desde 1994 no segmento da indústria, executando serviços que vão desde a transferência e renovação de instalações à coordenação de paragens, incluindo a manutenção e operação em ambiente industrial.

Desde a criação da Cofely em Portugal, que esta se tem dedicado à projeção, implementação e exploração de soluções técnicas de Eficiência Energética, integradas e adaptadas às necessidades de cada cliente, com vista à melhoria da performance das instalações.

A flexibilidade das soluções da Cofely permite potenciar a redução dos custos globais de operação e manutenção, assim como os custos relacionados com a fatura energética, proporcionando simultaneamente, melhorias do conforto para os utentes e minimização dos impactes ambientais inerentes.

Os clientes, da Cofely, incluem *data centers*, grandes edifícios de escritórios e instalações fabris. A estes, a empresa fornece um conjunto de serviços técnicos (*hard services*) com especialidades (*soft services*: limpeza, segurança, construção, *moving*, entre outros), tudo isto contemplado num único contrato, com um único interlocutor [5].

Certificada de acordo com as normas de qualidade, ambiente, energia e segurança, a Cofely possui as certificações profissionais necessárias ao cumprimento das regulamentações em vigor e dos objetivos de sustentabilidade. Esta foi uma das empresas pioneira em Portugal na certificação ISO 50001 (Sistema de Gestão da Energia) e a primeira do setor. Simultaneamente obteve as certificações ISO 14001 (Sistema de Gestão Ambiental) e OHSAS 18001 (Sistemas de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho). Já em 1999 tinha sido uma das primeiras empresas do setor a obter a certificação ISO 9001 (Sistema de Gestão da Qualidade) [5].

No ano de 2011 a Cofely teve uma faturação da cerca de 19,5 milhões de euros em Portugal, onde conta com 270 colaboradores que fazem a gestão de 320 instalações de clientes, num total de 1,2 milhões de metros quadrados. A nível Europeu conta com cerca de 35.000 colaboradores em 15 países, tendo apresentado uma faturação na ordem dos 8 mil milhões de euros em 2008 [4].

O grupo *GDF SUEZ* é o segundo maior produtor de energia elétrica a nível nacional, dos quais 20% através de energias renováveis, sendo também operador da única rede urbana de frio e calor (Climaespço), com um volume de negócios global de 534 milhões de euros e 605 postos de trabalho no ano de 2011 [5].

A C-ITA é uma das empresas clientes da Cofely, para a qual esta desempenha funções de manutenção preventiva e curativa, segundo os módulos *Hard* e *Soft*. O módulo *Hard* intervém nas áreas de manutenção de instalações elétricas de baixa tensão, manutenção de carros esquinadeira, de edifícios e dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), enquanto o módulo *Soft* inclui os serviços de limpeza administrativa e industrial, controlo de pragas, higiene feminina, resíduos hospitalares e, vigilância e segurança das instalações.

Além dos serviços prestados, a Cofely tem atuado pró-ativamente, preocupando-se em apresentar propostas de melhoria e soluções adequadas, no âmbito de problemas mais complexos, como o que foi apresentado pela C-ITA.

### 1.3. Processo de Fabrico das Telas e dos Cabos

A principal atividade desenvolvida pela C-ITA está relacionada com a produção de cabos e telas impregnadas para pneus, tecnicamente designadas por *Cordfabric*, sendo utilizadas como matérias-primas fibras de *rayon*, *nylon 6,6*, poliéster e aramida.

A tela é um dos componentes mais importantes que constitui a camada de reforço dos pneus. Devido à sua estabilidade dimensional, esta desempenha funções de controlo da pressão interna e de conservação da forma do pneu. A sua incorporação no pneu pode ser radial ou longitudinal, consoante a fibra utilizada e as características pretendidas pelo fabricante de pneus.

O fabrico da tela envolve etapas de bobinagem, torcedura, tecelagem e acabamento, que inclui os processos de impregnação e termofixação na máquina *ZELL*, como se encontra representado no esquema da figura 1.2. Relativamente ao fabrico de cabos impregnados, apresentado no mesmo esquema, este não envolve a etapa de tecelagem e os processos de impregnação e termofixação são promovidos na máquina *SingleEnd*.

Atualmente, grande parte da matéria-prima que é adquirida pela C-ITA, já se encontra em bobines de fio com dimensões adequadas aos torcedores, não sendo necessário realizar a bobinagem. Assim, o processo de produção de *Cordfabric* e cabos tem início com a operação de torcedura.

#### 1.3.1. Torcedura

A operação de torcedura tem como finalidade, a melhoria das propriedades mecânicas das fibras, em especial a resistência ao alongamento e à rutura, graças ao entrelaçamento de dois ou mais fios. Esta operação permite manter as fibras unidas, evitando o seu deslizamento.

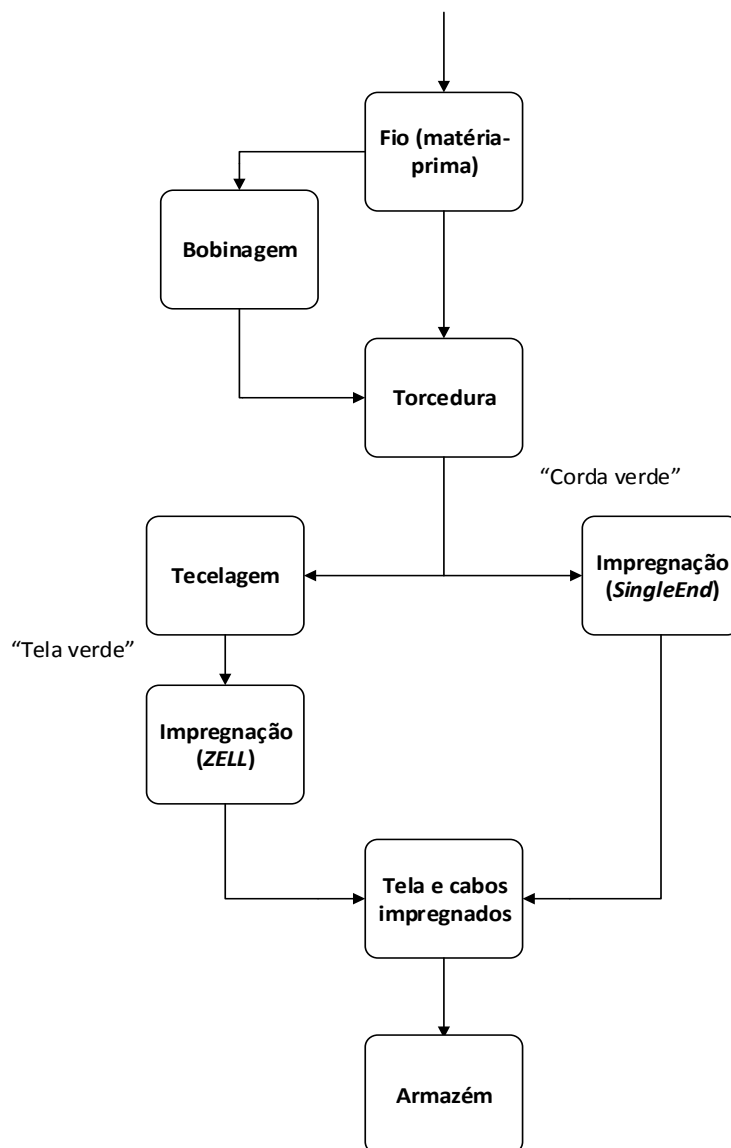


Figura 1.2 - Esquema de fabrico de tela e cabos impregnados

As bobines de fio são colocadas em torcedores capazes de torcer dois ou mais fios por corda, como mostra a figura 1.3, em que (a) corresponde à torção de três fios em simultâneo,  $x3$ , e (b) corresponde à torção de duas cordas a partir de quatro fios,  $x2x2$ .

A torção é também caracterizada em termos de sentido. Esta pode ser designada de “Z” ou “S”, conforme apresentado pela figura 1.4.

O entrelaçamento dos fios origina uma corda de massa superior para igual comprimento. Esta propriedade designa-se por densidade linear ou *Decitex* (*dtex*), que corresponde à massa em gramas de 10.000 metros de fio.

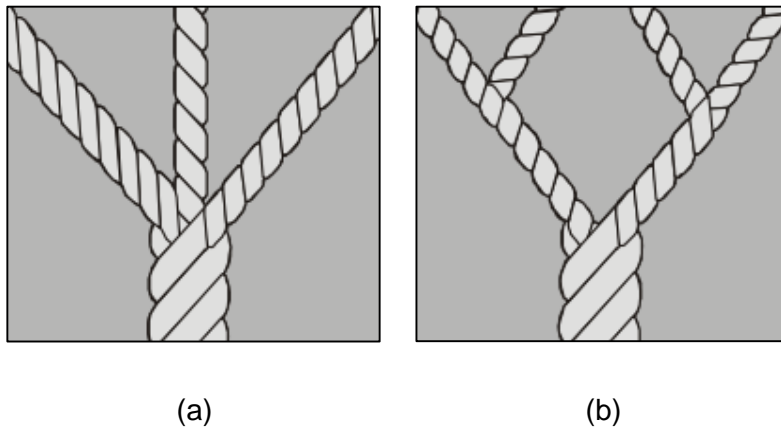


Figura 1.3 - (a) Torção de 3 fios x3, (b) Torção de 2 cordas a partir de 4 fios x2x2 [6]

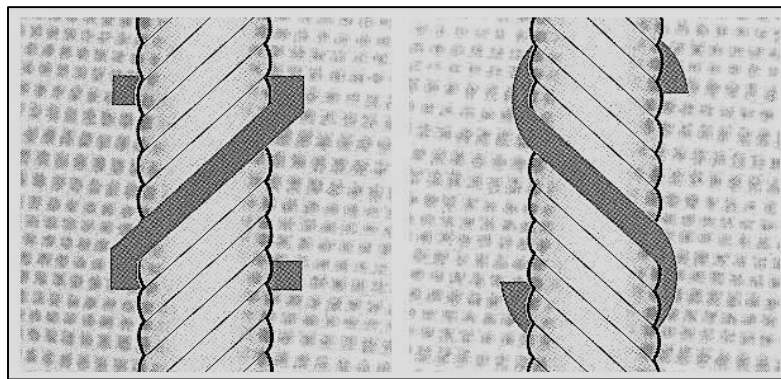


Figura 1.4 - Sentido de torção da corda têxtil [7]

Por vezes, decorrida a etapa de torcedura, pode-se realizar a rebobinagem do fio excedente, permitindo a ligação das pontas de fio, de duas ou mais bobines.

A corda obtida no final da torcedura é designada por “corda verde”. Esta é estabilizada em bobines antes de sofrer outras operações.

### 1.3.2. Tecelagem

A tecelagem corresponde à etapa de produção de “tela verde”. Após o período de estabilização, as bobines de corda são dispostas nos carros esquinadeira e as cordas ligadas aos teares, como é mostrado através do esquema apresentado na figura 1.5.



Figura 1.5 - Tear SULZER e respetivo carro esquinadeira

Nos teares, as cordas são distribuídas uniformemente e unidas de forma transversal, por trama de algodão, *nylon* ou trama elástica. O tecido produzido é continuamente enrolado em torno das caneleiras, originando bobines de tela. O número de cordas por decímetro de tela ou *ends per decimeter (epdm)* e a largura da tela são especificações que podem ser variadas.

Após a tecelagem, a tela é enrolada e envolvida em plástico, antes de ser transportada até ao edifício da *ZELL*, onde sofre o acabamento final.

### 1.3.3. Impregnação

A impregnação corresponde à última etapa de produção de telas e cabos para pneus. Esta atua sobre as fibras, a nível macro e micromolecular proporcionando-lhes adesão à borracha, estabilidade dimensional e melhoria das propriedades mecânicas.

A impregnação inicia-se através da imersão da “tela verde” ou da “corda verde” - *dipping*, numa solução química, a fim de melhorar a afinidade química à borracha.

A composição da solução química depende do tipo de fibra. Para o *rayon* e *nylon* são utilizadas soluções aquosas compostas por resorcinol, formaldeído e látex – soluções RFL. No caso do poliéster e da aramida, que são menos reativos, é necessário realizar-se a sua pré-ativação, antes da imersão em RFL, para se obter boa adesão à borracha. A pré-ativação é feita através da imersão em soluções à base de resinas epóxi ou isocianatos bloqueados (componentes quimicamente reativos com as extremidades das fibras).

Durante o processo de impregnação é necessário fixar a camada de soluto sobre as fibras, e para isso utiliza-se o tratamento térmico em estufas – termofixação. Este é promovido pelo contacto com ar, a elevadas temperaturas, por um período reduzido de tempo.

O tratamento térmico, em conjunto com ações mecânicas (estiragem), promovem o encolhimento e alongamento das fibras, contribuindo para a estabilidade dimensional dos materiais impregnados e para a melhoria das suas propriedades.

O sector de impregnação está dividido entre as máquinas *ZELL* e *SingleEnd*, que tratam tela e corda, respetivamente.

Posteriormente, no capítulo 2., será abordada de forma mais aprofundada a máquina de impregnar tela *ZELL*.

#### 1.4. Objetivos da Dissertação

Para a presente dissertação, a C-ITA apresentou problemas bastante concretos à Cofely, relacionados com a conservação dos rolos que constituem a máquina *ZELL* e, também, problemas com o seu sistema de refrigeração.

Além da acentuada degradação dos rolos, devido à corrosão provocada pela recirculação da água de arrefecimento, foram apresentados valores elevados de consumo de água de reposição ao sistema e de consumo elétrico por parte do circuito de refrigeração.

Desde que foi construída, em 1992, esta máquina tem sido alvo de algumas intervenções e ajustes, para acompanhar o processo produtivo. Contudo, o sistema de refrigeração associado aos rolos tem-se mantido em funcionamento, sem sofrer alterações adequadas às necessidades de arrefecimento, que se foram modificando ao longo dos anos.

Assim, esta dissertação teve como objetivo a otimização energética do sistema de refrigeração da máquina de impregnar tela *ZELL*, sendo feita adicionalmente a avaliação à qualidade da água do circuito.

Para a otimização energética do sistema de refrigeração da máquina *ZELL* foram avaliadas as impregnações de duas telas de poliéster e uma tela de *nylon*, que correspondem às referências de telas mais produzidas no ano de 2013. Deste modo, para caracterizar o funcionamento do sistema de refrigeração procedeu-se à medição de temperaturas da água

em vários locais, temperaturas ambiente e humidades do ar, temperaturas das chumaceiras situadas nas extremidades dos rolos refrigerados, consumos de água de reposição, consumos elétricos associados às bombas e à torre de arrefecimento e, ainda os caudais volumétricos de água de refrigeração.

Relativamente à avaliação da qualidade da água do circuito, esta foi baseada nos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas efetuadas.

## 1.5. Organização da Dissertação

A dissertação está organizada em cinco capítulos.

No capítulo 1 faz-se a apresentação da C-ITA e da Cofely, empresas envolvidas neste trabalho, assim como a apresentação do processo de fabrico das telas e dos cabos para pneus. Neste capítulo também são apresentados os objetivos desta dissertação.

No capítulo 2 é feita uma descrição da máquina de impregnação de tela *ZELL* e do sistema de refrigeração, do ponto de vista do seu funcionamento, abordando o arrefecimento dos rolos, a torre de arrefecimento evaporativa e o tratamento efetuado à água de recirculação.

O capítulo 3 é dedicado à otimização energética do sistema de refrigeração da máquina *ZELL*. Este inclui os principais dados experimentais e os resultados obtidos, nomeadamente as perdas de térmicas determinadas. No final deste capítulo é feita a avaliação das necessidades de arrefecimento do sistema e a avaliação da torre de arrefecimento.

No capítulo 4, referente ao tratamento da água do sistema de refrigeração, são apresentados os resultados das análises efetuadas à água e é feita a avaliação da sua qualidade para utilização neste sistema.

Esta dissertação termina com o capítulo 5 onde são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e sugestões de trabalho futuro.



## 2. A Máquina de Impregnação ZELL

A máquina ZELL faz parte de um dos sectores mais importantes para a C-ITA – a impregnação, sendo capaz de tratar toda a “tela verde” produzida e eventualmente alguma comprada, mantendo a produção contínua (24h por dia, 365 dias por ano), com paragens semanais de 6h para manutenção e limpeza.

A ZELL é uma máquina bastante complexa e de grandes dimensões, constituída por inúmeros mecanismos, sensores e sistemas integrados, que facilitam o controlo do processo de impregnação. O tratamento efetuado à “tela verde” permite melhorar a sua adesão à borracha, além de melhorar a estabilidade dimensional, resistência térmica à fadiga e ao impacto, possibilitando o seu uso como componente para incorporação em pneus.

### 2.1. Caraterização da Máquina ZELL

Com cerca de 30 metros de altura, ocupando um edifício de 8 pisos, a máquina ZELL foi pensada e construída, para que não ocupasse uma área exagerada, mas em simultâneo fosse possível operar a velocidades elevadas (atualmente na ordem dos 78 m/min).

A ZELL é constituída fundamentalmente por sete estufas, cinco grupos tratores, duas tinas com solução química, acumuladores de entrada e de saída, desenrolador, enrolador e ainda um conjunto de rolos, em aço carbono do tipo St 37-2 (segundo a norma DIN 17100), dispostos na horizontal e distribuídos por toda a sua extensão, conforme é possível observar através da figura 2.1 (uma representação muito simples e sem escala da máquina ZELL).

As bobines de tela verde (figura 2.1) são introduzidas na parte inferior da ZELL (no piso 0), por meio de um desenrolador que opera em conjunto com um acumulador. Este sistema é bastante importante para que a máquina possa funcionar em contínuo, pois permite acumular uma reserva de tecido (cerca de 200 metros), que é necessária no período de mudança de bobine. Durante esse período a impregnação é assegurada pela tela que se encontra no acumulador, enquanto é feita a costura que une a primeira bobine, ainda em impregnação, à bobine seguinte.

A distância entre o desenrolador e o enrolador, que se encontra no final do processo (zona onde se encontram as bobines de tela impregnada), equivale a cerca de 700 metros de tela.

Quando é necessário proceder-se à alteração de artigo, ou das condições de operação é introduzida uma tela designada por *linner*. Esta realiza a limpeza dos rolos, removendo o soluto que possa estar acumulado na superfície dos mesmos, enquanto as condições de operação, nomeadamente as temperaturas nas estufas, são estabilizadas.

Após a passagem pelo acumulador, a tela é obrigada a mergulhar na tina 1, onde contacta com a primeira solução química. Logo de seguida, encontra-se um sistema de vácuo, que aspira o excesso de solução da tela, tecnicamente designada por *dip*, e a reencaminha de volta à tina. Este sistema não se encontra representado na figura 2.1.

O tratamento térmico da tela (termofixação) é promovido em estufas, que possuem sistemas de injeção direta de ar quente - *jet boxes*, com elevadas taxas de transferência de calor associadas.

Dependendo do tipo de tela, as condições do processo de termofixação podem diferir. O ar no interior de algumas estufas pode atingir temperaturas até 250°C, enquanto a tela, em circulação, atinge temperaturas que podem ser ligeiramente inferiores (até 10°C abaixo da temperatura média do ar).

O transporte da tela, ao longo das setes estufas, é efetuado através de mecanismos de tração, constituídos pelos grupos tratores, que adicionalmente assumem a importante função, de submeter a tela a diferentes níveis de estiragem, ficando o encaminhamento desta afeto aos restantes rolos. O sistema de transporte de tela possui de origem, um sistema de refrigeração associado, através de água, que será abordado de seguida, no subcapítulo Sistema de Refrigeração da ZELL. No esquema da figura 2.1, encontram-se numerados apenas os rolos que atualmente possuem refrigeração. Destaca-se ainda que os rolos localizados no topo das estufas 2, 4, 6 e 7, encontram-se termicamente isolados, relativamente ao exterior das estufas. No caso da estufa 3, como esta funciona aberta no topo, já não se podem desconsiderar as perdas de térmicas.

Entre a estufa 4 e 5 encontra-se a tina 2 (piso 0), com sistema de vácuo incorporado, no entanto algumas telas não precisam do segundo banho de *dip*.

Para amaciar, quebrar e tornar a tela mais flexível, são utilizadas as chamadas facas, localizadas após o grupo trator 3 (piso 2).

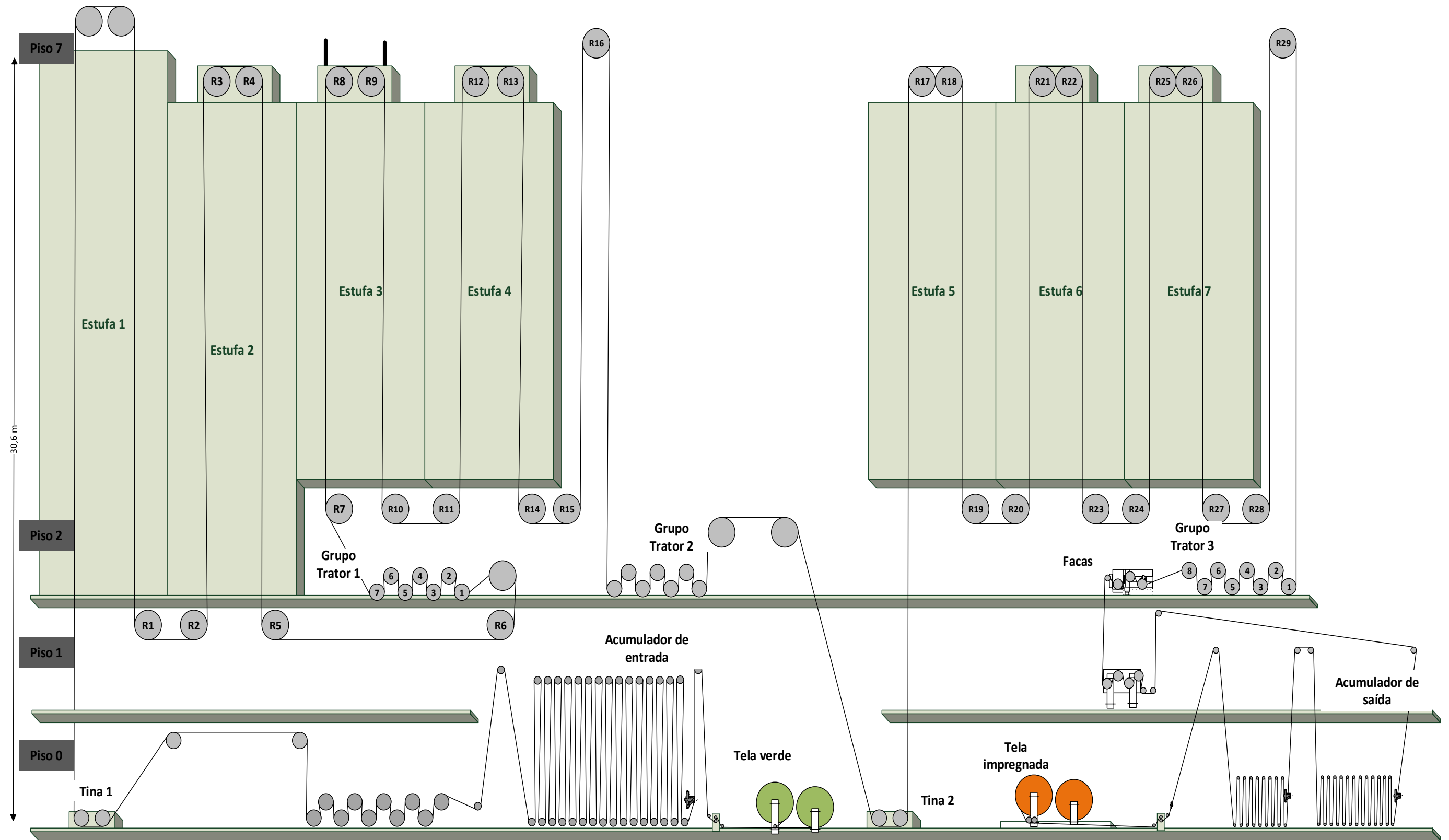


Figura 2.1 - Esquema representativo da máquina ZELL



No final do processo, ou seja de volta ao piso 0, a tela passa pelo segundo acumulador, antes de ser enrolada em torno da caneleira, embalada e armazenada. Este elemento permite acumular cerca de 100 metros de tela, que é suficiente para garantir a produção, durante o período de corte da zona de costura e de formação de uma nova bobine.

## 2.2. Sistema de Refrigeração da ZELL

O sistema de refrigeração foi montado com a máquina, de acordo com as especificações do fabricante *Benninger ZELL*, que não adianta quais as vantagens, para a existência de arrefecimento nos rolos. Assim sendo, pensa-se que o arrefecimento tenha como função impedir o aumento da temperatura dos rolamentos associados aos rolos e, porventura, a remoção do calor da tela. Posteriormente, na secção 2.2.1, este assunto será de novo abordado.

Com o tratamento por termofixação, a tela atinge temperaturas bastante elevadas, dissipando parte da carga térmica acumulada, através da condução para os rolos. Deste modo, a água de arrefecimento ao circular pelo interior dos rolos, remove o calor que se encontra em excesso no processo.

A refrigeração da *ZELL* caracteriza-se pela recirculação de água em circuito aberto, com torre de arrefecimento. A água à saída dos rolos é continuamente recolhida em calhas ligadas, através de tubagem, ao tanque de água quente com capacidade para 3 m<sup>3</sup>. A partir deste, a água é enviada até à torre de arrefecimento, por meio de uma bomba centrífuga, onde uma pequena fração vaporiza e, sai a uma temperatura inferior à temperatura de entrada. Esta mudança de estado origina as principais perdas de água do sistema - perdas por evaporação, que também se verificam nos tanques e nas saídas de água dos rolos.

Após o arrefecimento, a água é descarregada para o tanque de água fria, de 3 m<sup>3</sup>, a partir do qual é de novo bombeada para a *ZELL*. Este tanque possui um controlador de nível, que permite a entrada de água fresca no sistema (água de reposição). O funcionamento das bombas, com variadores de frequência, é controlado automaticamente através do nível de água nos tanques.

Ao alcançar o piso 2, o caudal bombeado (cerca de 10 L/s) é dividido por sete linhas de abastecimento, possibilitando a distribuição de água por todos os rolos, com arrefecimento.

Na figura 2.2, é apresentado o esquema simplificativo do sistema de refrigeração da máquina ZELL. Neste, os 44 rolos refrigerados encontram-se numerados, em função do percurso da tela, para simplificar a sua identificação.

Existem 29 rolos distribuídos ao longo da máquina, numerados de R1 a R29 e ainda os rolos dos grupos tratores 1 e 3, numerados separadamente, aos quais se atribuiu a designação de r1 e r3 e, que são apresentados no esquema apenas pelo seu número.

Assim, r11 corresponde ao primeiro rolo do grupo trator 1, sendo r17 o último do mesmo grupo, de igual modo r31 é o primeiro rolo do grupo trator 3 e r38 o último.

No que refere às dimensões dos rolos, o grupo trator 3 caracteriza-se por ter diâmetros externos de 0,318 m, enquanto os restantes rolos apresentam diâmetros externos de 0,412 m. Estes valores foram fornecidos pela C-ITA.

Para diferenciar a tubagem de água fria que abastece os rolos, da tubagem que recebe a água descarregada, utilizou-se azul e vermelho, respetivamente.

Seguidamente, será abordado o arrefecimento dos rolos, torre de arrefecimento evaporativa e ainda o tratamento realizado à água de arrefecimento.

### 2.2.1. Arrefecimento dos rolos

Como mencionado anteriormente, durante a termofixação, a tela atinge temperaturas bastante elevadas, acumulando carga térmica que dissipa para os rolos através de fenómenos de condução. Assim, com a passagem de água pelo seu interior, os rolos comportam-se como permutadores, transferindo calor para a água.

Pensa-se que uma das vantagens do arrefecimento possa estar relacionada com a limitação da temperatura de funcionamento dos rolamentos, ligados aos veios dos rolos. Estes elementos encontram-se no interior das chumaceiras e são constituídos por esferas metálicas alinhadas e envolvidas em óleo lubrificante, que se movimentam a grande velocidade, em filas circulares. Na figura 2.3 apresentam-se os rolos, R17 e R18, e respetivas chumaceiras localizadas nas extremidades de entrada de água.

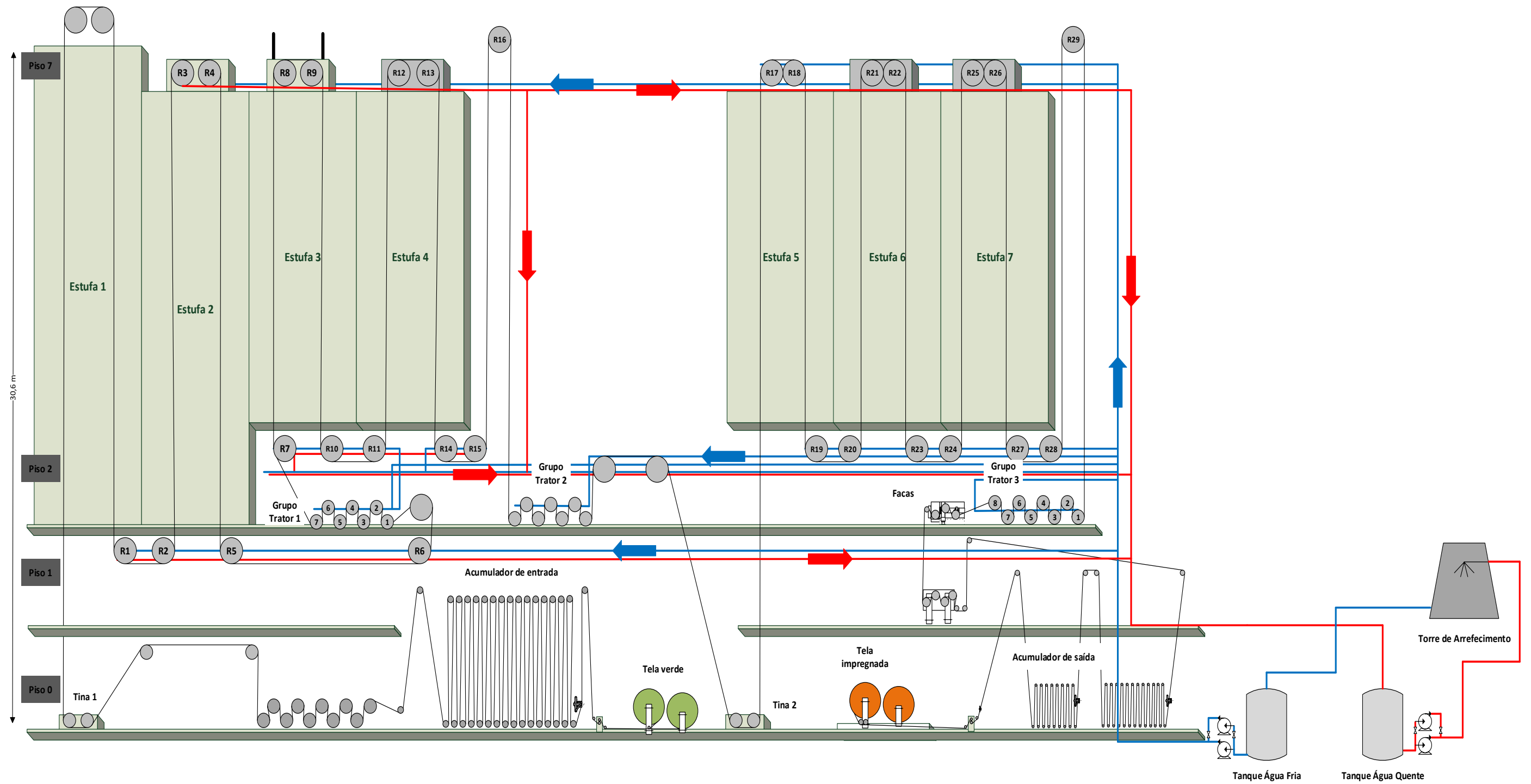


Figura 2.2 - Esquema representativo da máquina ZELL e do sistema de refrigeração



O funcionamento dos rolamentos a temperaturas elevadas provoca a dilatação das esferas, originando maior atrito dos elementos metálicos e conseqüentemente maior desgaste. Também a ação do óleo lubrificante poderá ser prejudicada com a operação a temperaturas mais elevadas. Posto isto, a manutenção da temperatura de funcionamento, numa gama de valores mais baixos, pode evitar a degradação precoce dos rolamentos.



Figura 2.3 - Rolos R17 e R18 (topo da estufa 5)

Outra vantagem, que pode justificar a existência de arrefecimento na máquina *ZELL*, está relacionada com a necessidade de remover calor à tela, em especial durante os períodos de paragem forçada por emergência ou avaria. Eventualmente, nestes períodos, devido à interrupção da ventilação no interior das estufas termicamente isoladas, poder-se-á verificar o efeito da inércia térmica perante o ar estagnado. Como resultado, a temperatura do sistema tende a aumentar até atingir um valor máximo, que poderá ser superior à temperatura de fusão da tela (cerca de 255°C para *nylon* 6,6 e 260°C para poliéster). Visto que a tela deixa de circular e de dissipar energia, considera-se importante o arrefecimento dos rolos, principalmente dos que se encontram no interior das estufas, para evitar a termodegradação do material têxtil tensionado na zona de contacto com o rolo.

Os rolos refrigerados são constituídos por aço carbono do tipo St 37-2 cromado e apresentam duas configurações de escoamento diferentes. A maioria caracteriza-se por uma única passagem, sendo a entrada de água efetuada por um orifício numa das extremidades, e a saída pelo orifício que se encontra na extremidade oposta, conforme é apresentado na figura 2.4.

A outra configuração, exclusiva para os rolos dos grupos tratores, caracteriza-se pela entrada e saída da água através de dois orifícios distintos, situados na mesma extremidade. O orifício de entrada está ligado a um tubo que orienta o escoamento da água e permite a sua distribuição pelo rolo, sem que ocorra mistura com a restante água no seu interior. Ou seja, esta configuração corresponde a uma passagem no tubo e uma passagem na carcaça. Na figura 2.5, encontra-se representada a configuração dos rolos dos grupos tratores. A sua configuração está relacionada com a própria estrutura e construção do grupo trator.



Figura 2.4 - Esquema de configuração dos rolos com uma única passagem

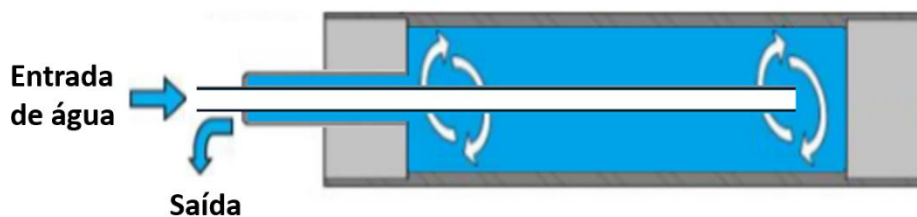


Figura 2.5 - Esquema de configuração dos rolos com uma passagem no tubo e uma passagem na carcaça (rolos dos grupos tratores)

De acordo com a informação recolhida a respeito dos rolos, sabe-se que estes não dispõem de elementos como chicanas ou espirais para orientar o escoamento através da carcaça. O escoamento da água processa-se de forma semelhante com um canal aberto, uma vez que cada rolo se encontra preenchido com água até metade. Assim, devido ao seu movimento em torno do próprio eixo, é possível que toda a superfície interna da carcaça seja envolvida pelo fluido de arrefecimento.

### 2.2.2. Torre de arrefecimento evaporativa

A torre de arrefecimento é o elemento do sistema de refrigeração responsável pela dissipação do calor residual do processo para o ar ambiente. Este equipamento permite o contacto direto da água com o ar em contracorrente, pelo que é designada de torre de arrefecimento evaporativa de contacto direto.

Em relação à circulação de ar, esta caracteriza-se como sendo de aspiração mecânica uma vez que o movimento do ar é assegurado por quatro ventiladores do tipo centrífugo, montados na base. Estes possuem variadores automáticos de frequência, que permitem regular a velocidade do ar, conforme as necessidades de arrefecimento do processo [8].

Seguidamente, a figura 2.6 apresenta a constituição esquemática da torre de arrefecimento do sistema.

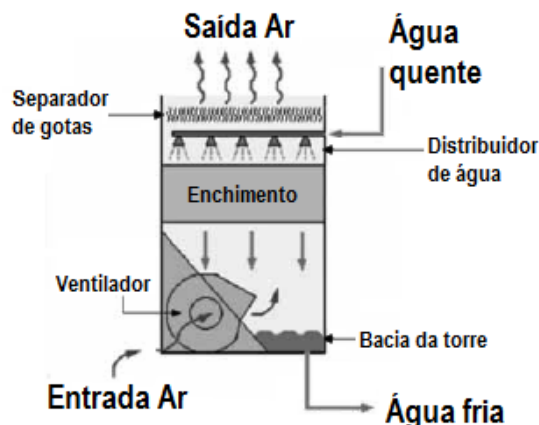


Figura 2.6 - Constituição esquemática da torre de arrefecimento

A água entra pelo topo da torre e é pulverizada através de um distribuidor, espalhando-se uniformemente sobre o enchimento. O enchimento é do tipo filme, formado por lâminas de PVC com ondulação diagonal sobreposta e inclinação alternada, para aumentar a turbulência dos fluidos em contracorrente e a área de contacto. O contacto do ar e da água provoca a evaporação de uma pequena quantidade de água (até 5%), levando ao arrefecimento da água e ao aquecimento do ar. Além do calor latente de vaporização, também é transferido calor sensível devido à diferença de temperaturas entre a água e o ar. Assim, a temperatura da água, após o arrefecimento, aproxima-se da temperatura do bolbo húmido do ar (limite mínimo ideal). Em contrapartida, a temperatura e humidade relativa do ar são aumentadas [8].

Na base da torre existe a bacia de recolha da água arrefecida e usualmente no topo, próximo das saídas de ar, estão colocados os separadores de gotas, a fim de reduzir o arrastamento de gotículas pela corrente gasosa. Em torres bem projetadas o arrastamento corresponde a cerca de 0,1 a 0,3% do caudal recirculado [8].

Os consumos de água, nos sistemas de refrigeração abertos com torre, resultam fundamentalmente das perdas por evaporação, das perdas por arrasto e das purgas de desconcentração, necessárias para compensar o efeito provocado pela evaporação. Desta forma, para que o volume total de água no sistema se mantenha constante, é adicionado um

caudal de água de reposição equivalente ao caudal consumido. Caso não se efetuassem purgas, a concentração dos sais, introduzidos pela água de reposição, aumentaria continuamente na água de recirculação.

De seguida, é apresentada através da figura 2.7, a torre de arrefecimento que faz parte do sistema de refrigeração estudado.



Figura 2.7 - Torre de arrefecimento Uniclima

A torre apresentada nesta figura é da marca Uniclima, modelo TCX-M-221, tem uma capacidade de arrefecimento de 2344,6 kW, correspondente a 35 L/s de água, 29°C de temperatura mínima de saída da água e 21°C de temperatura húmida do ar. Estas características bem como todos os parâmetros de projeto são apresentados no anexo A.

### 2.2.3. Tratamento da água de arrefecimento

A água é um refrigerante bastante utilizado em diversos processos industriais, principalmente devido à sua abundância no meio natural, baixo custo e facilidade de manuseamento, além de apresentar propriedades físico-químicas adequadas para a referida aplicação.

Atualmente, a maioria dos sistemas de refrigeração através de água possuem recirculação, para permitir a reutilização da água de arrefecimento e assim reduzir o excessivo consumo deste recurso. A água aquecida também constitui uma fonte de poluição se descarregada

diretamente no meio hídrico e, por isso, sempre que é possível é reutilizada. Todavia os sistemas com recirculação, principalmente os abertos, como é o caso do sistema estudado, estão sujeitos a sérios problemas de corrosão, incrustações, sujidade e proliferação biológica.

Nos sistemas abertos com torre de arrefecimento, ocorre com frequência a precipitação de partículas sólidas e a formação de incrustações, fundamentalmente devido à evaporação que faz aumentar a concentração de sais dissolvidos na água de recirculação, levando à saturação. A existência de incrustações reduz a capacidade de transferência de calor, provoca entupimentos e por vezes, também intensifica a corrosão dos equipamentos.

No que se refere ao sujamento biológico, este é favorecido pelas condições de humidade, de temperatura e de arejamento, comuns nestes sistemas. A atividade metabólica dos microrganismos (bactérias, fungos e algas) depositados sobre as superfícies de transferência de calor é um dos principais fatores potenciadores de corrosão [8].

Outro problema neste tipo de sistemas está relacionado com o ar introduzido na torre de arrefecimento. Este é considerado o maior agente de contaminação da água de recirculação pois arrasta partículas sólidas que ficam em suspensão na água após o contacto em contracorrente. O escoamento dos dois fluídos, em sentidos opostos, também gera turbulência, aumentando a dissolução de oxigénio na água que contribui para o agravamento da corrosão do sistema.

Todos os problemas enumerados estão relacionados com a água de recirculação e, por isso, é extremamente importante o seu tratamento. Contudo, dado a complexidade destes circuitos de arrefecimento, não é simples apresentar a solução para o tratamento ideal. Nestes casos é necessário conhecer-se a composição da água de reposição, as variáveis de operação e os metais envolvidos na construção do circuito, a fim de se formular o tratamento adequado [8].

Atualmente, o tratamento efetuado à água do circuito de refrigeração da máquina *ZELL* consiste na adição doseada, junto com a água de reposição, de um inibidor químico de corrosão e incrustação à base de uma mistura de poliacrilato de sódio, sais fosfónicos e sais de zinco, com dispersante. Semanalmente, é adicionado no tanque de água fria um agente biocida/algicida à base de cloreto de benzalcónio e etilenoglicol. Diariamente, faz-se a purga manual de desconcentração ao sistema e são medidos com regularidade a dureza e pH da água.

Além do referido tratamento, a água de reposição proveniente do poço existente na empresa é previamente tratada através do descalcificador *Culligan*, com resinas de permuta iónica e regenerador de cloreto de sódio. Este equipamento, que não altera a alcalinidade nem o pH,

tem como função reter os cátions metálicos bivalentes (cálcio, magnésio, ferro, bário, zinco, etc) responsáveis pela dureza da água, substituindo-os por sódio. Com esta substituição formam-se sais muito mais solúveis (aumenta o teor de sólidos totais dissolvidos), o que reduz as incrustações [9].

No sistema também pode ser utilizada água do furo quando o poço não possui nível de água suficiente para as necessidades da fábrica. Esta, como possui pior qualidade, é-lhe adicionado hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio, passando ainda por um filtro de areias e outro de carvão ativado.

### 3. Otimização Energética do Sistema de Refrigeração da ZELL

Neste capítulo é feito o estudo e a avaliação energética do sistema de refrigeração da máquina ZELL.

Inicialmente, foi feito um levantamento sobre as referências de tela mais produzidas pela empresa no ano de 2013. A partir daí, procedeu-se à recolha de dados experimentais como: temperaturas da água, temperaturas e humidades do ar ambiente, temperaturas das chumaceiras, consumos de água de reposição e de energia elétrica e, caudais de água de arrefecimento. Seguidamente, determinaram-se as perdas de térmicas, para avaliação das necessidades de arrefecimento da máquina ZELL.

#### 3.1. Dados Experimentais

A avaliação energética do sistema de refrigeração baseia-se no estudo da transferência de calor entre a tela e a água, para as atuais condições de funcionamento. As condições de funcionamento estão relacionadas, sobretudo, com a temperatura da água de arrefecimento dos rolos e com as condições de impregnação da tela.

Atualmente, o sistema de refrigeração opera com *setpoint* de 30°C, para água à saída da torre de arrefecimento, que é um valor próximo da temperatura mínima para a qual este equipamento foi projetado. Esta temperatura foi estabelecida pela própria C-ITA, no sentido de reduzir a incidência de incrustações de carbonato de cálcio no sistema, uma vez que, este sal a temperaturas mais baixas tem menor tendência a formar precipitado.

Em relação às condições de processamento da tela, estas são variáveis e dependem, fundamentalmente, das matérias-primas que as constituem. Deste modo, procurou-se selecionar referências de tela constituídas por diferentes matérias-primas e cuja produção fosse mais significativa.

Na figura 3.1, apresenta-se a percentagem de produção em metros de cada referência, no ano de 2013 e, as respetivas matérias-primas que as constituem. Os valores podem ser consultados no anexo B (tabela B.1).

Com base nos dados de produção do ano de 2013 presentes na figura 3.1, selecionou-se duas referências de poliéster, Poliéster1 e Poliéster2, que em termos percentuais correspondem a 8% e 7% da produção total em metros e, uma referência de *nylon*, Nylon1, com uma representação de 16%.

A referência Nylon1 caracteriza-se por uma largura de tela de 146 cm, um baixo *dtex* (densidade linear), no valor de 940 e, *epdm* (número de cordas por decímetro) de 80, enquanto as referências Poliéster1 e Poliéster2 possuem uma largura de 150 cm, um *dtex* de 1440, e *epdm* de 105 e 95, respetivamente. A diferença de valores de *epdm*, entre as duas referências de poliéster, é reduzida, contudo pode ser suficiente para originar variações, no que refere aos dados experimentais e resultados obtidos.

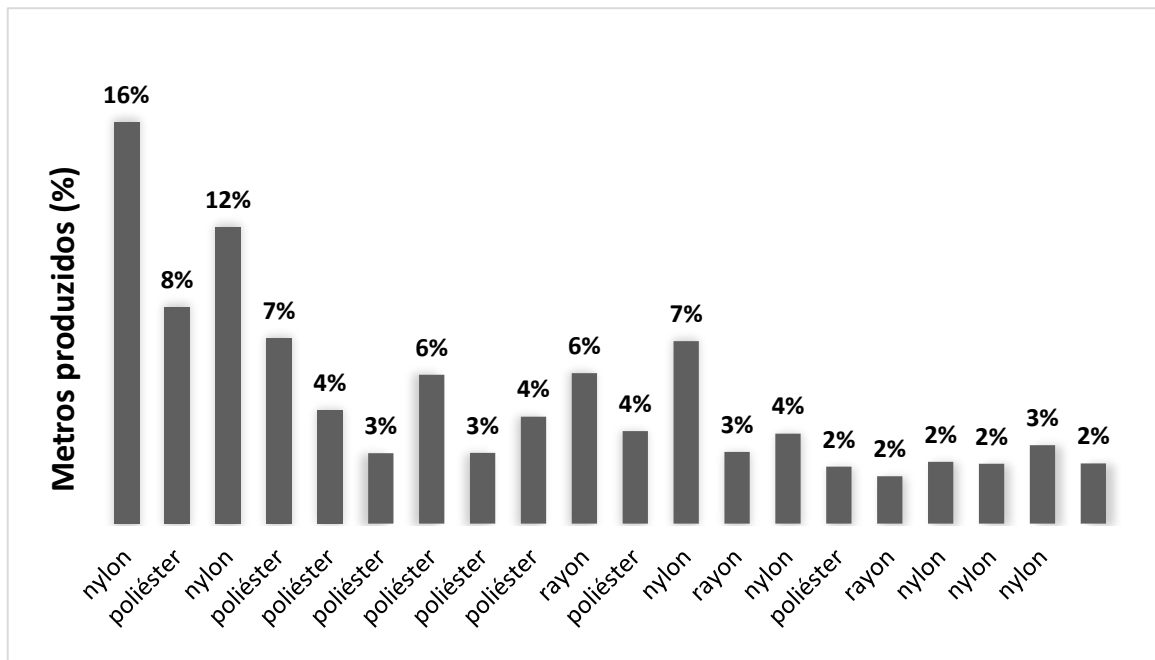


Figura 3.1 - Percentagem de metros produzidos de cada referência no ano de 2013

A referência Nylon2, que representa 12% da produção, corresponde a uma tela em *nylon*, com *dtex* e *epdm* iguais, à referência de *nylon* selecionada, motivo pelo qual não foi incluída neste estudo.

Não foi feito o estudo a telas de *rayon* nem de aramida, pois estas matérias-primas representam menores percentagens da produção total de tela.

Para simplificar a apresentação dos dados experimentais, foram utilizadas outras designações, para as referências selecionadas. Assim, Poliéster1 e Poliéster2 passam a designar-se como P1 e P2, e Nylon1 passa a designar-se por N.

De seguida, na tabela 3.1, são apresentadas as condições de impregnação para as referências selecionadas.

As condições utilizadas na impregnação de P1 e P2 são mais exigentes, do que as utilizadas para tratar N. São necessárias temperaturas mais elevadas e maior número de estufas em funcionamento.

Tabela 3.1 - Condições de impregnação para as referências selecionadas

Referência	Temperatura <i>setpoint</i> do ar (°C)						
	Estufa 1	Estufa 2	Estufa 3	Estufa 4	Estufa 5	Estufa 6	Estufa 7
P1	175	175	250	250	150	250	250
P2							
N	160	120	228	228	0	0	0

Com base em estudos já efetuados na C-ITA, para as telas de *rayon*, a temperatura das telas dentro das estufas depende do *dtex* das mesmas. Este estudo mostra que para baixos valores de *dtex*, a diferença de temperaturas entre o ar e a tela é nula. No entanto, para valores de *dtex* mais elevados espera-se uma diferença de cerca de 10°C. Isto deve-se ao facto da resistência à transferência de calor, no caso do *dtex* mais elevado, ser maior.

Assim, uma vez que os valores de *dtex* para as telas produzidas de *nylon* e poliéster variam entre 940 e 3340, considerou-se que a diferença de temperaturas entre o ar e a tela seria nula, tanto para as referências P1 e P2 como para N, pois estas possuem baixos valores de *dtex*. O referido estudo também revela que a emissividade ( $\epsilon$ ) da tela impregnada é de 0,98.

No que respeita à recolha de dados, estudou-se duas temperaturas de *setpoint* para o arrefecimento da água na torre de arrefecimento, 30°C e 37°C. A primeira temperatura, como referido anteriormente, corresponde ao atual *setpoint*, enquanto a segunda, foi sugerida pela própria C-ITA. O ensaio a 37°C só foi efetuado para as telas de *nylon*, pois para realizar o mesmo ensaio com telas em poliéster seria necessário alongar o tempo de ensaio. Além disso, como o tratamento do poliéster requer condições de temperatura mais elevadas, a

necessidade de arrefecimento é maior e portanto dispor de água a 37°C podia provocar um sobreaquecimento.

Com o ensaio a 37°C, distinguido como N37, pretendeu-se comparar os consumos elétricos da torre de arrefecimento e o comportamento do sistema, quando o *setpoint* sofre um aumento de 7°C.

Assim, acompanhou-se as impregnações das telas correspondentes às referências selecionadas, para as quais foram registadas as temperaturas da água, do ar ambiente e das chumaceiras e, fez-se o registo dos consumos de água de reposição e dos consumos elétricos relativos à torre de arrefecimento.

Relativamente aos caudais de água de refrigeração, estes foram medidos uma única vez em cada rolo, tendo-se considerado constantes para efeito da avaliação energética. Isto porque, o procedimento só podia ser realizado nos períodos de paragem para manutenção e limpeza da máquina *ZELL* e, com auxílio de um técnico de pichelaria.

### 3.1.1. Temperaturas médias da água de refrigeração e características do ar

Nesta secção são apresentadas as temperaturas médias da água de refrigeração e do ar ambiente, bem como as respetivas humidades relativas médias, tendo em atenção todos os ensaios efetuados. Os valores medidos podem ser consultados na secção C.1, tabelas C.1 a C.6.

#### *Temperaturas médias da água à entrada dos rolos*

Assumiu-se que a temperatura da água à entrada dos rolos seria igual à temperatura desta, no tanque de água fria.

Assim, utilizou-se um termopar do tipo K, da marca *testo*, para medir a temperatura da água no tanque. A sonda encontrava-se calibrada e possuía uma resolução de 0,1°C na gama desde -50°C a 199,9°C.

De seguida, na tabela 3.2 são apresentadas as temperaturas médias obtidas, para os ensaios realizados.

Tabela 3.2 - Temperaturas médias da água à entrada dos rolos

Referência	Setpoint (°C)	Temperatura média (°C)
P1	30	28,5
P2		29,1
N		28,3
N37	37	34,8

Comparando a temperatura média da água à entrada dos rolos, com o *setpoint* definido para a saída de água da torre de arrefecimento, constata-se que esta arrefece ligeiramente devido à evaporação verificada no tanque de água fria.

As temperaturas médias obtidas são afetadas, principalmente, pelo funcionamento da torre de arrefecimento. Esta é acionada automaticamente por um controlador, quando a água à saída da torre atinge temperaturas superiores ao *setpoint* definido.

#### *Temperaturas médias da água à entrada da torre de arrefecimento*

A temperatura da água, à entrada da torre de arrefecimento, foi medida no tanque de água quente, utilizando o termopar já mencionado, sendo os valores médios obtidos apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Temperaturas médias da água à entrada da torre de arrefecimento

Referência	Setpoint (°C)	Temperatura média (°C)
P1	30	35,6
P2		37,1
N		30,3
N37	37	36,3

Relativamente aos valores apresentados na tabela 3.3, verifica-se que a temperatura média da água, à entrada da torre, é mais baixa para a referência N, facto que está relacionado com as diferentes condições de impregnação (ver tabela 3.1).

*Temperaturas médias da água à saída dos rolos*

A temperatura da água à saída dos rolos foi medida diretamente na zona de descarga, utilizando o termopar do tipo K já mencionado. De seguida, as figuras 3.2 e 3.3 apresentam as temperaturas médias obtidas, para a água à saída dos rolos dos grupos tratores 1 e 3. Estas temperaturas foram determinadas usando os valores mais próximos (das 3 réplicas), a variar numa gama de 2°C. Na ausência valores concordantes, usou-se o valor mais elevado de temperatura.

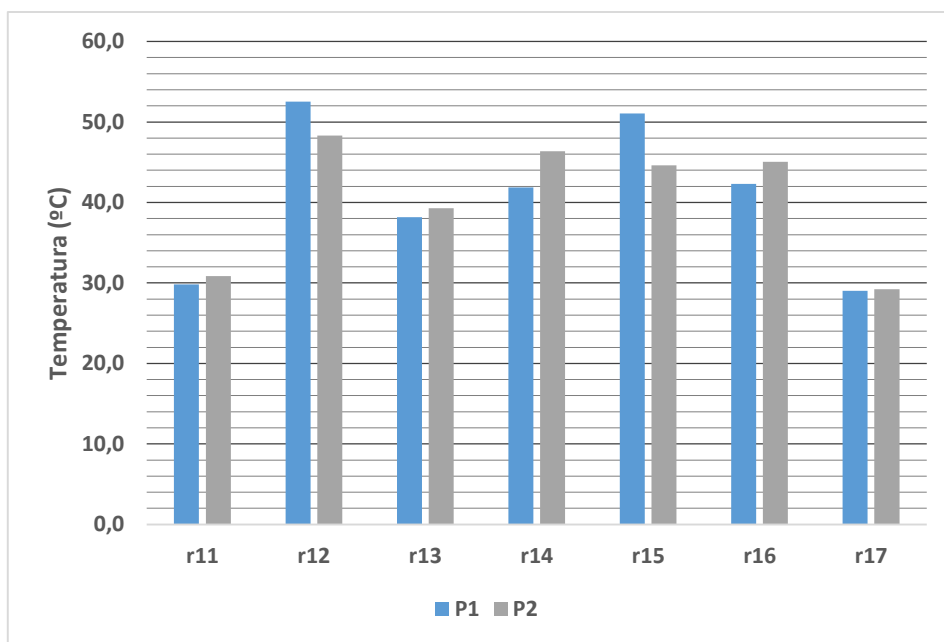


Figura 3.2 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 1 para a referência P1 e P2

De acordo com a figura 3.2, as temperaturas médias da água, à saída dos rolos do grupo trator 1, variam entre 29°C e cerca de 53°C, estando as diferenças de temperatura entre os rolos relacionadas, sobretudo, com os diferentes caudais de água que circulam no interior dos rolos, visto a localização destes ser semelhante.

No grupo trator 3, apresentado pela figura 3.3, as temperaturas variam entre 28°C e 49°C aproximadamente. Para este grupo trator a gama de temperaturas é ligeiramente inferior à obtida no grupo trator 1, pois a tela realiza um percurso mais extenso no exterior das estufas, até alcançar os rolos do grupo trator 3, resultando no seu maior arrefecimento.

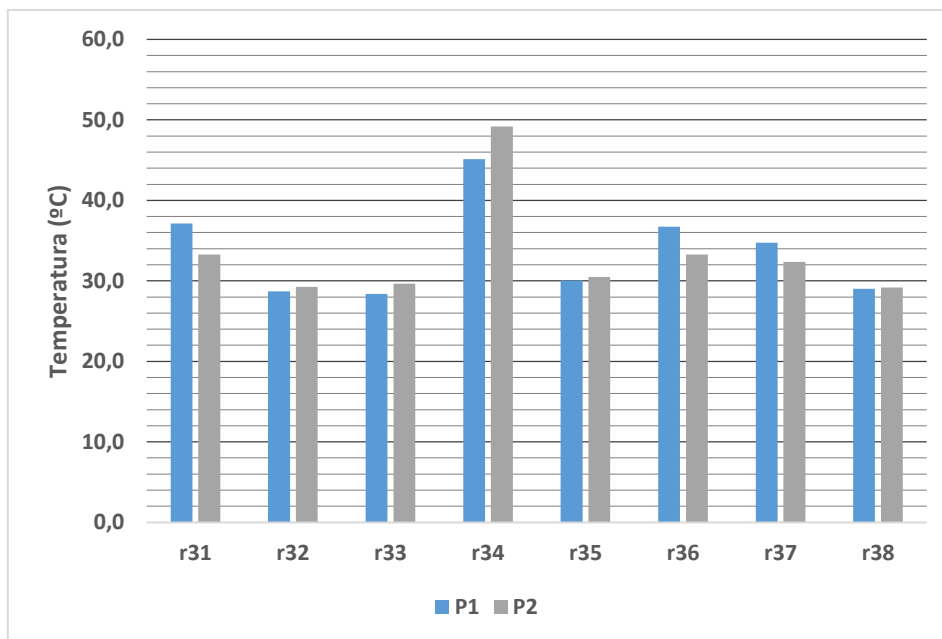


Figura 3.3 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 3 para a referência P1 e P2

Seguidamente, na figura 3.4 encontram-se representadas as temperaturas médias obtidas nos rolos R1 a R29, para as referências P1 e P2.

Na figura 3.4, observam-se grandes diferenças nas temperaturas médias da água à saída dos rolos. Isto deve-se aos diferentes caudais de água e diferentes posicionamentos dos rolos relativamente às estufas. Também se verifica que as temperaturas médias da água variam de forma semelhante, entre 30°C e cerca de 85°C, para ambas as referências.

Comparando as duas referências, verifica-se que a diferença entre as temperaturas médias é menor ou igual a 5°C, exceto para os rolos R3, R22, R23, R26 e R29.

Posteriormente, na figura 3.5 encontram-se representadas as temperaturas médias da água obtidas nos rolos R1 a R29, para as referências N e N37.

Conforme apresentado na figura 3.5, as temperaturas médias da água à saída dos rolos variam entre 28°C e 53°C, para a referência N, e entre 35°C e 78°C para a referência N37.

Em relação à referência N, verifica-se que as temperaturas da água, à saída dos rolos R17 a R29, são constantes e aproximadamente iguais à temperatura da água à entrada. Esta corresponde a 28,3°C, de acordo com a tabela 3.2, apresentada anteriormente.

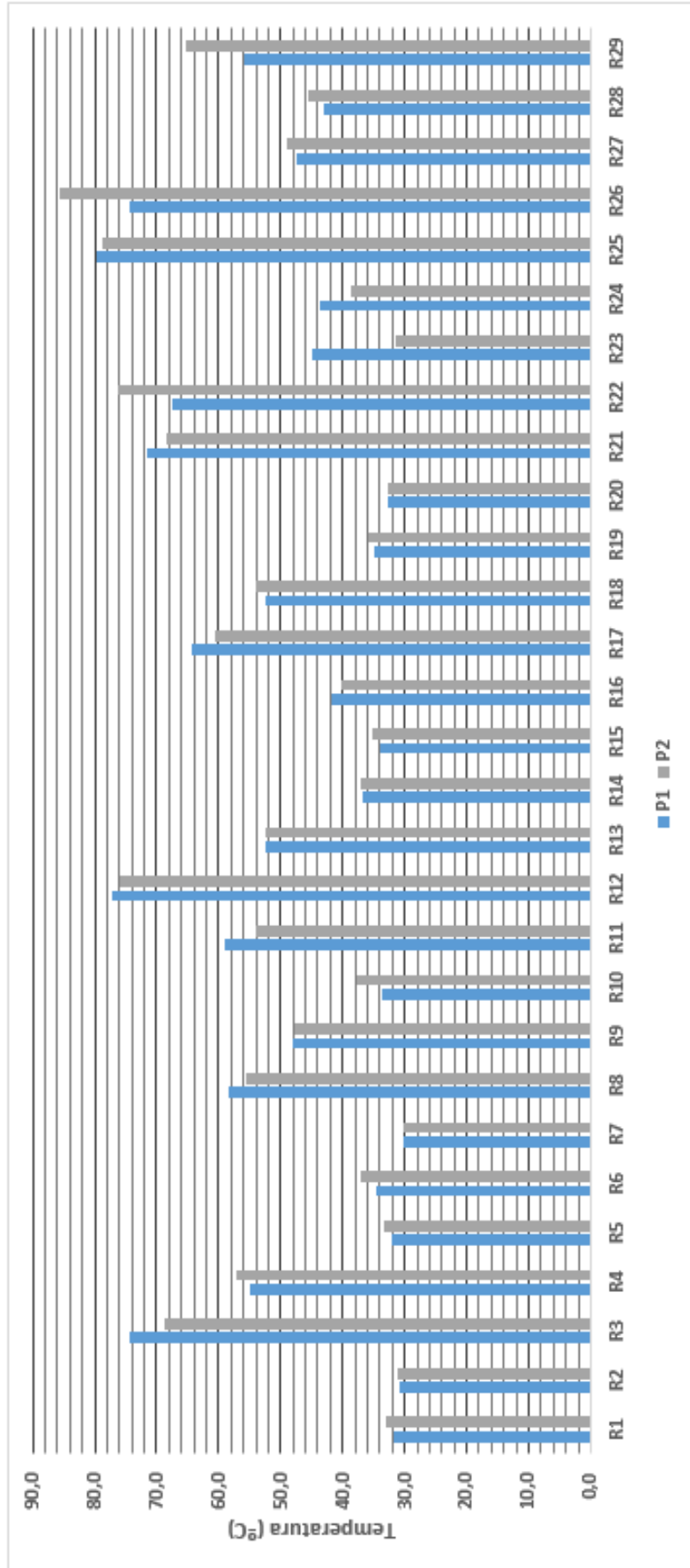


Figura 3.4 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos R1 a R29 para as referências P1 e P2

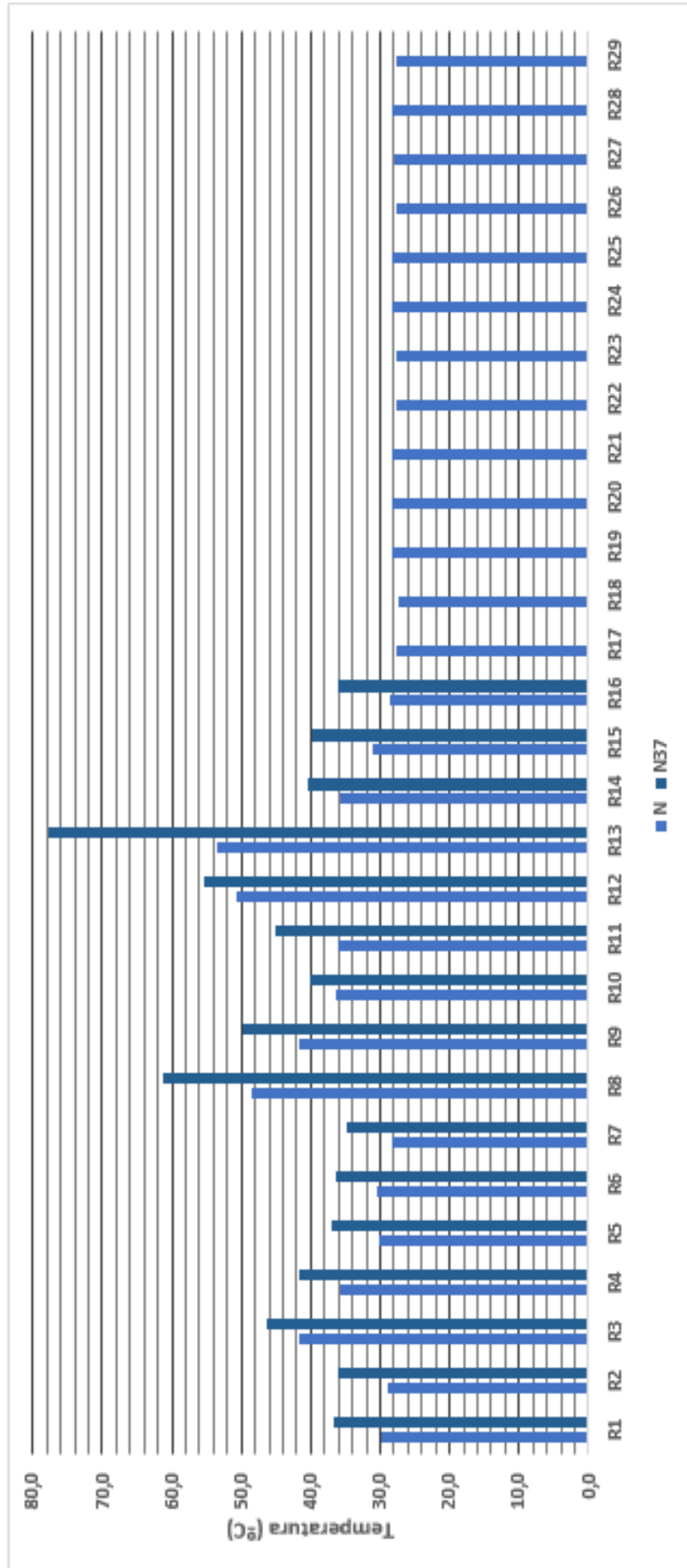


Figura 3.5 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos R1 a R29 para as referências N e N37

Para a referência N37, não foram medidas as temperaturas da água dos rolos R17 a R29, pois verificou-se, a partir do ensaio efetuado a N, que a temperatura da água se mantém constante, entre a entrada e a saída. De facto, a água mantém-se com a mesma temperatura, pois as estufas que abrangem este conjunto de rolos, não estão ligadas durante a impregnação das referências N e N37.

As temperaturas médias à saída dos restantes rolos (desde R1 a R16) assumem valores variados, o que se justifica com base nos diferentes caudais de água de circulação e na localização dos rolos na máquina.

Em seguida, encontram-se representadas na da figura 3.6, as temperaturas médias da água obtidas à saída dos rolos, do grupo trator 1.

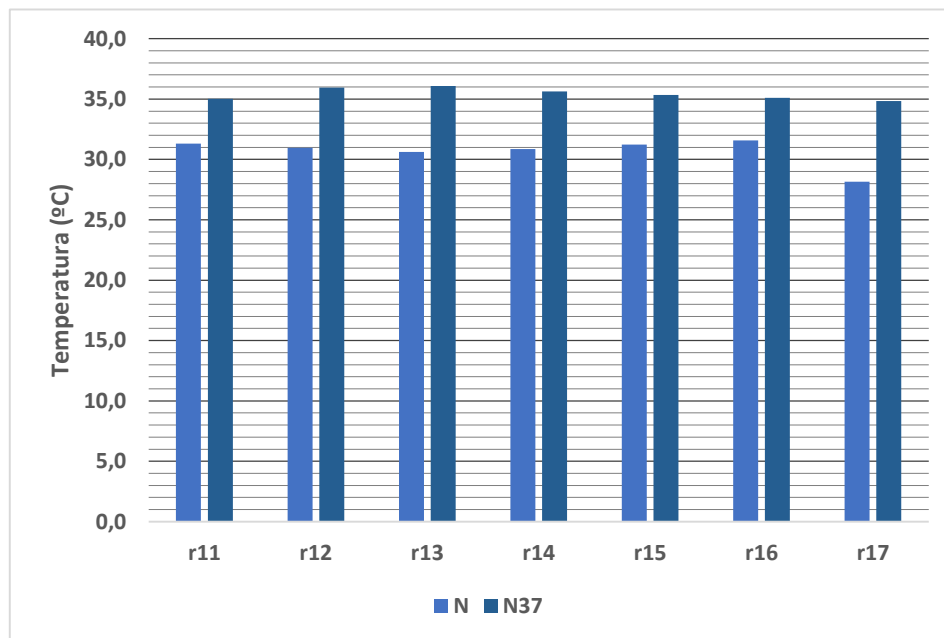


Figura 3.6 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 1 para a referência N e N37

Para o grupo trator 1, as temperaturas médias da água são semelhantes nos sete rolos, variando entre 28°C e cerca de 32°C para a referência N e entre cerca de 35°C e 36°C para a referência N37.

Comparando os valores apresentados na figura 3.6, com as temperaturas da água à entrada dos rolos, verifica-se um ligeiro aquecimento. A água à entrada dos rolos, como apresentado na tabela 3.2, encontra-se a 28,3°C e a 34,8°C, para N e N37, respetivamente.

Seguidamente, as temperaturas médias da água, obtidas para a referência N, à saída dos rolos do grupo trator 3, encontram-se representadas na figura 3.7.

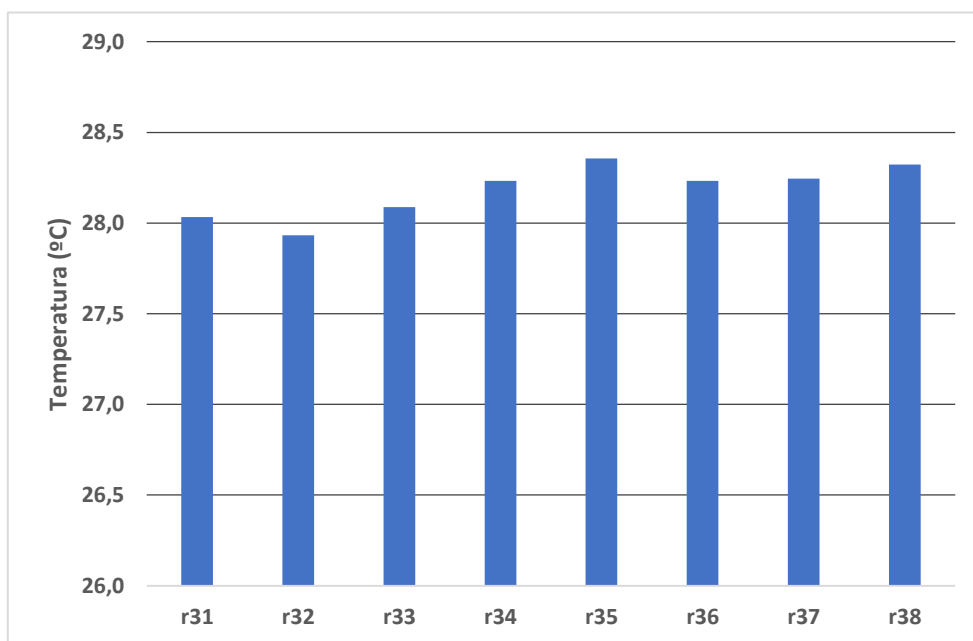


Figura 3.7 - Temperaturas médias da água à saída dos rolos do grupo trator 3 para a referência N

Como se pode observar pela figura 3.7, as temperaturas obtidas, no conjunto de rolos apresentado, são semelhantes e próximas da temperatura da água à entrada, 28,3°C.

Para a referência N37, não se mediu as temperaturas da água no grupo trator 3, porque já se tinha verificado com N, não existir aumento de temperatura da água.

#### *Temperaturas ambientes e humidades médias*

A temperatura ambiente mediu-se na envolvente exterior do edifício da máquina ZELL e na envolvente interior, utilizando um termohigrómetro eletrónico da marca Fluke, com uma resolução 0,1°C para a gama entre -20°C a 60°C. Este equipamento também foi utilizado para medir a humidade relativa do ar na envolvente exterior, apresentando uma resolução de 0,1% RH para uma gama de valores entre 5% e 95%.

Na tabela 3.4 encontram-se os valores médios de temperatura ambiente e a humidade relativa na envolvente exterior à máquina de impregnar.

Relativamente à envolvente interior do edifício da máquina ZELL, esta foi dividida por dois setores, A e B, e pelos pisos 1, 2 e 7, como apresentado na tabela 3.5. Ao setor A correspondem as estufas 1, 2, 3 e 4 e ao setor B as estufas 5, 6 e 7.

Tabela 3.4 - Temperaturas ambientes médias e humidades relativas médias na envolvente exterior ao edifício da máquina ZELL

Referência	Temperatura média (°C)	Humidade relativa média (%)
<b>P1</b>	20,8	47,4
<b>P2</b>	22,6	58,3
<b>N</b>	22,8	56,5
<b>N37</b>	21,1	63,7

Tabela 3.5 - Temperaturas ambientes médias na envolvente interior do edifício da máquina ZELL

Referência	Setor	Piso	Temperatura média (°C)
<b>P1</b>	<b>A</b>	<b>1</b>	28,3
		<b>2</b>	24,7
		<b>7</b>	36,0
	<b>B</b>	<b>2</b>	25,3
		<b>7</b>	37,8
<b>P2</b>	<b>A</b>	<b>1</b>	29,3
		<b>2</b>	29,4
		<b>7</b>	40,2
	<b>B</b>	<b>2</b>	28,7
		<b>7</b>	40,3
<b>N</b>	<b>A</b>	<b>1</b>	27,9
		<b>2</b>	25,4
		<b>7</b>	35,9
	<b>B</b>	<b>2</b>	25,3
		<b>7</b>	30,3
<b>N37</b>	<b>A</b>	<b>1</b>	24,8
		<b>2</b>	24,2
		<b>7</b>	33,1
	<b>B</b>	<b>2</b>	-
		<b>7</b>	-

A temperatura no setor B não foi medida, para a referência N37, visto este setor não se encontrar com aquecimento.

### 3.1.2. Temperaturas médias das chumaceiras

A temperatura média das chumaceiras foi obtida através da leitura em três pontos equidistantes entre si e com o mesmo raio, utilizando um pirómetro de infravermelhos da marca Fluke, com uma resolução 0,2°C para a gama entre -32°C a 535°C.

Para os rolos R1 a R29, leu-se a temperatura das chumaceiras situadas nas extremidades de entrada e de saída da água, sendo apresentados os valores médios obtidos, nas figuras 3.8 e 3.9, respetivamente. Os valores de temperatura medidos podem ser consultados na secção C.2, tabelas C.7 e C.8.

Analisando a figura 3.8, verifica-se que as chumaceiras, situadas nas extremidades de entrada de água, não atingiram temperaturas superiores a 50°C, para todas as referências estudadas. As temperaturas médias mais altas correspondem à referência P2, o que está relacionado sobretudo com a influência da temperatura ambiente, que no caso da referência P2 apresenta valores médios superiores (tabela 3.5).

Relativamente à referência N, verifica-se que a partir do rolo R17 as temperaturas das chumaceiras são constantes e próximas dos 30°C.

Conforme apresentado na figura 3.9, as chumaceiras, situadas nas extremidades de saída de água, atingiram temperaturas máximas, próximas dos 70°C em alguns rolos. Também, nesta figura, as temperaturas mais altas correspondem à referência P2.

Comparando as temperaturas médias obtidas nas chumaceiras das extremidades de saída, com as apresentadas na figura 3.8, verifica-se que as temperaturas correspondentes, às zonas de saída de água, são mais altas.

Na figura 3.9, observa-se que a partir do rolo R17 as temperaturas das chumaceiras, relativas à referência N, são constantes e próximas dos 30°C.

Seguidamente, nas figuras 3.10 e 3.11 são apresentadas as temperaturas médias das chumaceiras, nas extremidades de entrada e saída de água, obtidas para os rolos do grupo trator 1 e 3, respetivamente. Os valores de temperatura medidos podem ser consultados na secção C.2, tabela C.9.

As chumaceiras no grupo trator 1 (figura 3.10) não atingiram temperaturas acima dos 50°C, sendo os valores mais altos, correspondentes à referência P2. Neste grupo trator é notória a tendência de redução de temperatura das chumaceiras, do primeiro até ao último rolo.

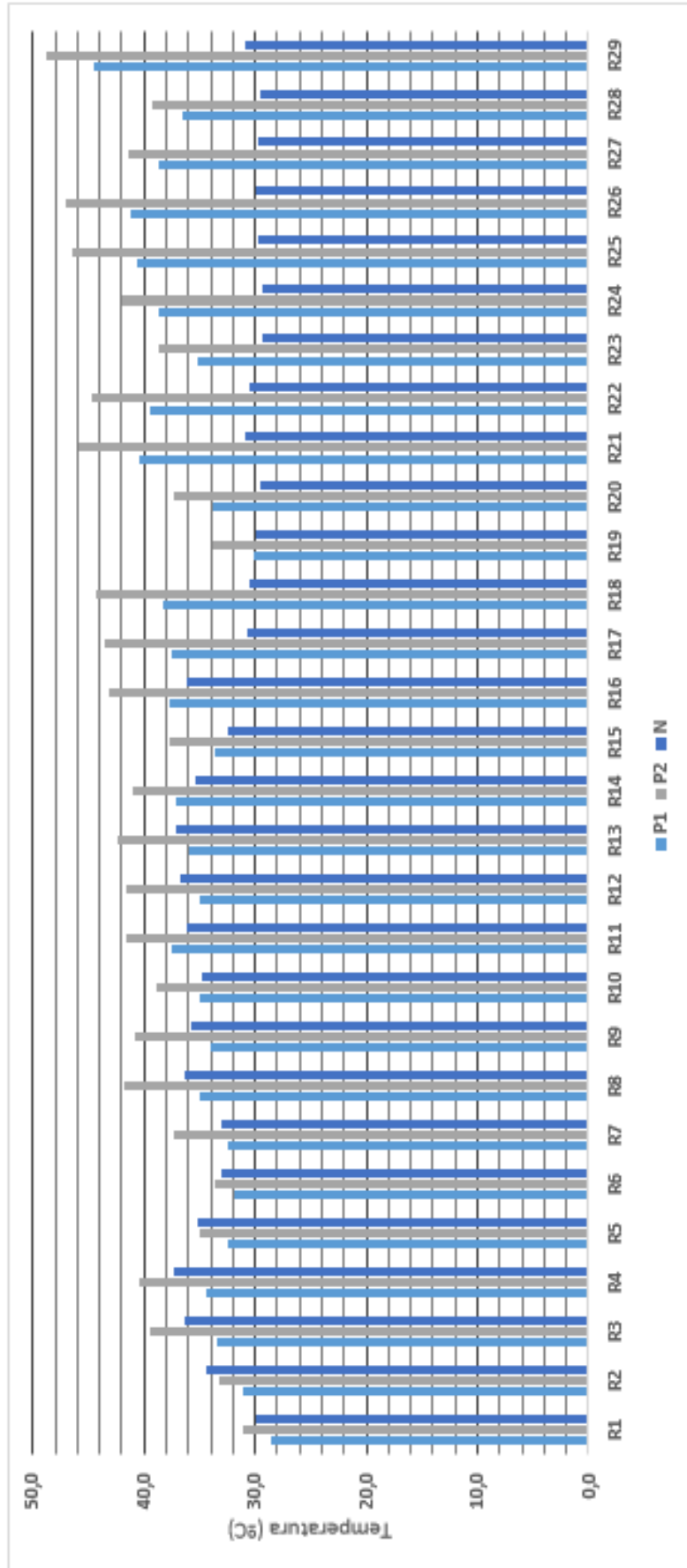


Figura 3.8 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de entrada de água para as referências P1, P2 e N

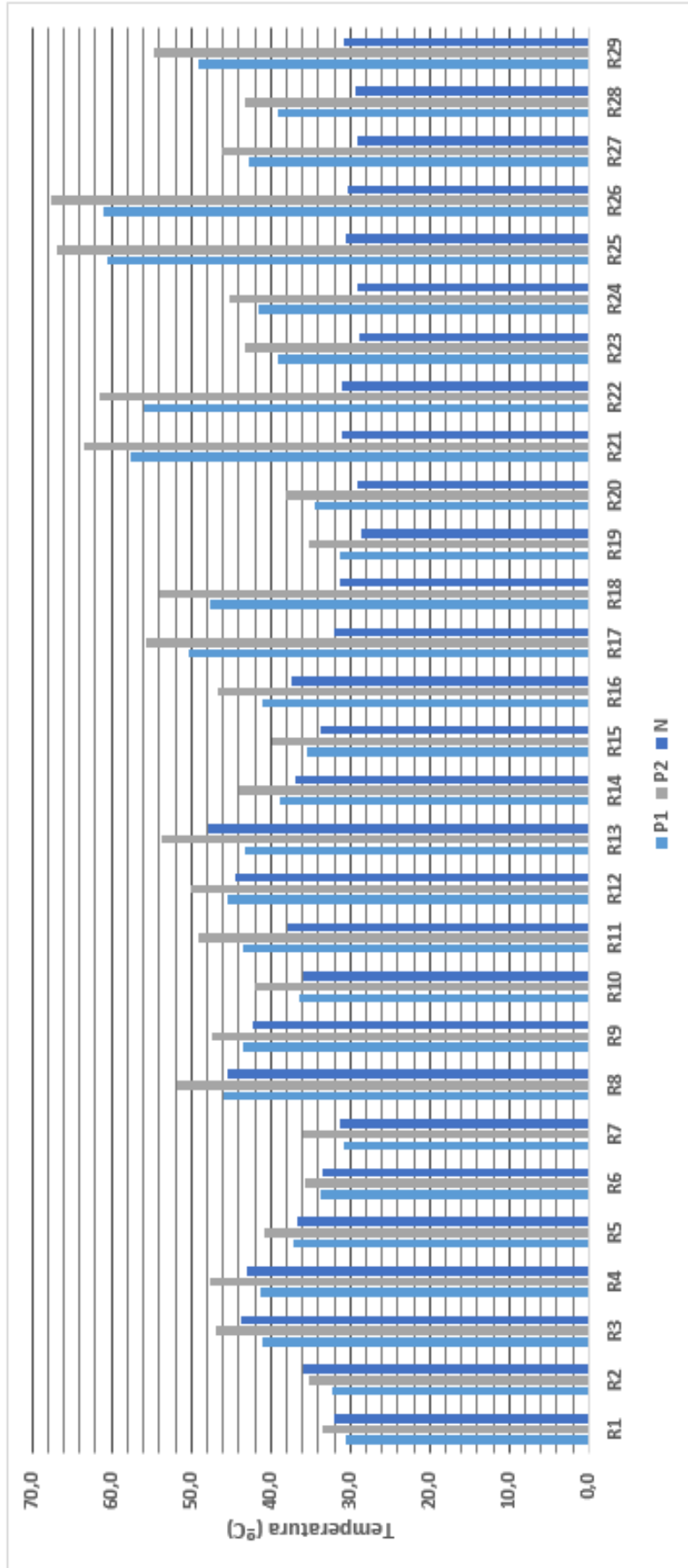


Figura 3.9 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de saída de água para as referências P1, P2 e N

Analisando a figura 3.11, as temperaturas das chumaceiras dos rolos do grupo trator 3, não ultrapassam os 40°C. Novamente, os valores mais elevados verificam-se no caso da referência P2.

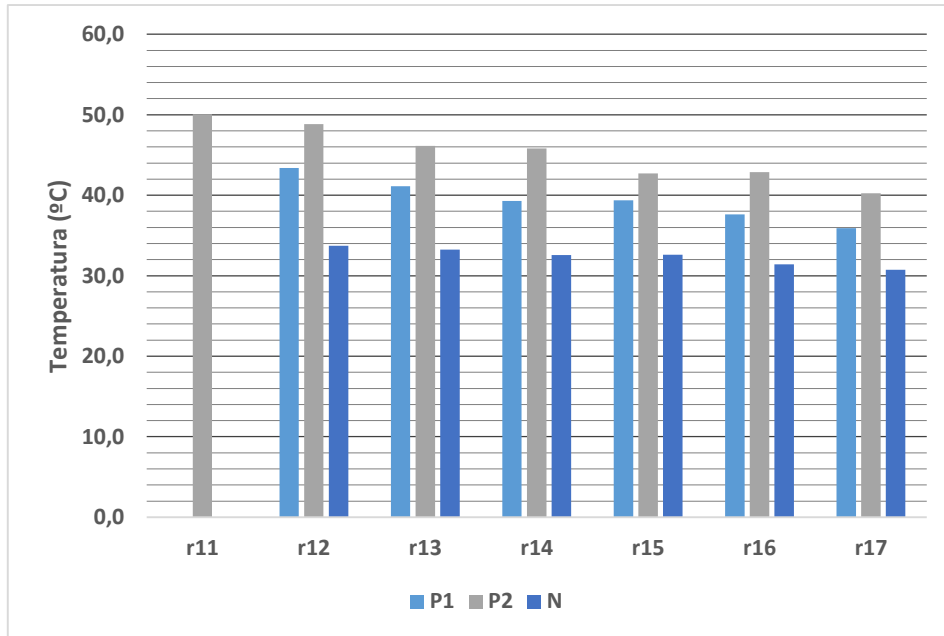


Figura 3.10 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de entrada e saída de água no grupo trator 1

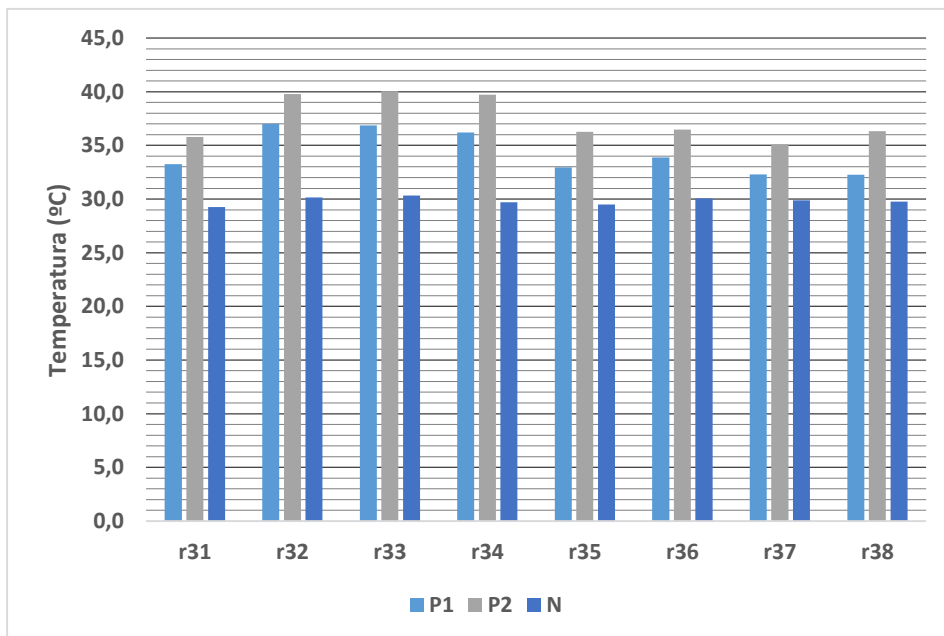


Figura 3.11 - Temperaturas médias das chumaceiras na extremidade de entrada e saída de água no grupo trator 3

### 3.1.3. Consumos médios de água de reposição

Os consumos de água reposta no sistema de refrigeração foram registados, durante os períodos de medição das temperaturas na máquina ZELL. Na tabela 3.6 são apresentados os valores médios de água consumida em m<sup>3</sup> por metro de tela. Os consumos de água registados podem ser consultados na secção C.3 (tabela C.10).

Para determinar o caudal de água de reposição considera-se que a velocidade de impregnação das referências P1 e P2 é de 75m/min e de 78m/min, para as referências N e N37.

Tabela 3.6 - Consumos médios de água de reposição

Referência	Volume x 10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /m)
P1	0,135
P2	0,127
N	0,117
N37	0,043

O consumo de água mostrou-se superior para a referência P1. Em contrapartida, o menor consumo está associado à referência N37. Para esta, o volume de água adicionado ao sistema é influenciado pelas condições ambiente, registadas nos períodos de medição, e também pelo facto do descalcificador se encontrar ou não, em regeneração.

Este volume de água alimentado ao sistema corresponde ao volume de água perdido por evaporação no mesmo período de tempo.

### 3.1.4. Consumos médios de energia elétrica associados ao circuito de refrigeração

O consumo de eletricidade do circuito de refrigeração engloba o consumo na torre de arrefecimento e as duas bombas existentes. Este consumo foi registado nos períodos de medição das temperaturas, sendo os valores médios obtidos apresentados na tabela 3.7. Os consumos de eletricidade registados podem ser consultados no anexo C.4 (tabela C.11).

O consumo de energia elétrica por parte das referências de tela P1 e P2, em relação a N e N37, é ligeiramente superior, o que está relacionado com o aquecimento das estufas.

*Tabela 3.7 - Consumos médios de energia elétrica por parte da torre de arrefecimento e das bombas*

<b>Referência</b>	<b>Energia Elétrica x 10<sup>3</sup> (kWh/m)</b>
<b>P1</b>	3,17
<b>P2</b>	3,25
<b>N</b>	2,25
<b>N37</b>	2,19

Para determinar a potência elétrica consumida, é necessário considerar as velocidades de impregnação das diferentes referências de tela.

### 3.1.5. Caudais volumétricos

Como referido anteriormente, na secção 3.1, a medição dos caudais volumétricos de água de refrigeração realizou-se durante os períodos de paragem de manutenção da máquina *ZELL*, sendo o caudal total correspondente a 10,25 L/s.

Na tabela 3.8 são apresentados os caudais volumétricos medidos nos rolos R1 a R29.

*Tabela 3.8 - Caudais volumétricos nos rolos R1 a R29*

<b>Rolos/ Caudais</b>			
<b>Rolo</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Rolo</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
<b>R1</b>	0,49	<b>R16</b>	0,40
<b>R2</b>	0,58	<b>R17</b>	0,05
<b>R3</b>	0,10	<b>R18</b>	0,07
<b>R4</b>	0,28	<b>R19</b>	0,35
<b>R5</b>	0,61	<b>R20</b>	0,39
<b>R6</b>	0,24	<b>R21</b>	0,10
<b>R7</b>	0,20	<b>R22</b>	0,10
<b>R8</b>	0,16	<b>R23</b>	0,31
<b>R9</b>	0,25	<b>R24</b>	0,40
<b>R10</b>	0,67	<b>R25</b>	0,11
<b>R11</b>	0,22	<b>R26</b>	0,09
<b>R12</b>	0,21	<b>R27</b>	0,30
<b>R13</b>	0,14	<b>R28</b>	0,39
<b>R14</b>	0,61	<b>R29</b>	0,01
<b>R15</b>	0,58		

Na tabela 3.9 encontram-se os valores dos caudais volumétricos medidos nos grupos tratores 1 e 3.

Tabela 3.9 - Caudais volumétricos nos rolos dos grupos tratores 1 e 3

Grupo Trator	Rolo	Caudal (L/s)
1	r11	0,09
	r12	0,17
	r13	0,18
	r14	0,19
	r15	0,13
	r16	0,19
	r17	0,23
3	r31	0,09
	r32	0,10
	r33	0,07
	r34	0,01
	r35	0,09
	r36	0,10
	r37	0,09
	r38	0,11

### 3.2. Perdas Térmicas

Para a avaliação e otimização energética do sistema de refrigeração da máquina *ZELL* quantificou-se a potência térmica removida em cada rolo, pela água de arrefecimento, que corresponde a uma parte da potência térmica dissipada pela tela por condução para os rolos.

Ao longo do percurso através da máquina, a tela, que à saída das estufas pode encontrar-se a 250°C, também perde potência térmica por convecção e radiação para o ar ambiente e para a vizinhança. Na figura 3.12 é apresentado o esquema representativo dos mecanismos térmicos de dissipação de calor pela tela.

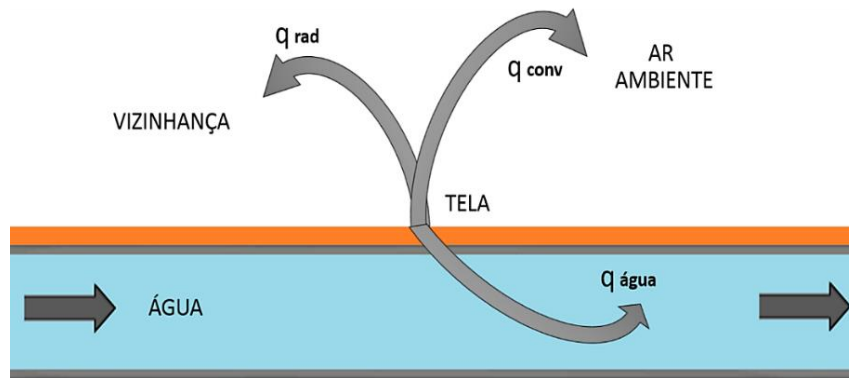


Figura 3.12 - Esquema dos mecanismos térmicos de dissipação de calor pela tela

### 3.2.1. Potência térmica removida pela água de arrefecimento

A potência térmica removida pela água de arrefecimento foi calculada a partir do caudal de água e da diferença de temperaturas entre a entrada e a saída dos rolos. Através da comparação dos valores obtidos, foi possível avaliar o arrefecimento nos rolos. Nas figuras 3.13 e 3.14 são apresentados os valores médios da potência térmica removida pela água, nos grupos tratores 1 e 3, respetivamente. O exemplo de cálculo relativo à determinação da potência térmica removida, pela água de arrefecimento, pode ser consultado no anexo D.1.

Pela análise efetuada à figura 3.13, verifica-se que a remoção de calor é maior nos rolos r12 a r16, onde os caudais e as diferenças de temperatura da água são superiores (rever tabela 3.9 e figura 3.2). Nestes rolos, as potências mais elevadas estão associadas às referências de tela P1 e P2.

Relativamente às referências N e N37, obteve-se potências bastante inferiores, tendo-se verificado que para N37 a remoção de calor foi sempre mais baixa, do que para N.

Nos rolos r11 e r17 obteve-se valores de potência reduzidos ou nulos, para as quatro referências estudadas. No caso do rolo r11, tanto o caudal como a variação da temperatura da água foram baixos, enquanto no rolo r17 a temperatura da água não variou (rever tabelas 3.2 e 3.9, e figuras 3.2 e 3.6).

Comparando os valores de potência apresentados através da figura 3.13, com os valores apresentados na figura 3.14, verifica-se que a ordem de grandeza é diferente. Para o grupo trator 3 (figura 3.14) as potências removidas pela água são muito inferiores. Além disso, neste grupo não existe remoção de calor pelas referências N e N37.

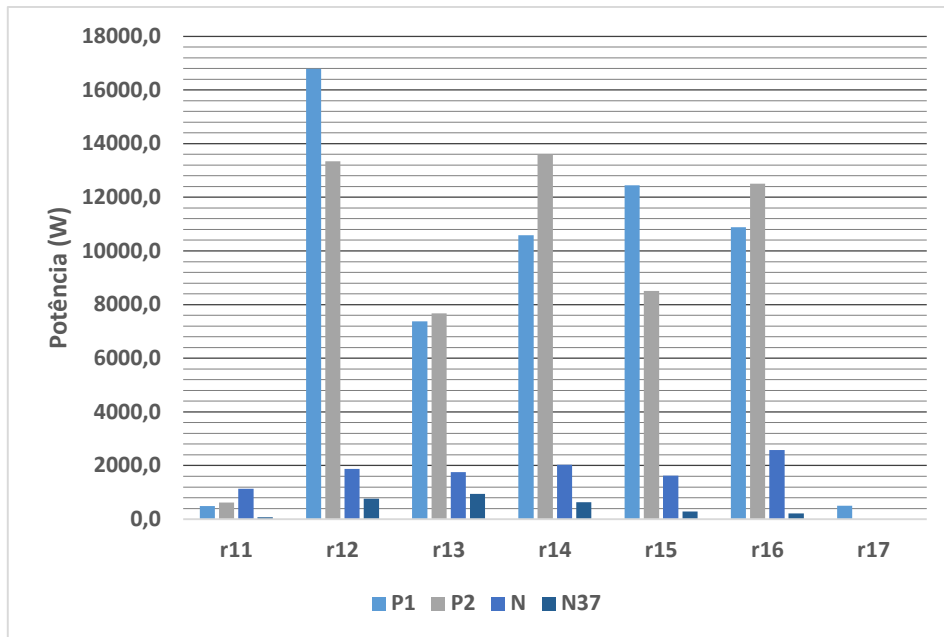


Figura 3.13 - Potência removida pela água no grupo trator 1

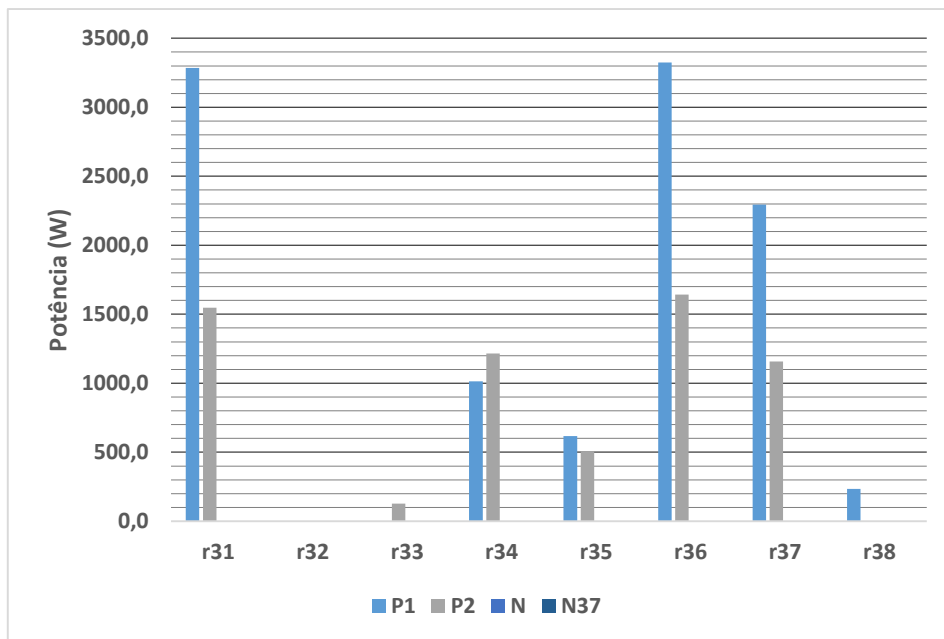


Figura 3.14 - Potência removida pela água no grupo trator 3

Nos rolos r32 a r35, e no rolo r38 (figura 3.14), as potências térmicas removidas são nulas ou não são significativas, enquanto nos rolos r31, r36 e r37 verificam-se potências ligeiramente superiores, devido às variações de temperatura da água e aos caudais mais elevados.

De seguida na figura 3.15, apresentam-se os valores da potência média removida pela água de arrefecimento, nos rolos R1 a R29.

Através da figura 3.15, é possível identificar-se três zonas correspondentes a diferentes gamas de remoção de calor. Na primeira, que engloba os rolos R1 a R7, verifica-se de uma maneira geral um aumento gradual da potência removida, sendo o valor máximo obtido para o rolo R4. A partir daí, como a tela passa a circular no exterior das estufas (rever figura 2.1), verifica-se uma diminuição da potência removida. Neste conjunto de rolos, as referências P1 e P2 apresentam valores de potência superiores, comparativamente com os valores apresentados pelas referências N e N37.

Na segunda zona, que engloba os rolos R8 a R16, a tendência dos valores de potência é semelhante à verificada na primeira zona, no entanto, para esta, a gama de valores é consideravelmente superior, tendo-se obtido máxima remoção de calor no rolo R12. Para este conjunto de rolos, não é tão notória a diminuição dos valores de potência, devido à circulação da tela no exterior das estufas que abrange rolos R14, R15 e R16 (figura 2.1). De um modo geral, também na segunda zona, as potências mais elevadas estão associadas às referências P1 e P2.

Quanto à terceira zona (rolos R17 a R29), verifica-se que não existe remoção de calor associada à impregnação das referências N e N37. Além disso, a gama de potências apresentada pelos rolos R17 a R20 é diferente da apresentada pelos rolos R21 a R28. Em R21 verifica-se o aumento da potência removida, que está estritamente relacionado com o aumento da temperatura da tela na estufa 6 (rever tabela 3.1).

Por fim o rolo R29 apresenta um valor de potência muito reduzido em relação aos restantes rolos. Isto deve-se ao facto de ser um rolo exterior e já em última linha de passagem da tela. Deste modo, a dissipação de energia por condução para o referido rolo é baixa.

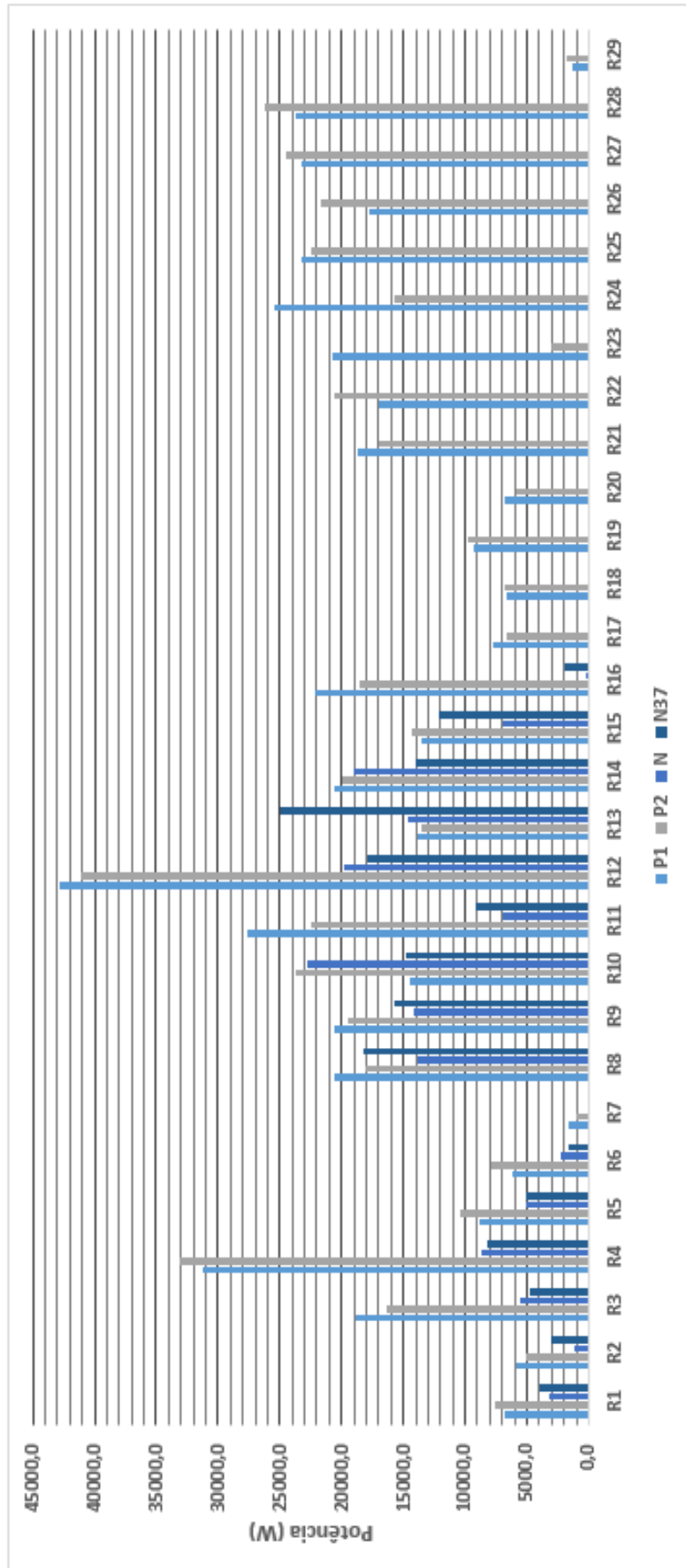


Figura 3.15 - Potência removida pela água nos rolos R1 a R29

### 3.2.2. Potência térmica de radiação

A transferência de calor por radiação entre superfícies, ao contrário de outros fenómenos de transferência de calor, não necessita de um meio físico para ocorrer, basta que as superfícies se encontrem a temperaturas diferentes.

No caso da tela impregnada, como a sua superfície se encontra a uma temperatura uniforme e bastante elevada,  $T_{sup}$ , verifica-se dissipação de calor por radiação para a vizinhança, que se encontra à temperatura  $T_{viz}$ , sendo  $T_{sup} \gg T_{viz}$ . Esta situação é comparável à transferência de calor entre um pequeno corpo e um grande espaço. Assim, admitindo superfície cinzenta, com absorvidade ( $\alpha$ ) igual à emissividade ( $\epsilon$ ), é possível determinar a potência térmica transferida por radiação ( $q_{rad}$ ) usando a equação 3.1, na qual as temperaturas  $T_{sup}$  e  $T_{viz}$  são absolutas (K) [10].

$$q_{rad} = \epsilon \sigma A (T_{sup}^4 - T_{viz}^4) \quad (3.1)$$

Na equação 3.1,  $A$  é a área da superfície de transferência de calor e  $\sigma$  é a constante de *Stefan-Boltzmann* ( $\sigma = 5,675 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ).

Para determinar a potência de radiação perdida pela tela, em contacto com os rolos, considerou-se que a sua temperatura é constante na passagem entre estufas, isto porque, não se conhecia os valores desta variável no exterior das estufas. De acordo com estudos efetuados anteriormente pela C-ITA, utilizou-se o valor de emissividade das telas de 0,98.

Relativamente à área de transferência de calor, esta depende do diâmetro dos rolos e da largura da tela, uma vez que se assume que a tela envolve toda a superfície dos rolos.

Na figura 3.16 apresenta-se a potência média de radiação, perdida pela tela, no grupo trator 1 e 3, visto os valores serem iguais para todos os rolos do mesmo grupo. O exemplo de cálculo, relativo à determinação da potência térmica perdida por radiação pela tela, pode ser consultado no anexo D.2.

De acordo com a figura 3.16, verifica-se que as perdas térmicas por radiação são superiores no caso das referências de tela P1 e P2, relativamente às referências N e N37. No grupo trator 1 a potência perdida pelas referências de tela P1 e P2 é inferior ao valor perdido pelas mesmas referências, no grupo trator 3. No que toca às referências N e N37, as perdas por radiação são consideravelmente baixas no grupo trator 1 e nulas no grupo trator 3.

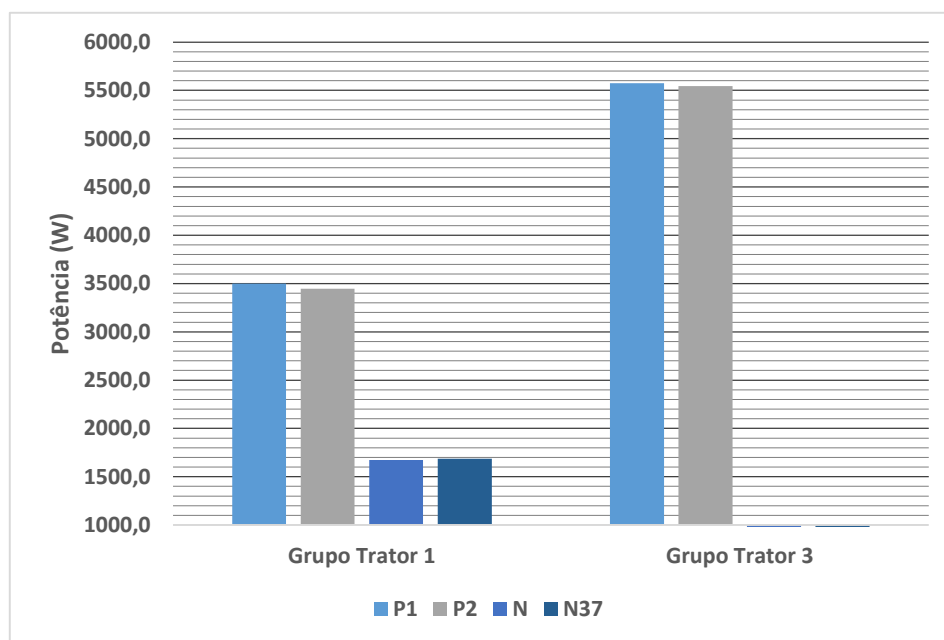


Figura 3.16 - Potência perdida por radiação pela tela nos grupos tratores 1 e 3

Seguidamente, na tabela 3.10, apresenta-se a potência térmica perdida por radiação pela tela, nos rolos R1 a R29.

Através desta tabela verifica-se que a tela apresenta perdas de radiação nulas, nos rolos R3, R4, R12, R13, R21, R22, R25 e R26. Estes rolos encontram-se no interior das estufas termicamente isoladas, onde a tela e a vizinhança estão praticamente à mesma temperatura. Os rolos R8 e R9 encontram-se no interior da estufa 3, no entanto, apresentam perdas por radiação uma vez que esta estufa funciona com o tampo superior aberto. Assim, determinou-se as perdas por radiação assumindo a temperatura da tela igual à média entre a sua temperatura no interior da estufa e a temperatura ambiente no local.

A partir do rolo R17 até ao R29, as perdas de térmicas associadas às referências de tela N e N37 são nulas, pois o aquecimento das estufas 5, 6 e 7 está desligado e considera-se que tanto o ar como a tela se encontram à mesma temperatura. Nos restantes rolos, o calor perdido pela tela é maior para as referências P1 e P2, comparativamente com as referências N e N37. Também as potências mais elevadas estão relacionadas com os rolos situados à saída das estufas, que funcionam a temperaturas altas.

Tabela 3.10 - Potência perdida por radiação pela tela nos rolos R1 a R29

Rolo	Potência (W)			
	P1	P2	N	N37
R1	3459	3447	2832	2867
R2				
R3	0	0	0	0
R4				
R5	3459	3447	1644	1679
R6				
R7	3501	3446	1674	1687
R8	4845	4780	3795	3834
R9				
R10	7230	7175	5788	5801
R11				
R12	0	0	0	0
R13				
R14	7230	7175	5788	5801
R15				
R16	7094	7040	5664	5699
R17	2450	2416	0	0
R18				
R19	2602	2562	0	0
R20				
R21	0	0	0	0
R22				
R23	7224	7184	0	0
R24				
R25	0	0	0	0
R26				
R27	7224	7184	0	0
R28				
R29	7072	7038	0	0

### 3.2.3. Potência térmica de convecção

A transferência de calor por convecção estabelece-se através da interação entre um fluido em movimento (livre ou forçado) e uma superfície, que se encontra a uma temperatura diferente. Esta é provocada por mecanismos de difusão, relacionados com o movimento aleatório das moléculas junto à superfície, e pelo movimento de massa, ou macroscópico, do fluido.

Entre o fluido e a superfície desenvolve-se uma camada hidrodinâmica, chamada camada limite ou filme, na qual se verificam variações de temperatura e de velocidade do fluido.

Em convecção, a transferência de calor determina-se através da equação 3.2, na qual  $h$  ( $W/(m^2 \cdot K)$ ) corresponde ao coeficiente de transferência de calor,  $A$  corresponde à área da superfície de transferência, enquanto  $T_{sup}$  e  $T_{\infty}$  são as temperaturas da superfície e do fluido, respetivamente.

$$q_{conv} = hA(T_{sup} - T_{\infty}) \quad (3.2)$$

O coeficiente de transferência de calor depende das condições da camada limite, que são influenciadas pela geometria da superfície, pela natureza do movimento do fluido e pelas suas propriedades termodinâmicas, avaliadas à temperatura média do filme.

Neste estudo, a transferência de calor ocorre entre a superfície da tela, em movimento de rotação em torno dos rolos, e o ar. A tela, com velocidade angular  $\omega$  ( $s^{-1}$ ) e temperatura uniforme  $T_{sup}$ , dissipa calor para o ar ambiente que se encontra à temperatura  $T_{\infty}$ , sendo  $T_{sup} \gg T_{\infty}$ .

Para determinação do calor transferido pela tela considerou-se que esta se comporta de forma semelhante a um cilindro horizontal em rotação e, portanto recorreu-se à equação empírica 3.3 de convecção forçada. Esta equação relaciona o número de *Reynolds*,  $Re$ , com o *Nusselt*,  $Nu$  e é válida para  $Re > 10000$  [11].

$$Nu = 0,022Re^{0,821} \quad (3.3)$$

Através da equação 3.3 é possível determinar  $h$ , utilizando o valor de  $Nu$  e os valores de  $D$  e  $k$ , correspondentes ao diâmetro do cilindro e à condutividade térmica do ar ( $W/(m \cdot K)$ ).

Em todo o caso, pode existir o regime de convecção natural combinado com o de convecção forçada (convecção mista), ou verificar-se unicamente regime de convecção natural.

Para determinar o  $Nu$  de convecção natural, no exterior de um cilindro horizontal, recorre-se à equação 3.4. Esta só é aplicável quando  $Ra_D \leq 10^{12}$  [12].

$$Nu = \left[ 0,6 + \frac{0,387 \times Ra_D^{1/6}}{(1 + (0,559/Pr)^{9/16})^{8/27}} \right]^2 \quad (3.4)$$

Nesta equação,  $Ra_D$  representa o número de *Rayleigh* e  $Pr$  o número de *Prandtl*. O número de *Rayleigh* obtém-se pelo produto do número de *Grashof*,  $Gr$ , pelo *Prandtl*.

Para determinar o regime de convecção utiliza-se a razão  $Gr/Re^2$ . Em função do valor desta razão considera-se o seguinte:

- $Gr/Re^2 \ll 1$  - Convecção forçada
- $Gr/Re^2 \gg 1$  - Convecção natural
- $Gr/Re^2 \sim 1$  - Convecção mista

Caso se verifique regime misto,  $Nu$  determina-se recorrendo à equação 3.5, em que  $Nu_F$  corresponde a convecção forçada e  $Nu_N$  corresponde a convecção natural.

$$Nu^n = Nu_F^n \pm Nu_N^n \quad (3.5)$$

O sinal no segundo membro depende do tipo de escoamento, sendo que o sinal positivo aplica-se a escoamentos paralelos e transversais, e o sinal negativo aplica-se a escoamentos opostos. Também a melhor correlação entre os dados é muitas vezes conseguida com expoente,  $n$ , igual a 3 [10].

Para a determinação da potência térmica de convecção, perdida pela tela, assumiu-se que a sua temperatura se mantém constante na passagem entre estufas. No anexo D.3, pode ser consultado o exemplo de cálculo relativo à referida determinação.

De seguida, a figura 3.17 apresenta a potência térmica média de convecção perdido pela tela, nos grupos tratores 1 e 3, sendo o seu valor igual, para todos os rolos do mesmo grupo. A partir desta figura, verifica-se que as perdas térmicas por convecção associadas às referências de tela P1 e P2 são mais elevadas, principalmente no grupo trator 3. Neste grupo, as referências N e N37 apresentam perdas de convecção nulas, uma vez que a temperatura da tela é igual à temperatura ambiente.

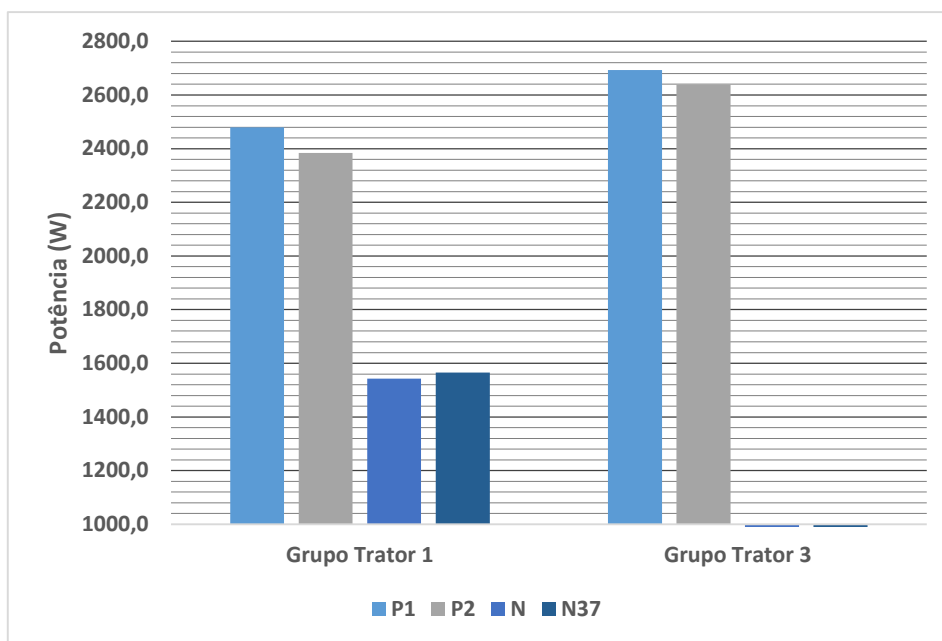


Figura 3.17 - Potência perdida por convecção pela tela nos grupos tratores 1 e 3

Na tabela 3.11, apresenta-se as perdas térmicas por convecção, nos rolos R1 a R29. Comparando os valores desta tabela com os da tabela 3.10, verifica-se que as potências de convecção são, consideravelmente, inferiores às potências térmicas perdidas por radiação. Também se constata que a tela não perde calor por convecção nos rolos R3, R4, R12, R13, R21, R22, R25, R26 nem nos rolos R17 a R29, para as referências N e N37. Isto porque estes rolos encontram-se no interior das estufas, onde a temperatura da tela é igual à temperatura ambiente. Na maioria dos rolos, a potência térmica perdida pela tela é superior para as referências P1 e P2.

Tabela 3.11 - Potência perdida por convecção pela tela nos rolos R1 a R29

Rolo	Potência (W)			
	P1	P2	N	N37
R1	2406	2374	2150	2211
R2				
R3	0	0	0	0
R4				
R5	2406	2374	1494	1553
R6				
R7	2479	2384	1543	1553
R8	1301	1274	1198	1217
R9				
R10	3723	3622	3313	3338
R11				
R12	0	0	0	0
R13				
R14	3723	3622	3313	3338
R15				
R16	3482	3395	3095	3153
R17	1808	1758	0	0
R18				
R19	2052	1983	0	0
R20				
R21	0	0	0	0
R22				
R23	3711	3637	0	0
R24				
R25	0	0	0	0
R26				
R27	3711	3637	0	0
R28				
R29	3445	3391	0	0

#### 3.2.4. Avaliação da importância dos mecanismos térmicos

Com base nas potências médias apresentadas nas secções 3.2.1 a 3.2.3, partiu-se para a avaliação dos mecanismos térmicos mais importantes no arrefecimento da tela e, consequentemente dos rolos. Assim, utilizando os valores correspondentes às referências de

tela P1 e P2, determinaram-se, para cada conjunto de rolos, as percentagens de potência térmica removida através da água de arrefecimento e potência térmica perdida por radiação e por convecção. A escolha das referências P1 e P2 para esta avaliação está relacionada com o facto destas apresentarem valores de potência mais elevados.

Na figura 3.18 são apresentadas as respetivas percentagens de potência média perdida nos rolos do grupo trator 1.

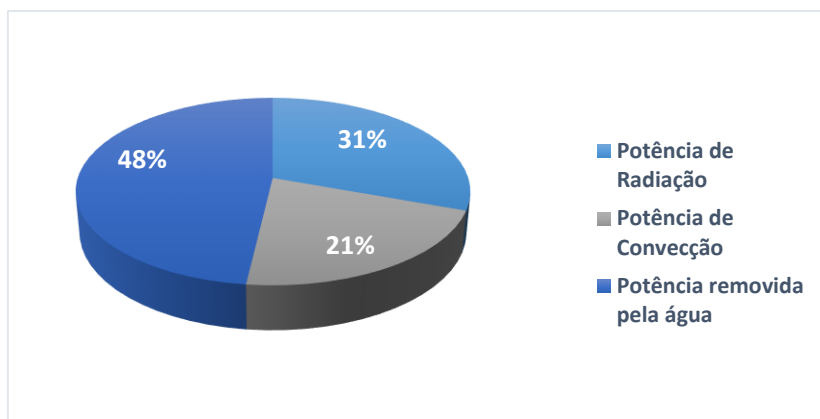


Figura 3.18 - Percentagem de potência média perdida no grupo trator 1

Pela análise desta figura verifica-se que existe maior dissipação de calor através da água de refrigeração (48%), no entanto, as percentagens de potência perdida por radiação e por convecção também revelam um importante contributo na dissipação de calor no grupo trator 1.

Seguidamente, na figura 3.19 são apresentados os valores relativos ao grupo trator 3.

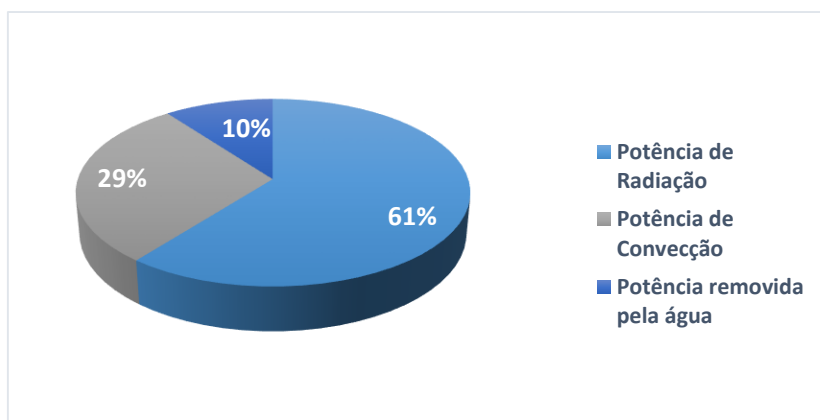


Figura 3.19 - Percentagem de potência média perdida no grupo trator 3

Através da análise da figura 3.19, verifica-se uma reduzida percentagem de potência removida pela água de arrefecimento (10%), comparando com as percentagens demonstradas pelos mecanismos de radiação e convecção na remoção de calor do grupo trator 3. Deste modo, considera-se possível dispensar a refrigeração neste grupo trator.

Na figura 3.20 apresentam-se percentagens de potência perdida nos rolos R1 a R29.

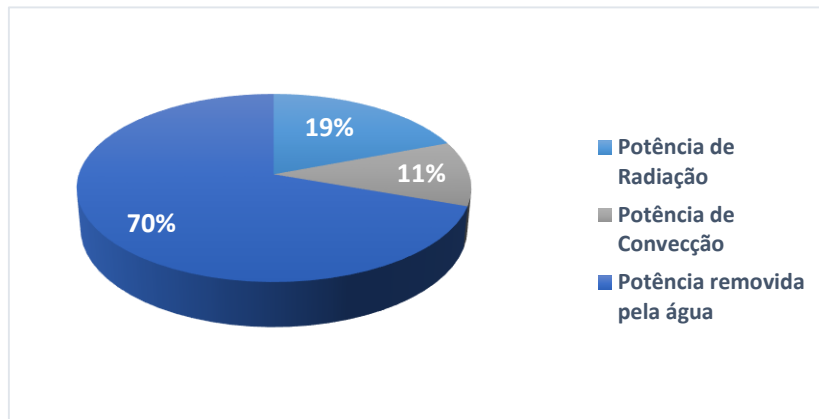


Figura 3.20 - Percentagem de potência média perdida nos rolos de R1 a R29

Analisando a figura 3.20, verifica-se que a percentagem de potência removida pela água de arrefecimento nos rolos R1 a R29 é bastante significativa (70%), o que justifica a existência de refrigeração. Relativamente às percentagens de potência perdida por radiação e por convecção neste conjunto de rolos, estas apresentam valores consideravelmente reduzidos, de 19% e 11%, respetivamente.

### 3.3. Avaliação das Necessidades de Arrefecimento

A avaliação das necessidades de arrefecimento da máquina ZELL compreende a análise dos dados de funcionamento do sistema de refrigeração, considerando as limitações de operação da própria máquina.

Na secção 2.2.1 foi referido que a limitação da temperatura de funcionamento dos rolamentos seria um dos motivos para a existência de refrigeração nos rolos. Segundo o fabricante de rolamentos SKF, a temperatura de funcionamento destas peças, salvo exceções para aplicações mais específicas, pode atingir 200°C. Assim, não sendo possível conhecer a temperatura dos rolamentos no interior das chumaceiras, mediu-se a temperatura nas superfícies externas, tendo-se apresentado os valores médios na secção 3.1.2. As medições

efetuadas não obtiveram temperaturas superiores a 70°C, aliás a grande maioria das chumaceiras apresentou temperaturas inferiores a 50°C, o que significa que os rolamentos no seu interior deverão encontrar-se a uma temperatura bastante abaixo dos 200°C. Deste modo, considera-se que o caudal de água utilizado na refrigeração dos rolos garante condições, mais que suficientes, de funcionamento dos rolamentos e, portanto equacionou-se o seu ajuste.

Pela análise da tabela 3.8 e para caudais superiores a 0,5 L/s fez-se um estudo no sentido da diminuição do seu valor, o que implica o aumento da temperatura da água à saída dos rolos. O referido estudo foi elaborado com base nas diferenças atuais de temperatura da água ( $\Delta T_{\text{atual}}$ ) e na diferença de temperatura máxima ( $\Delta T_{\text{máx}}$ ), que se define de seguida. Sabendo que a torre de arrefecimento foi projetada para uma temperatura máxima da água à entrada de 45°C (ver anexo A), estabeleceu-se 40°C para a água à saída dos rolos. Quanto à temperatura da água à entrada dos rolos utilizou-se 29°C, que corresponde ao valor médio experimental. Assim sendo, o  $\Delta T_{\text{máx}}$  definido é de 11°C.

Considerando que se transfere a mesma potência térmica da tela para a água de refrigeração, determinou-se o novo caudal de água ( $Q_{\text{novo}}$ ) em L/s, através das equações 3.6.

$$Q_{\text{novo}} = Q_{\text{atual}} \times \frac{\Delta T_{\text{atual}}}{\Delta T_{\text{máx}}} \quad (3.6)$$

Os valores obtidos para os novos caudais de água são apresentados na tabela 3.12. Nesta, também se apresenta a hipótese de eliminação do abastecimento de água de refrigeração aos rolos do grupo trator 3. Esta hipótese tem por base as baixas potências removidas à tela pela água de arrefecimento (figura 3.14 e 3.19), a temperatura máxima apresentada pelas chumaceiras que foi de 40°C (figura 3.11) e ainda os reduzidos caudais atuais e os valores de  $\Delta T_{\text{atual}}$ .

O corte de água de refrigeração no grupo trator 3 proporciona uma significativa redução do caudal total, o que num sistema de refrigeração visa a diminuição dos consumos elétricos. No entanto, é principalmente ao nível da corrosão dos rolos deste grupo que se considera que este corte possa trazer maiores benefícios pois, eliminando a água no seu interior, é possível reduzir consideravelmente a corrosão.

Tabela 3.12 - Ajuste do caudal de água de refrigeração

Rolo	$\Delta T_{\text{atual}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	Caudal atual (L/s)	Novo Caudal (L/s)
R1	3,4	0,49	0,15
R2	2,1	0,58	0,11
R5	3,6	0,61	0,20
R10	6,6	0,67	0,40
R14	7,9	0,61	0,44
R15	5,6	0,58	0,30
r31	6,2	0,09	-
r32	0,0	0,10	-
r33	0,0	0,07	-
r34	18,2	0,01	-
r35	1,3	0,09	-
r36	6,0	0,10	-
r37	4,5	0,09	-
r38	0,1	0,11	-
<b>Total</b>		4,20	1,60

Assim, de acordo com o estudo efetuado, o novo caudal total de refrigeração corresponde a 7,65 L/s, o que representa uma redução de cerca de 25% em relação a valor atual de 10,25 L/s. Este novo caudal foi determinado, subtraindo ao caudal atual, a diferença entre os valores totais da tabela 3.12.

### 3.4. Avaliação da Torre de Arrefecimento

Para avaliar o funcionamento da torre de arrefecimento começou-se por determinar a sua eficiência a partir da equação 3.7, sabendo que as variáveis  $T_{L2}$  e  $T_{L1}$  representam as temperaturas da água à entrada e à saída da torre de arrefecimento, respetivamente, e  $T_{w1}$  representa a temperatura húmida do ar à entrada [8].

$$Eficiência = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{w1}} \times 100 \quad (3.7)$$

Assim, utilizou-se as condições de funcionamento correspondentes à referência de tela P2, cuja temperatura média da água à entrada da torre de arrefecimento apresenta o valor mais

elevado,  $T_{L2}=37,1^{\circ}\text{C}$  (ver tabela 3.3). No caso da temperatura da água à saída da torre de arrefecimento considerou-se o valor atual de *setpoint* ( $T_{L1}=30^{\circ}\text{C}$ ).

A temperatura húmida do ar à entrada da torre de arrefecimento foi obtida recorrendo à carta psicométrica da figura F.1, sabendo que  $T_{G1}=22,6^{\circ}\text{C}$  e que a humidade relativa  $Y_{R1}=58,3\%$  (ver tabela 3.4). Assim,  $T_{w1}$  corresponde a  $17,2^{\circ}\text{C}$ .

Desta forma, utilizando a equação 3.7 obteve-se um rendimento térmico na ordem dos 36%, que é um valor bastante baixo para uma torre de arrefecimento.

Comparando as atuais condições de funcionamento (temperaturas e caudal de água de refrigeração) com as condições de projeto apresentadas na secção 2.2.2 e, tendo em conta o valor do rendimento térmico da torre de arrefecimento, constata-se que esta funciona muito abaixo da sua capacidade máxima. Contudo, não se coloca a hipótese de substituição da torre de arrefecimento existente. Em vez disso, pretende-se determinar o caudal volumétrico de ar húmido necessário para assegurar as necessidades de arrefecimento da máquina *ZELL* determinadas na secção 3.3.

Para tal, foi necessário determinar o caudal mássico de ar seco correspondente ao atual caudal de água de refrigeração de 10,25 L/s, o que permitiu conhecer o parâmetro característico do enchimento ( $k_y a$ ) e finalmente, através desse valor, determinar o caudal volumétrico de ar húmido necessário ao arrefecimento de 7,65 L/s de água.

#### 3.4.1. Determinação do caudal de ar

Para a determinação do caudal de ar introduzido na torre de arrefecimento utilizou-se as condições de funcionamento relativas à referência de tela P2. Esta determinação implicou a medição adicional das condições de temperatura e de humidade relativa do ar à saída da torre de arrefecimento ( $T_{G2}$  e  $\%Y_{R2}$ ). Estes valores foram medidos posteriormente apenas para a referência P2.

Em seguida, são apresentadas as referidas condições de funcionamento e o respetivo processo de cálculo do caudal de ar.

$$\text{Volume reposto} = 0,127 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{m tela}} \quad (\text{valor retirado da tabela 3.6})$$

$$\text{Caudal total} = 10,2 \frac{L}{s}$$

$$T_{L2} = 37,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{L1} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{G1} = 22,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad Y_{R1} = 58,3 \%$$

$$T_{G2} = 28,7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad Y_{R2} = 94,5 \%$$

Determinou-se os caudais mássicos de água considerando a massa volúmica da água líquida a 25°C ( $\rho_{\text{água}}=997,04 \text{ kg/m}^3$ ) e a velocidade da tela igual a 75m/min.

O caudal mássico de água após a torre de arrefecimento ( $L_1$ ) foi determinado, subtraindo o caudal de água de reposição ( $\dot{m}_{\text{reposto}}$ ) ao caudal à entrada ( $L_2$ ).

$$L_2 = 10,2 \times 10^{-3} \times 997,04 = 10,2 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{\text{reposto}} = 0,127 \times 10^{-3} \times \frac{75}{60} \times 999,04 = 0,20 \frac{kg}{s} \quad L_1 = 10,2 - 0,20 = 10,0 \frac{kg}{s}$$

Na figura 3.21 encontra-se uma representação esquemática da torre de arrefecimento onde constam as condições de funcionamento.

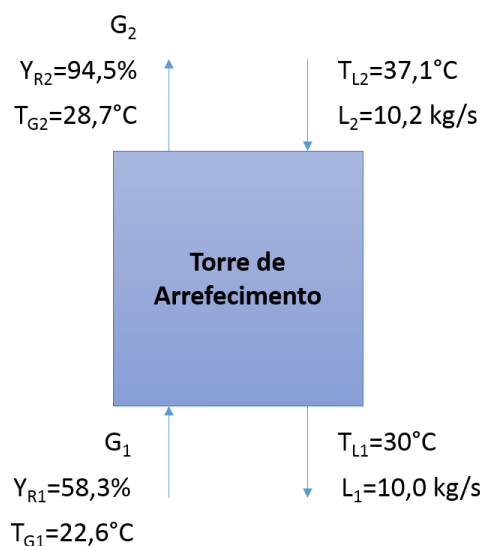


Figura 3.21 - Representação esquemática da torre de arrefecimento e das condições de funcionamento

Conhecendo os caudais mássicos de água e as condições das correntes de ar e de água, determinou-se o caudal de ar seco recorrendo ao balanço de energia da torre de arrefecimento (equação 3.8). Para isso, considerou-se processo adiabático ( $q=0$ ), em estado estacionário ( $\Delta U=0$ ) e  $W=0$ .

$$q + W + \sum He - \sum Hs = \Delta Usist \quad (3.8)$$

A partir da equação geral do balanço obteve-se a equação 3.9, que permite a determinação direta do caudal mássico de ar seco ( $\dot{m}_{ar\ seco}$ ).

$$L_2 \times Cp_{\acute{a}gua}(T_{L2} - T_{ref}) + \dot{m}_{ar\ seco} \times H_1 = L_1 \times Cp_{\acute{a}gua}(T_{L1} - T_{ref}) + \dot{m}_{ar\ seco} \times H_2 \quad (3.9)$$

Nesta equação,  $Cp_{\acute{a}gua}$  corresponde ao calor específico da água líquida a 25°C ( $Cp_{\acute{a}gua}=4186,8\text{ J/g}\cdot\text{K}$ ), e  $H_1$  e  $H_2$  correspondem, respetivamente, às entalpias das correntes de entrada e de saída do ar húmido em  $\text{kJ/kg}_{ar\ seco}$ .

Normalmente, as entalpias das correntes de ar húmido são determinadas diretamente através de cartas psicométricas ar-água, como a apresentada na figura F.1 (anexo F). Neste caso, marcou-se os pontos correspondentes a  $Y_{R1}=58,3\%$ ,  $T_{G1}=22,6^\circ\text{C}$  e a  $Y_{R2}=94,5\%$ ,  $T_{G2}=28,7^\circ\text{C}$  no entanto, apenas se obteve o valor de  $H_2=89\text{ kJ/kg}_{ar\ seco}$ . O valor de  $H_1$  como se encontrava fora da gama de entalpias da carta recorreu-se à equação 3.10 para a sua determinação [13].

$$H = 2501 \times Ye + [1,003 + 2,006 \times Ye] \times (T - T_{ref}) \quad (3.10)$$

Esta equação define como estado de referência  $H=0\text{ kJ/kg}$  para ar seco a  $0^\circ\text{C}$  e para água líquida a  $0^\circ\text{C}$  e à pressão do vapor de água à mesma temperatura.

Deste modo, desprezando o efeito da pressão, considera-se primeiro a vaporização da água a  $T_{ref}=0^\circ\text{C}$  (calor latente) e, em seguida, o calor sensível devido ao aquecimento da mistura húmida até à temperatura  $T(^\circ\text{C})$ , sendo que nesta expressão,  $Ye$  ( $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{ar\ seco}$ ) corresponde à humidade específica da mistura gasosa [13].

Através do ponto marcado na figura F.1 para as condições do ar à entrada obteve-se  $Ye_1=0,010\text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{ar\ seco}$ . Assim, pela equação 3.10 determinou-se  $H_1=48,1\text{ kJ/kg}_{ar\ seco}$ .

De volta à equação 3.9, determinou-se  $\dot{m}_{ar\ seco}$ .

$$\dot{m}_{ar\ seco} = \frac{4,186 \times [10,2 \times (37,1 - 0) - 10,0 \times (30 - 0)]}{(89 - 48,1)} = 8,0 \frac{kg}{s} \quad (3.9)$$

Considerando que o ar húmido tem comportamento de gás ideal determinou-se o seu volume à entrada da torre de arrefecimento ( $V_H$ ) e o seu caudal volumétrico ( $\dot{V}_{H1}$ ) utilizando as equações 3.11 e 3.12, respetivamente [13].

$$V_H = (0,082 \times T + 22,4) \left( \frac{1}{29} + \frac{Ye}{18} \right) \quad (3.11)$$

$$V_{H1} = (0,082 \times 22,6 + 22,4) \left( \frac{1}{29} + \frac{0,010}{18} \right) = 0,85 \frac{m^3_{ar\ húmido}}{kg_{ar\ seco}}$$

$$\dot{V}_H = V_H \times \dot{m}_{ar\ seco} \quad (3.12)$$

$$\dot{V}_{H1} = 0,85 \times 8,0 = 6,8 \frac{m^3_{ar\ húmido}}{s}$$

O caudal volumétrico de ar húmido à entrada da torre corresponde a 6,8 m<sup>3</sup>/s. Este valor é bastante inferior ao caudal de ar apresentado pelo mesmo modelo de torre de arrefecimento no catálogo da Uniclimate (ver anexo A), que é de 19,7 m<sup>3</sup>/s. Assim reforça-se a ideia de que a torre de arrefecimento se encontra sobredimensionada.

### 3.4.2. Determinação do parâmetro $k_y a$

Para a determinação do parâmetro característico do enchimento da torre de arrefecimento ( $k_y a$ ) utilizou-se as seguintes condições de funcionamento:

$$\dot{m}_{ar\ seco} = 8,0 \frac{kg}{s} \quad T_{G1} = 22,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad Y_{R1} = 58,3 \%$$

$$L_2 = 10,2 \frac{kg}{s} \quad T_{L2} = 37,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_{L1} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

O parâmetro  $k_y a$  determina-se a partir da equação de projeto 3.13, na qual Z corresponde à altura de enchimento, G é o caudal mássico de ar seco por unidade de área da secção reta do enchimento,  $H_{G1}$  e  $H_{G2}$  são as entalpias do ar à entrada e à saída e  $f\Delta H_m$  corresponde à força impulsora média [8].

$$Z = \frac{G}{k_y a} \frac{(H_{G2} - H_{G1})}{f \Delta H_m} \quad (3.13)$$

Neste caso, não são conhecidas todas as dimensões do bloco evaporativo e, portanto assumiu-se que o comprimento e a largura do bloco evaporativo são iguais ao comprimento e à largura da torre de arrefecimento (C=3662 mm e B=1581 mm). Relativamente à altura de enchimento, o seu valor foi fornecido pela própria Uniclíma (Z=900 mm).

Para determinar G necessitou-se da área da secção reta do enchimento, a qual se considerou 5,8 m<sup>2</sup>. Assim sendo, G apresenta o valor de 1,38 (kg<sub>ar seco</sub>/(m<sup>2</sup>•s)) e L, que é o caudal mássico de água por unidade de área da secção reta do enchimento, corresponde a 1,76 (kg<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/(m<sup>2</sup>•s)).

Seguidamente, recorrendo ao método simplificativo desenvolvido por Carey e Williamson determinou-se a razão [(H<sub>G2</sub>-H<sub>G1</sub>)/(fΔH<sub>m</sub>)]. Este método considera que a força impulsora (H<sub>i</sub>-H<sub>G</sub>=ΔH<sub>m</sub>) varia de forma parabólica, como é apresentado na figura 3.22 [8].

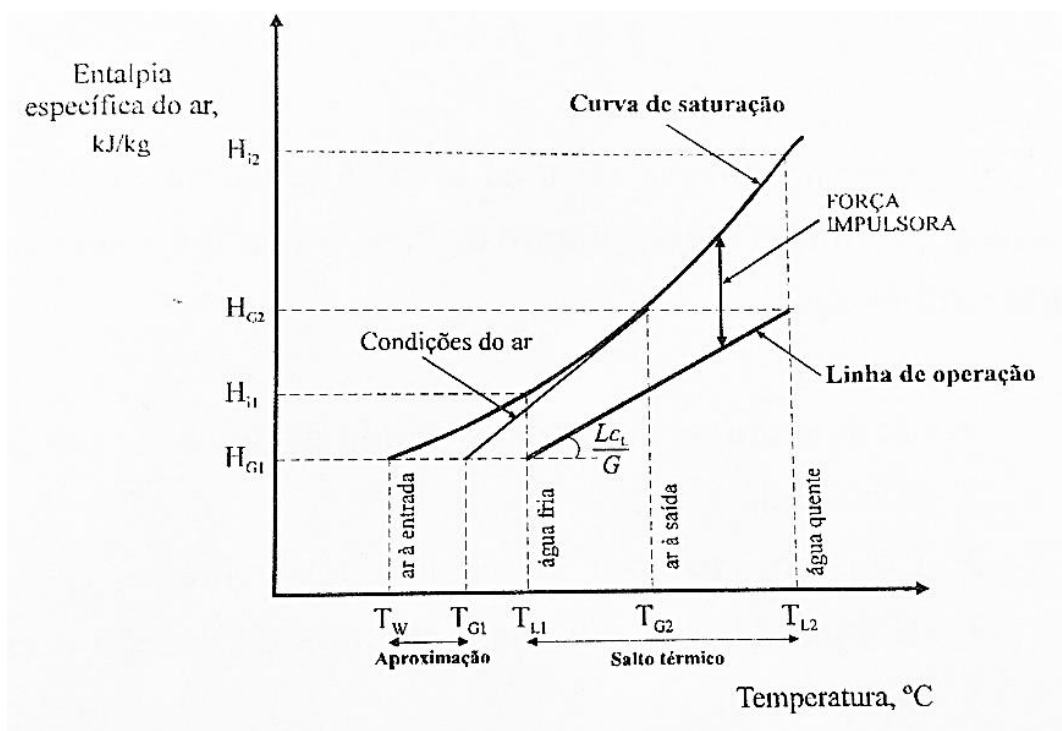


Figura 3.22 - Diagrama da força impulsora na torre de arrefecimento [8]

Assim, para definir a parábola utilizou-se três pontos da torre de arrefecimento: a base, o topo e um ponto em que a temperatura da água corresponde à média das temperaturas de entrada e saída de água, como se apresenta na tabela 3.13. Deste modo, através da carta psicométrica da figura F.1 obteve-se os valores de H<sub>i</sub>, correspondentes às entalpias do ar na

interface (condições de saturação). Relativamente aos valores de  $H_G$  (entalpia do ar), estes foram determinados a partir da reta de operação. Para tal, assumiu-se o valor  $H_{G1}=48,1$  kJ/kg<sub>ar seco</sub>, determinado anteriormente (na secção 3.4.1), e através da equação 3.14 determinou-se  $H_{G2}$ . Esta equação corresponde exatamente à equação 3.9, no entanto para o caso da equação 3.14 o caudal de água,  $L$ , é considerado constante. O valor de  $H_G$  intermédio foi determinado fazendo a média aritmética de  $H_{G1}$  e  $H_{G2}$ , como é mostrado na tabela 3.13 [8].

$$H_{G2} = \left( \frac{LC_L}{G} \right) (T_{L2} - T_{L1}) + H_{G1} \quad (3.14)$$

$$H_{G2} = \left( \frac{1,76 \times 4,18}{1,38} \right) (37,1 - 30) + 48,1 = 86,0 \frac{kJ}{kg}$$

Tabela 3.13 - Curva de saturação, reta de operação e respetivas forças impulsoras para  $30 \leq T_L \leq 37,1$ ,  $L=1,76$  (kg<sub>H2O</sub>/(m<sup>2</sup>•s)) e  $G=1,38$  (kg<sub>ar seco</sub>/(m<sup>2</sup>•s))

T(°C)	H <sub>i</sub> (kJ/kg)	H <sub>G</sub> (kJ/kg)	ΔH (kJ/kg)
30	100	48,1	51,9
33,6	120	64,1	55,9
37,1	143	86,0	57,0

Para obter o fator  $f$ , a partir da carta de Stevens (figura G.1), utilizou-se as razões ( $\Delta H_m/\Delta H_{m1}$ ) e ( $\Delta H_m/\Delta H_{m2}$ ), cujos valores são 1,08 e 0,98, respetivamente. O valor de  $f$  lido foi de 0,99.

Por fim, é determinado o parâmetro  $k_y a$  característico do enchimento da atual torre de arrefecimento, através da equação 3.13.

$$k_y a = \frac{1,38 (86,0 - 48,1)}{0,9 \cdot 0,99 \times 55,9} = 1,05 \frac{kg}{m^3 s} \quad (3.13)$$

### 3.4.3. Determinação do novo caudal de ar

O novo caudal de ar foi determinado considerando o caudal total de água de arrefecimento de 7,65 L/s e as mesmas condições de temperatura e humidade. Assim sabendo o valor de  $k_y a = 1,05$  (kg/(m<sup>3</sup>•s)), determinou-se  $G$  através de um processo iterativo.

Condições de funcionamento:

$$L_1 = 7,65 \frac{kg}{s} \quad T_{L2} = 37,1 \text{ } ^\circ C$$

$$T_{G1} = 22,6 \text{ } ^\circ C \quad T_{L1} = 30 \text{ } ^\circ C$$

$$Y_{R1} = 58,3 \%$$

O caudal L foi determinado considerando a área da secção reta do enchimento de 5,8m<sup>2</sup>, tendo-se obtido o valor de 1,32 (kg<sub>H2O</sub>/(m<sup>2</sup>•s)).

Deste modo, arbitrou-se G=1,0 (kg<sub>ar seco</sub>/(m<sup>2</sup>•s)) e partiu-se para a construção da tabela 3.14, sendo H<sub>G2</sub> determinado a partir da equação 3.14.

$$H_{G2} = \left( \frac{1,32 \times 4,18}{1,0} \right) (37,1 - 30) + 48,1 = 87,3 \frac{kJ}{kg} \quad (3.14)$$

Tabela 3.14 - Curva de saturação, reta de operação e respetivas forças impulsoras para 30≤TL≤37,1, L=1,32 (kgH2O/(m2•s)) e G=1,0 (kgar seco/(m2•s))

T(°C)	H <sub>i</sub> (kJ/kg)	H <sub>G</sub> (kJ/kg)	ΔH (kJ/kg)
30	100	48,1	51,9
33,6	120	67,7	52,3
37,1	143	87,3	55,7

A partir dos valores desta tabela, determinou-se (ΔH<sub>m</sub>/ΔH<sub>m1</sub>)=1,01 e (ΔH<sub>m</sub>/ΔH<sub>m2</sub>)=0,94 resultando em f=1,01 (ver figura G.1).

Recorrendo à equação 3.13 determinou-se o valor de G.

$$G = 0,9 \times 1,05 \times \frac{1,01 \times 52,3}{(87,3 - 48,1)} = 1,27 \frac{kg_{ar\ seco}}{m^2 s} \quad (3.13)$$

Como o valor de G obtido difere do valor arbitrado, foi necessário proceder-se a novas iterações. O processo iterativo convergiu para o valor de G=0,93 (kg<sub>ar seco</sub>/(m<sup>2</sup>•s)). Com este valor recalculou-se a altura de enchimento Z, recorrendo à equação 3.13.

$$Z = \frac{0,93 (97,0 - 48,1)}{1,05 \times 1,02 \times 47,4} \sim 0,9 \text{ m} \quad (3.13)$$

A altura de enchimento obtida é aproximadamente igual à altura real de 0,9 m, então pode-se assumir o referido caudal de ar seco. Assim sendo, determinou-se o valor de  $\dot{m}_{\text{ar seco}}=5,39 \text{ kg/s}$  e o respetivo caudal volumétrico de ar húmido ( $\dot{V}_{H1}$ ) através da equação 3.12. Para tal, utilizou-se o volume de ar húmido ( $V_{H1}$ ) determinado na secção 3.4.1, corresponde a  $0,85 \text{ m}^3_{\text{ar húmido}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$ .

$$\dot{V}_{H1} = 0,85 \times 5,39 = 4,6 \frac{\text{m}^3_{\text{ar húmido}}}{\text{s}} \quad (3.12)$$

O caudal de ar húmido apresenta o valor de  $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que corresponde a uma redução de cerca de 32%, em relação ao valor determinado na secção 3.4.1 de  $6,8 \text{ m}^3_{\text{ar húmido}}/\text{s}$ . Desta forma, o controlo automático da frequência permitirá reduzir a velocidade de rotação dos motores elétricos dos ventiladores, resultando na diminuição da potência solicitada e, por conseguinte, na diminuição do consumo de energia elétrica por parte dos próprios motores. De acordo com o fornecedor contactado, a velocidade de rotação dos motores elétricos não deve ser inferior a 400 rpm, por motivos de arrefecimento dos mesmos.

## 4. Água do Sistema de Refrigeração

Como foi referido na secção 2.2.3, a qualidade da água utilizada em sistemas de refrigeração do tipo estudado é muito importante para o funcionamento dos próprios sistemas. Frequentemente verificam-se situações de corrosão, de incrustação e/ou de sujamento biológico nos equipamentos, causadas pela contaminação da água de recirculação. Na origem desta contaminação estão, normalmente, a má qualidade da água de reposição e a ineficácia do tratamento realizado à água de recirculação.

Em consequência da corrosão verificada nos rolos da máquina ZELL e da presença de biofilme nas superfícies dos tanques e calhas de recolha de água, à saída dos grupos tratores, considerou-se necessária a análise da água de recirculação e da água de reposição. Para isso, solicitou-se a análise físico-química e bacteriológica da água recolhida em três locais do sistema: antes e após o descalcificador, e na torre de arrefecimento.

A água antes do descalcificador é a água do poço sem qualquer tratamento. Após a passagem pelo descalcificador, esta apresenta uma composição diferente que interessa conhecer para avaliar o funcionamento do equipamento de descalcificação. A água após o descalcificador corresponde à água de reposição. No anexo H (tabela H.1) é possível consultar alguns parâmetros indicativos da qualidade da água de reposição.

A água de recirculação foi recolhida na torre de arrefecimento, aproveitando-se o facto de ser necessário realizar a pesquisa da presença de colónias de *Legionella*, na bacia de água da torre. De acordo com o Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril, “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios” não deve ser excedido um número superior a 100 UFC/L (unidades formadoras de colónias), em amostras de água recolhidas em torres de arrefecimento. A inalação de aerossóis contaminados por esta bactéria pode provocar uma infeção respiratória, conhecida por doença dos Legionários. No anexo H (tabelas H.1 e H.2) é possível consultar alguns dos parâmetros indicativos da qualidade da água de recirculação.

As análises à água do sistema de refrigeração foram efetuadas pelo laboratório do Centro de Estudos de Águas do ISEP, acreditado pelo IPAC desde 2002 para matrizes de águas de consumo, águas naturais, de piscinas, residuais, de processo, efluentes e lamas [14].

#### 4.1. Análise físico-química e bacteriológica da água

Nas tabelas 4.1 e 4.2 são apresentados os principais resultados obtidos a partir das análises físico-químicas à água do poço antes e após o descalcificador, respetivamente. Na secção I.1, podem ser consultados os respetivos boletins de análise, onde constam os valores apresentados.

Tabela 4.1 - Resultados da análise físico-química à água do poço antes do descalcificador

Parâmetro	Valor Obtido	Unidade
Alcalinidade Total	25	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Condutividade a 20°C	247	µS/cm
Dureza Total	55	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Ferro	339	µg/L Fe
pH a 20°C	6,1	Unidades de pH
Sílica	7,6	mg/L SiO <sub>2</sub>

Tabela 4.2 - Resultados da análise físico-química à água do poço após o descalcificador

Parâmetro	Valor Obtido	Unidade
Alcalinidade Total	37	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Condutividade a 20°C	329	µS/cm
Dureza Total	<5	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Ferro	60	µg/L Fe
pH a 20°C	6,2	Unidades de pH
Sílica	7,3	mg/L SiO <sub>2</sub>

Dos parâmetros apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2, a condutividade elétrica a 20°C, a alcalinidade total, a dureza total e a concentração de ferro são os mais afetados pelo tratamento de descalcificação. A condutividade elétrica a 20°C aumenta de 247 µS/cm para 329 µS/cm, a alcalinidade total é aumentada de 25 mg/L CaCO<sub>3</sub> a 37 mg/L CaCO<sub>3</sub>, a dureza total é reduzida de 55 mg/L CaCO<sub>3</sub> para um valor inferior ao limite de deteção do método (<5 mg/L CaCO<sub>3</sub>) e a concentração de ferro também é reduzida, passando de 339 µg/L Fe para 60 µg/L Fe.

Relativamente aos restantes parâmetros (pH e concentração de sílica) as variações são pouco significativas, ou seja, estes não são alterados pelo descalcificador.

Através da comparação dos resultados físico-químicos presentes na tabela 4.2, com os valores indicativos da qualidade da água de reposição na tabela H.1, considera-se que a água após o tratamento de descalcificação não apresenta a qualidade necessária para o uso em sistemas de refrigeração, uma vez que a sua condutividade elétrica a 20°C (329  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) excede o valor máximo presente na tabela H.1 (200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C). Os valores de condutividade elétrica a diferentes temperaturas de referência não são comparáveis, no entanto neste caso, mesmo que a temperatura de referência fosse igual, o medido manter-se-ia superior.

Na tabela 4.3 encontram-se os resultados das análises bacteriológicas efetuadas à água do poço, antes e após o descalcificador. Estes foram reunidos na mesma tabela pois, para todos os parâmetros analisados, os valores obtidos são iguais.

Na secção I.2, podem ser consultados os respetivos boletins de análise, onde constam os valores apresentados.

Tabela 4.3 - Resultados das análises bacteriológicas à água do poço antes e após o descalcificador

Parâmetro	Valor Obtido	Unidade
Contagem de bactérias coliformes	0	UFC/100 mL
Contagem de <i>Clostridium perfringens</i>	0	UFC/100 mL
Contagem de <i>Enterococos</i>	0	UFC/100 mL
Contagem de <i>Escherichia coli</i>	0	UFC/100 mL
Contagem de microrganismos a 22°C	0	UFC/mL
Contagem de microrganismos a 37°C	0	UFC/mL

De acordo com a tabela 4.3, a água do poço recolhida antes e após o descalcificador não se encontra contaminada com qualquer tipo de microrganismo ou bactéria.

Seguidamente, na tabela 4.4, são apresentados os principais resultados obtidos com a análise físico-química à água de recirculação, sendo possível consultar o respetivo boletim de análise na secção I.3. Comparando os resultados da referida análise, com os valores indicados nas tabelas H.1, verifica-se que a água de recirculação não apresenta a qualidade necessária para ser utilizada na generalidade dos sistemas de refrigeração. Os valores de pH, alcalinidade total, condutividade elétrica e concentração de ferro apresentam-se muito elevados, relativamente ao que é indicado para águas de recirculação.

A água analisada encontra-se ligeiramente alcalina, com pH de 8,8, fora da gama de valores indicativa de 6 a 8, apresentando alcalinidade total de 229 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , acima de 100 mg/L

CaCO<sub>3</sub>, condutividade elétrica a 20°C no valor de 1450 μS/cm, superior ao valor máximo indicativo a 25°C (500 μS/cm), e uma concentração de ferro de 5,25 mg/L Fe, excedendo consideravelmente o valor indicativo máximo de 1,0 mg/L Fe.

Tabela 4.4 - Resultados da análise físico-química à água de recirculação no sistema

Parâmetro	Valor Obtido	Unidade
Alcalinidade à fenolftaleína	10	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Alcalinidade Total	229	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Condutividade a 20°C	1450	μS/cm
Dureza Total	42	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Ferro	5,25	mg/L Fe
Fósforo dissolvido reativo	5,1	mg/L P
pH a 20°C	8,8	Unidades de pH
Sílica	51	mg/L SiO <sub>2</sub>
Zinco	2,6	mg/L Zn

A água de recirculação também possui uma dureza total de 42 mg/L CaCO<sub>3</sub>, que é muito inferior ao limite de 200 mg/L CaCO<sub>3</sub>, de acordo com a tabela H.1, e possui concentração em sílica no valor de 51 mg/L SiO<sub>2</sub>, próximo do limite máximo de 50 mg/L SiO<sub>2</sub>.

Na tabela 4.5 encontram-se os resultados da análise bacteriológica efetuada à água de recirculação.

Tabela 4.5 - Resultados da análise bacteriológica à água de recirculação no sistema

Parâmetro	Valor Obtido	Unidade
Contagem de microrganismos a 37°C	6,10E+03	UFC/mL
Pesquisa de <i>Legionella</i>	Negativa	UFC/mL

Conforme a tabela 4.5, a pesquisa de *Legionella* mostrou-se negativa, enquanto a contagem de microrganismos a 37°C obteve o valor de 6100 UFC/mL, valor este bastante superior a 1000 UFC/mL, estabelecido no anexo H (tabela H.2).

## 4.2. Avaliação da qualidade da água

As análises efetuadas revelaram má qualidade da água de reposição e da água de recirculação, para uso na generalidade dos sistemas de refrigeração, o que denota alguns problemas ao nível do seu tratamento.

De acordo com os resultados apresentados na secção 4.1, pode dizer-se que o descalcificador reduz a concentração de ferro e elimina a dureza total da água de reposição, o que inibe a formação da película protetora de carbonato de cálcio sobre os metais do sistema, deixando-os mais expostos ao ataque corrosivo. Além disso, este tratamento está a contribuir para o aumento do teor de sólidos totais dissolvidos (TDS) na água, o que se reflete na subida da condutividade elétrica, até um valor superior ao indicado para este parâmetro. Desta forma, considera-se que o descalcificador não está a ter uma função eficaz no tratamento da água de reposição, devendo ser implementado, o mais breve possível, um tratamento que permita a estabilização da água e a eliminação do ferro em solução. Este elemento é um agente corrosivo muito forte, responsável pela corrosão localizada existente no interior dos rolos da máquina *ZELL*.

No caso da água de recirculação, existem vários parâmetros com valores muito superiores aos valores indicativos, que são nomeadamente o pH, a alcalinidade total, a condutividade elétrica e a concentração de ferro. Estes interferem principalmente nos processos corrosivos, aumentando a tendência para o sujamento por deposição de partículas. Já a dureza total encontra-se muito baixa, o que pode indicar que, o sistema de refrigeração em questão, carece de proteção anticorrosiva, mas não tem tendência para a formação de incrustações por acumulação de carbonato de cálcio. Também a pesquisa de *Legionella* na torre de arrefecimento mostrou-se negativa, no entanto, a contagem de microrganismos a 37°C obteve um valor elevado, o que confirma a existência de biofilme nas superfícies em contacto com a água, devido à ineficácia do tratamento de controlo da atividade microbiológica.

Neste sentido, é sugerido que seja estudado, urgentemente, um tratamento mais adequado, tanto para a água de reposição como para a água de recirculação no sistema, uma vez que o atual não está a ser eficaz.



## 5. Conclusões e Sugestões de Trabalho Futuro

Esta dissertação teve como objetivo a otimização energética do sistema de refrigeração da máquina de impregnar tela *ZELL*. Paralelamente a este trabalho foi feita a avaliação da qualidade da água do circuito de refrigeração, pois este apresenta uma acentuada degradação nos rolos, devido à corrosão provocada pela recirculação da água de arrefecimento.

O sistema de refrigeração da máquina *ZELL* apresenta consumos elevados de água de reposição e de energia elétrica por parte das bombas e da torre de arrefecimento, o que justificou o seu estudo. Deste modo, caracterizou-se o seu funcionamento através da recolha de dados experimentais, relativos às impregnações das três referências de tela com maior produção no ano de 2013, nomeadamente duas telas de poliéster designadas neste estudo por P1 e P2 e, uma tela de *nylon* designada por N. As referências de tela P1 e P2 apresentam largura de 150 cm, um *dtex* de 1440 e *epdm* de 105 e 95, enquanto N apresenta largura de 146 cm, um *dtex* de 940 e *epdm* de 80. Estas referências foram avaliadas para a atual temperatura de *setpoint* da água à saída da torre de arrefecimento, ou seja, 30°C. Também se avaliou a referência N para uma temperatura de *setpoint* da água de 37°C, com a finalidade de comparar o funcionamento do sistema de refrigeração quando aumentada a temperatura da água à entrada dos rolos que fazem o transporte da tela. Esta análise ainda permitiu comparar os consumos de água de reposição e de energia elétrica. Neste caso, assumiu-se o ensaio efetuado como uma referência de tela adicional, designada por N37.

A partir dos dados experimentais determinou-se a potência térmica removida pela água de refrigeração e as perdas de térmicas por radiação e por convecção, tendo-se verificado que na generalidade dos rolos as referências P1 e P2 apresentam potências térmicas mais elevadas. Assim, através dos valores médios de P1 e P2, avaliou-se a importância de cada mecanismo térmico, para os rolos dos grupos tratores 1 e 3 e, para o conjunto de rolos de R1 a R29.

Nos rolos do grupo trator 1, a maior percentagem de potência térmica (48%) está relacionada com a água de refrigeração, enquanto, no grupo trator 3 o mesmo mecanismo térmico representa apenas 10% do total perdido pela tela. Nos restantes rolos, de R1 a R29, a água de refrigeração representa em média cerca de 70% da potência térmica perdida. Deste modo, é no grupo trator 3 que a refrigeração apresenta menor contributo na remoção de calor à tela.

As necessidades de arrefecimento da máquina *ZELL* foram avaliadas tendo em conta a análise dos dados acerca do sistema de refrigeração e a temperatura limite de funcionamento dos rolamentos, que é de 200°C. Assim, através da análise das temperaturas médias das chumaceiras, situadas nas extremidades rolos, verificou-se que não são ultrapassados valores superiores a 70°C e, na maioria dos casos as chumaceiras encontram-se a temperaturas inferiores a 50°C. Isto significa que os rolamentos no seu interior deverão encontrar-se a uma temperatura bastante abaixo dos 200°C e, portanto, o caudal de água de refrigeração dos rolos garante condições, mais que suficientes, de funcionamento dos rolamentos.

Assim sendo, fez-se uma análise no sentido da diminuição dos caudais superiores a 5 L/s, na qual também é sugerida a eliminação do arrefecimento no grupo trator 3, como forma de reduzir a corrosão no interior dos rolos. Desta forma, o caudal total atual passa de 10,25 L/s para 7,65 L/s. Com esta redução de caudal será possível reduzir os consumos elétricos associados ao circuito de refrigeração.

Relativamente à torre de arrefecimento, considera-se que esta está sobredimensionada e que funciona muito abaixo da sua capacidade máxima de arrefecimento, apresentando um rendimento térmico de 36%. No entanto, como este equipamento foi adquirido recentemente, não se equaciona a sua substituição. Em vez disso, determinou-se o caudal de ar húmido que deve ser introduzido na torre de arrefecimento para obter a mesma temperatura da água à saída, considerando a redução do caudal total de água de refrigeração. O valor determinado foi de 4,6 m<sup>3</sup><sub>ar húmido</sub>/s, o que corresponde a uma redução de cerca de 32%, em relação ao caudal atual que é de 6,8 m<sup>3</sup><sub>ar húmido</sub>/s. Visto a introdução de ar ser regulada por ventiladores com controlo automático de frequência, deverão ser reduzidas as velocidades de rotação dos motores elétricos dos ventiladores, permitindo a diminuição dos consumos elétricos da torre de arrefecimento.

No que respeita à avaliação da qualidade da água do circuito de refrigeração, os resultados das análises revelaram má qualidade da água de reposição e da água de recirculação, para uso na generalidade dos sistemas de refrigeração. Verificou-se que a corrosão no interior dos rolos é potenciada, principalmente, pela elevada concentração de ferro e elevada condutividade elétrica da água de recirculação, sendo agravada pelo facto de não existir formação de película protetora de carbonato de cálcio sobre os metais do sistema. Neste sentido, deverá ser estudado um tratamento mais adequado para a água do circuito de refrigeração, uma vez que o atual não está a ser eficaz.

## Referências Bibliográficas

- [1] Leite, José. “Indústria Têxtil do Ave, S.A.” 4 de Fevereiro, 2013. <http://restosdecoleccion.blogspot.pt/2013/02/industria-textil-do-ave-sa.html> (site acedido em 6 de Março de 2014)
- [2] Indústria Têxtil do Ave, 2010. Manual de acolhimento, Lousado.
- [3] Cision news  
<http://news.cision.com/pt/continental-mabor/i/exercicio-de-2013---o-melhor-ano-de-sempre-na-continental---industria-textil-do-ave,c2042745436> (site acedido em 29 de Julho de 2014)
- [4] Cofely – GDF SUEZ  
<http://www.cofely-gdfsuez.pt/> (site acedido em 12 de Março de 2014)
- [5] Revista SGS Global  
[http://issuu.com/sgsportugal/docs/sgs\\_global\\_31](http://issuu.com/sgsportugal/docs/sgs_global_31) (site acedido em 29 de Julho de 2014)
- [6] Gomes, P., Santos, G., Ferreira, F., Carvalho, M., Blattmann, S., Agosto de 2005. MANUAL DO FORMANDO – Módulo 1: Tecnologia de confecção – Nível Básico. Vila Nova de Famalicão, Braga: CITEVE.  
  
(versão PDF do documento descarregada em 21 de Julho de 2014).
- [7] Coats Industrial, *All About Sewing Threads*  
<http://www.coatsindustrial.com/en/information-hub/apparel-expertise/sewing-threads>  
(site acedido em 29 de Julho de 2014)
- [8] Teixeira, F.J., Pereira, I.B., Santos, R.S. and Beleza, V.M., 1997. *Tratamento de Águas de Arrefecimento*, 1ª Edição, Publicações Politema, Instituto Politécnico do Porto.

- [9] Engineers Without Borders - UC Berkeley Student Chapter  
<https://engineerswithoutbordersucb.wikispaces.com/file/view/Softening+-+Alkalinity%2BHardness.pdf> (site acedido em 14 de Setembro de 2014)
- [10] Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L. and Lavine, A.S., 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [11] Elghnam, Reda I., 2013. Experimental and numerical investigation of heat transfer from a heated horizontal cylinder rotating in still air around its axis. *Ain Shams Engineering Journal* (2014) 5, 177-185.
- [12] Çengel, Y. A., 2003. *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2nd Edition, McGraw-Hill Companies, Inc.
- [13] Coulson, J.M., Richardson, J.F., Backhurst, J.R., Harker, J.H., 1999. *Chemical Engineering: Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer*, Volume 1, 6th Edition, Butterworth-Heinemann an imprint of Elsevier.
- [14] Centro de Estudos de Águas – ISEP  
<https://www.cea.isep.ipp.pt/index.php?page=atividade> (site acedido em 25 de Setembro de 2014)
- [15] Welty, J.R., Wicks, C.E., Wilson, R.E., Rorrer, G.L., 2008. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*, 5th Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [16] Perry, R.H., Green, D.W., 2007. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [17] Morvay, Z.K., Gvozdenac, D. D., 2008. *Applied Industrial Energy and Environmental Management*, 1st Edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- [18] Lenntech – Water Treatment Solutions  
<http://www.lenntech.com/applications/process/cooling/cooling-water-quality.htm> (site acedido em 15 de Setembro de 2014)

# Anexos



## A. Informações da Torre de Arrefecimento Uniclimate



Squirrel Cage Induction Electric Motor

### DATASHEET

<b>Standard</b>	IEC 60034
<b>Area</b>	Safe Area
<b>Type</b>	HJA 132M-4
<b>Poles</b>	4 pole
<b>Environment conditions</b>	-20°C to +40°C, up to 1000 m above sea level
<b>Frame size</b>	132M
<b>Material</b>	Aluminium frame
<b>Output at 50Hz</b>	7.5 kW
<b>Output at 60Hz</b>	8.6 kW
<b>Voltage</b>	400/690V 50Hz, 460VD 60Hz
<b>Speed at 50Hz</b>	1450 rpm
<b>Speed at 60Hz</b>	1745 rpm
<b>Current at 380V 50Hz</b>	15.3 A
<b>Current at 400V 50Hz</b>	14.53 A
<b>Current at 415V 50Hz</b>	14. A
<b>Current at 460V 60Hz</b>	15.1 A
<b>Power factor (cos fi)</b>	0.84
<b>Insulation class</b>	F (155°C)/ temperature rise B (80K)
<b>Efficiency Class</b>	IE2
<b>Efficiency at 100% load</b>	88.7 % (at 50Hz)
<b>Efficiency at 75% load</b>	87.5 % (at 50Hz)
<b>Efficiency at 50% load</b>	86. % (at 50Hz)
<b>Torque</b>	49.4 Nm
<b>Starting current [ratio]</b>	7.81
<b>Starting torque [ratio]</b>	2.58
<b>Breakdown torque [ratio]</b>	3.07
<b>Protection</b>	IP55
<b>Weight</b>	55. kg
<b>Mounting</b>	B3; B5; B3/B5; B14A; B3/B14A; B14B; B3/B14B; V1
<b>Thermal protection</b>	3x PTCs

*This DataSheet has been issued for standard motor execution.  
Technical data and the execution are subject to change without prior notice.*



- INSTALAÇÕES TÉRMICAS, LDA.

SEDE: RUA JÚLIO DINIS, 585 – 4.º D/F • 4050-325 PORTO – PORTUGAL  
TELEFONE: 226 097 796 – 226 053 016/7 • FAX: 226 003 888  
[www.uniclima.pt](http://www.uniclima.pt) • E-mail: [info@uniclima.pt](mailto:info@uniclima.pt)

N/PROPOSTA N.º 4320 P/A

DATA: 19-10-2012

À Firma:

Indústria Têxtil do Ave, S.A.

**AC/Sr. Américo Azevedo**

E-mail: [americo.azevedo@conti.de](mailto:americo.azevedo@conti.de)

Fornecimento de **TORRE DE ARREFECIMENTO DE ÁGUA** com as seguintes características principais:

- CAUDAL DE ÁGUA.....	126 m3/h	(35 l/s)
- TEMPERATURA DA ÁGUA À ENTRADA.....	45 °C	
- TEMPERATURA DA ÁGUA À SAÍDA.....	29 °C	
- TEMPERATURA HÚMIDA DO AR.....	21 °C	
- CAPACIDADE DE ARREFECIMENTO.....	2.016.000 Kcal/h	(2.344,6 kW)
- DIMENSÃO:		
- BASE.....	1581 x 3662 (mm)	
- ALTURA.....	2890 mm	
- MOTOR ELÉCTRICO.....	2 x 7,5 kW	
- MODELO.....	<b>TCX-M-221</b>	
PREÇO.....	████████	€

EQUIPAMENTO OPCIONAL

- Sistema anticorrosivo UNIVAC (Ver Folha Técnica)	
PREÇO.....	████████ €
- Cobertura interior do tanque de água com produto asfáltico para evitar a corrosão do mesmo	
PREÇO.....	0 €

TOTAL: ██████████ €

DESCONTO ESPECIAL DE 5%: ██████████ €

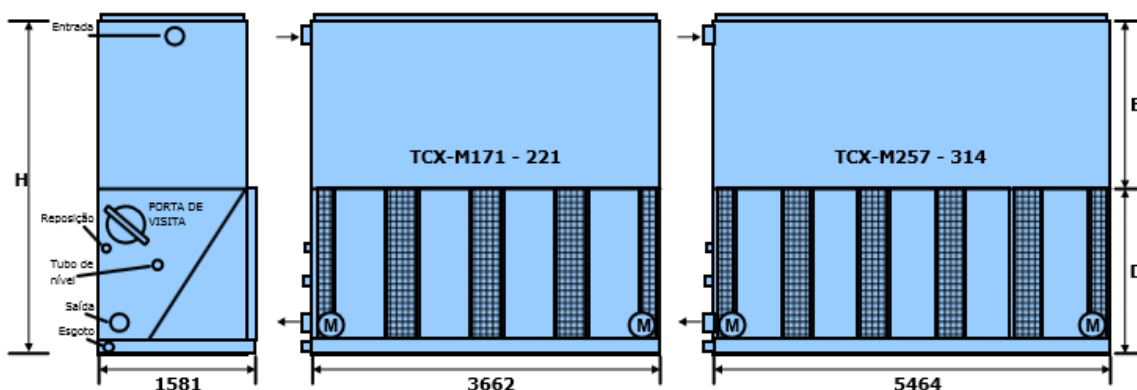
PREÇO FINAL: ██████████ €

TORRES DE ARREFECIMENTO • CONDENSADORES EVAPORATIVOS • ARREFECEDORES EVAPORATIVOS • UNIDADES DE VENTILAÇÃO  
CENTRAIS DE TRATAMENTO DE AR • LAVADORES DE AR • AEROREFRIGERADORES INDUSTRIAIS



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

### MODELOS: TCX-M171 a TCX-M314



**NOTAS:**

- Não utilizar para construção em obra. Consultar a UNICLIMA para dimensões certificadas.
- Os nossos produtos estão em constante evolução técnica, pelo que reservamos o direito de efectuar qualquer alteração sem aviso prévio.

Modelo	Capacidade de Arrefecimento Nominal (1) (kW)	Pesos (kg)			Caudal de Ar (m <sup>3</sup> /s)	Motor do Ventilador (kW)	Altura (mm) H	Ligações (mm)	
		Em Serviço	Expedição	Secção mais Pesada				Entrada	Saída
TCX-M171	814	2360	1640	946	17,11	(2)5,5	2670	150	150
TCX-M186	886	2384	1664	970	18,14	(2)7,5	2670	150	150
TCX-M198	941	2472	1752	970	17,63	(2)7,5	2930	150	150
TCX-M209	995	2472	1752	970	18,66	(2)7,5	2930	150	150
TCX-M221	1049	2472	1752	970	19,70	(2)7,5	2930	150	150
TCX-M257	1221	3422	2342	1648	25,66	7,5 - 11	2670	150	150
TCX-M280	1329	3482	2402	1708	27,22	11 - 15	2670	150	150
TCX-M297	1411	3772	2692	1708	26,44	11 - 15	2930	150	150
TCX-M314	1492	3772	2692	1708	27,99	11 - 15	2930	150	150

(1) - Para as seguintes condições de funcionamento: Temperatura Húmida do Ar de 24 °C, Temperatura de Entrada da Água de 35 °C e Temperatura de Saída da Água de 29 °C.

## B. Dados Fornecidos

### B.1 Produção de tela impregnada em 2013

Os dados relativos à produção de tela impregnada no ano de 2013 foram fornecidos pela C-ITA. Na tabela B.1 são apresentados os valores em metros, das diferentes referências de tela produzidas e as respectivas matérias-primas.

Tabela B.1 - Produção de tela impregnada no ano de 2013

Referência de tela	Produção de tela (m)
<b>Nylon1</b>	4 843 765
<b>Poliéster1</b>	2 614 122
<b>Nylon2</b>	3 580 337
<b>Poliéster2</b>	2 239 268
<b>Poliéster3</b>	1 363 991
<b>Poliéster4</b>	849 957
<b>Poliéster5</b>	1 795 279
<b>Poliéster6</b>	852 243
<b>Poliéster7</b>	1 291 116
<b>Rayon1</b>	1 816 883
<b>Poliéster8</b>	1 117 236
<b>Nylon3</b>	2 200 694
<b>Nylon4</b>	864 641
<b>Nylon5</b>	1 086 880
<b>Poliéster9</b>	686 736
<b>Rayon3</b>	572 737
<b>Nylon6</b>	745 469
<b>Nylon7</b>	722 807
<b>Nylon8</b>	946 401
<b>Outras</b>	724 483
<b>Total</b>	<b>30 915 045</b>

## C. Dados Recolhidos

Este anexo inclui todos os valores medidos no decorrer do trabalho desenvolvido na C-ITA.

### C.1 Temperaturas da água de refrigeração e características do ar

Nesta secção apresentam-se as temperaturas da água de refrigeração e as temperaturas e humidades do ar ambiente.

#### *Temperaturas da água à entrada dos rolos*

Na tabela C.1 encontram-se as temperaturas da água medidas à entrada dos rolos.

*Tabela C.1 - Temperaturas da água medidas à entrada dos rolos*

<b>Referência</b>	<b>Réplica</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>P1</b>	<b>1</b>	28,3
	<b>2</b>	29,2
	<b>3</b>	28,0
<b>P2</b>	<b>1</b>	28,9
	<b>2</b>	30,0
	<b>3</b>	28,6
<b>N</b>	<b>1</b>	28,2
	<b>2</b>	28,3
	<b>3</b>	28,5
<b>N37</b>	<b>1</b>	35,3
	<b>2</b>	34,8
	<b>3</b>	34,4

*Temperaturas da água à entrada da torre de arrefecimento*

Os valores apresentados na tabela C.2 dizem respeito às temperaturas da água medidas à entrada da torre de arrefecimento.

*Tabela C.2 - Temperaturas da água medidas à entrada da torre de arrefecimento*

<b>Referência</b>	<b>Réplica</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>P1</b>	<b>1</b>	34,1
	<b>2</b>	35,7
	<b>3</b>	37,0
<b>P2</b>	<b>1</b>	34,5
	<b>2</b>	39,1
	<b>3</b>	37,7
<b>N</b>	<b>1</b>	29,9
	<b>2</b>	30,3
	<b>3</b>	30,8
<b>N37</b>	<b>1</b>	36,7
	<b>2</b>	36,1
	<b>3</b>	36,2

*Temperaturas da água à saída dos rolos*

De seguida, são apresentadas as temperaturas da água à saída dos rolos. Na tabela C.3 encontram-se os valores referentes aos rolos dos grupos tratores 1 e 3 e na tabela C.4 os valores referente aos rolos R1 a R29.

Tabela C.3 - Temperaturas da água medidas à saída dos rolos dos grupos tratores 1 e 3

Referência	Temperatura (°C)												
	P1			P2			N			N37			
Réplica	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Grupo Trator 1	r11	-	30,0	29,6	30,8	-	30,8	28,6	31,3	-	34,6	36,1	34,4
	r12	40,6	52,5	42,8	48,4	48,2	38,3	30,7	30,4	31,8	36,0	36,1	35,7
	r13	38,6	41,0	37,8	39,8	38,8	34,8	30,2	30,0	31,6	36,2	36,1	35,9
	r14	41,2	42,5	37,4	40,5	46,4	35,8	31,0	30,2	31,4	35,7	35,7	35,5
	r15	51,1	48,4	35,7	44,7	44,6	34,4	31,1	31,2	31,4	35,5	35,4	35,1
	r16	42,8	41,9	34,0	39,7	45,1	32,0	31,6	29,2	29,5	35,2	35,3	34,8
	r17	28,5	28,8	29,8	29,3	29,3	29,1	28,2	28,3	28,0	35,0	35,4	34,1
Grupo Trator 3	r31	36,9	37,4	39,2	33,1	40,0	33,4	27,8	27,9	28,4	-	-	-
	r32	28,3	29,0	28,8	29,0	30,0	28,8	28,1	27,2	28,5	-	-	-
	r33	29,0	27,8	30,9	29,2	29,6	30,1	28,6	27,7	28,0	-	-	-
	r34	41,2	38,5	45,1	34,2	49,2	37,2	27,9	28,3	28,4	-	-	-
	r35	29,0	30,4	30,7	30,6	31,4	29,4	28,0	28,1	28,9	-	-	-
	r36	34,1	37,2	36,2	33,6	37,3	32,9	28,1	28,2	28,5	-	-	-
	r37	33,6	35,0	35,6	32,2	36,2	32,5	28,2	28,1	28,4	-	-	-
	r38	29,0	28,9	29,1	28,9	29,5	29,1	28,1	28,2	28,7	-	-	-

Tabela C.4 - Temperaturas da água medidas à saída dos rolos R1 a R29

Referência	Temperatura (°C)												
	P1			P2			N			N37			
Réplica	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Rolos	R1	31,0	32,7	31,8	33,3	32,8	32,6	29,3	30,3	30,0	36,7	37,1	36,7
	R2	30,6	33,7	31,2	40,9	31,5	31,0	28,7	28,9	28,8	35,6	36,6	36,1
	R3	49,1	43,7	74,3	41,7	48,7	68,8	34,9	37,1	41,7	45,9	46,2	47,1
	R4	38,9	54,8	36,5	57,1	42,2	37,0	47,9	35,9	35,4	41,7	42,1	41,4
	R5	48,4	31,0	32,9	32,5	56,8	34,1	29,4	34,9	31,2	36,4	36,8	37,4
	R6	37,8	34,1	35,1	36,3	37,0	37,7	29,9	30,1	31,4	36,3	36,6	36,5
	R7	30,3	30,2	30,5	30,1	33,1	30,5	28,4	28,0	28,3	34,7	34,7	34,8
	R8	54,0	58,5	56,1	56,0	55,0	57,6	47,9	49,0	51,4	59,0	61,7	60,9
	R9	48,8	48,2	47,4	45,2	47,4	48,0	43,8	42,1	41,4	49,1	50,1	50,4
	R10	33,2	33,6	34,1	33,5	37,5	37,7	35,5	29,9	37,2	38,0	40,1	40,1
	R11	34,0	58,9	45,7	53,9	47,3	44,6	36,8	32,7	35,3	39,4	42,9	45,0
	R12	52,9	37,2	77,1	41,8	57,4	75,9	38,0	47,9	50,8	55,6	55,2	55,0
	R13	61,1	51,4	53,3	53,4	58,3	51,6	48,8	53,3	53,5	76,8	77,8	78,8
	R14	35,9	33,7	37,4	34,8	36,4	37,8	35,1	35,4	36,9	39,7	40,3	41,0
	R15	34,7	25,1	33,5	32,8	30,0	35,1	31,0	31,5	24,8	39,6	40,1	43,1
	R16	41,5	41,9	37,6	40,3	31,8	33,9	-	29,3	27,6	36,1	35,9	35,9
	R17	57,1	64,4	60,5	61,2	60,0	57,1	30,0	27,8	27,8	-	-	-
	R18	52,1	53,0	48,4	53,1	54,9	46,1	30,0	27,6	27,4	-	-	-
	R19	34,0	36,0	31,3	35,6	36,9	35,5	28,2	28,4	28,0	-	-	-
	R20	33,2	33,3	31,8	32,9	33,6	32,1	28,0	28,6	28,3	-	-	-
	R21	61,3	71,8	71,6	67,8	68,2	68,8	29,4	27,6	27,8	-	-	-
	R22	68,4	73,7	66,5	76,3	70,6	64,4	29,8	27,7	27,9	-	-	-
	R23	38,9	44,8	30,1	31,9	38,5	31,3	27,4	28,2	27,9	-	-	-
	R24	40,0	43,7	36,3	39,1	46,0	38,1	28,3	28,3	28,2	-	-	-
	R25	74,7	79,5	79,9	83,4	79,0	78,3	29,3	27,6	27,8	-	-	-
	R26	73,9	80,6	74,9	85,6	77,9	70,8	29,7	27,6	27,9	-	-	-
	R27	47,9	39,4	46,9	44,7	48,5	49,7	27,8	28,1	28,2	-	-	-
	R28	43,9	42,3	37,5	35,4	45,1	45,8	28,0	28,5	28,0	-	-	-
	R29	55,4	56,2	50,9	55,2	65,3	43,1	28,7	27,1	26,9	-	-	-

*Temperaturas e humidades do ar ambiente*

Através das tabelas C.5 e C.6, são apresentadas as temperaturas ambientes medidas na envolvente exterior e na envolvente interior ao edifício da máquina ZELL, respetivamente. Na tabela C.5 também são apresentadas as percentagens de humidade relativa medidas na envolvente exterior.

Tabela C.5 - Temperaturas ambientes e humidades relativas na envolvente exterior ao edifício da máquina ZELL

Referência	Réplica	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)
P1	1	18,1	42,7
	2	21,6	59,1
	3	22,8	40,3
P2	1	16,6	66,7
	2	28,4	-
	3	22,9	49,9
N	1	18,7	72,5
	2	24,5	40,6
	3	25,1	-
N37	1	21,4	68,1
	2	21,2	63,4
	3	20,6	59,7

Tabela C.6 - Temperaturas ambientes na envolvente interior do edifício da máquina ZELL

Referência	Setor	Piso	Temperatura (°C)		
			Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
P1	A	1	27,1	28,9	29,0
		2	22,6	23,0	28,5
		7	32,9	32,4	42,7
	B	2	23,4	23,6	28,8
		7	35,6	33,9	43,7
		7	32,2	47,0	41,8
P2	A	1	25,1	33,3	29,6
		2	21,4	36,0	30,9
		7	31,4	48,2	40,9
	B	2	22,6	34,1	29,5
		7	32,2	47,0	41,8
		7	32,2	47,0	41,8
N	A	1	25,2	28,1	30,5
		2	23,7	25,6	26,9
		7	37,4	33,6	36,7
	B	2	22,2	27,4	26,2
		7	30,7	29,8	30,3
		7	30,7	29,8	30,3
N37	A	1	25,2	25,0	24,2
		2	24,0	25,1	23,6
		7	33,5	33,8	32,0
	B	2	-	-	-
		7	27,7	-	-
		7	27,7	-	-

## C.2 Temperatura das chumaceiras

Nesta secção apresentam-se as temperaturas das chumaceiras medidas nas extremidades de entrada e nas extremidades de saída de água, dos rolos R1 a R29 (tabelas C.7 e C.8), e as temperaturas das chumaceiras nas extremidades possíveis de medir, dos rolos dos grupos tratores 1 e 3 (tabela C.9).

Tabela C.7 - Temperaturas das chumaceiras na extremidade de entrada de água nos rolos R1 a R29

Referências		Temperatura (°C)						
		P1		P2		N		
Réplica		1	2	1	2	1	2	3
Rolos	R1	26,9	30,3	27,9	34,3	28,9	29,5	31,6
	R2	30,1	32,2	30,5	36,1	33,1	34,1	36,1
	R3	34,5	32,2	36,0	42,8	36,5	34,7	37,9
	R4	36,7	32,3	38,3	42,5	39,1	34,9	37,9
	R5	31,4	33,5	31,8	38,0	33,5	34,8	37,3
	R6	31,1	32,6	30,9	36,5	31,3	32,7	34,8
	R7	32,6	32,3	32,7	42,1	31,7	32,4	35,0
	R8	37,1	32,7	37,6	45,8	37,7	34,5	37,0
	R9	35,6	32,5	36,4	45,1	37,1	33,7	36,5
	R10	35,3	34,7	34,1	43,7	33,4	34,1	37,1
	R11	39,4	35,8	36,9	46,1	34,3	35,9	38,5
	R12	36,8	33,3	37,3	46,0	37,8	34,4	37,9
	R13	36,7	35,2	37,9	46,8	38,1	34,9	38,4
	R14	37,2	37,0	36,7	45,5	33,7	35,3	37,2
	R15	33,9	33,5	32,9	42,5	30,9	32,4	34,4
	R16	39,8	35,7	38,8	47,3	40,3	32,6	35,7
	R17	38,3	36,7	39,9	47,1	32,7	29,0	30,7
	R18	39,5	36,9	40,5	47,9	32,4	28,7	30,3
	R19	29,8	30,6	30,1	37,4	29,1	31,3	29,3
	R20	33,8	33,8	33,4	41,1	28,7	30,9	28,9
	R21	41,8	38,9	43,9	47,9	33,0	29,3	30,3
	R22	40,8	38,2	43,3	46,1	32,5	28,9	30,1
	R23	35,4	35,0	34,7	42,7	28,5	30,8	28,8
	R24	39,3	38,1	38,0	45,8	28,6	30,7	29,1
	R25	41,8	39,3	43,6	49,3	31,5	28,4	29,5
	R26	42,9	39,7	44,6	49,7	31,5	28,5	29,6
	R27	38,4	38,8	36,6	46,1	28,5	30,9	29,5
	R28	36,5	36,7	34,7	43,9	28,2	30,9	29,5
	R29	50,5	38,7	48,6	49,1	32,9	29,2	30,5

Tabela C.8 - Temperaturas das chumaceiras na extremidade de saída de água nos rolos R1 a R29

Referências		Temperatura (°C)						
		P1		P2		N		
		1	2	1	2	1	2	3
Rolos	R1	28,9	32,2	29,9	36,9	30,2	31,7	34,5
	R2	31,3	33,2	32,5	37,9	34,1	35,2	38,1
	R3	43,8	38,4	42,0	52,0	43,7	41,1	46,1
	R4	47,3	35,1	46,1	49,3	46,8	39,1	43,2
	R5	33,5	40,7	33,8	48,0	35,5	36,5	38,0
	R6	32,7	34,6	33,1	38,2	32,3	33,3	35,3
	R7	32,2	29,6	32,0	39,8	30,5	31,3	32,5
	R8	49,5	42,3	46,4	57,3	46,2	43,5	46,9
	R9	42,8	43,9	40,9	53,7	42,1	40,6	44,3
	R10	38,9	33,9	38,4	45,4	34,8	35,6	37,5
	R11	48,5	38,7	47,2	51,0	36,6	36,9	40,0
	R12	42,7	48,1	40,9	59,4	43,3	40,9	49,1
	R13	48,2	38,3	45,7	61,7	46,4	46,5	51,1
	R14	39,9	37,9	39,3	48,5	35,6	36,2	39,1
	R15	35,9	35,1	34,8	45,0	32,6	33,3	35,5
	R16	44,1	38,1	41,9	51,5	40,9	34,3	37,1
	R17	52,8	47,8	50,7	60,7	35,7	29,1	31,4
	R18	49,7	45,7	48,6	59,5	34,8	28,6	30,5
	R19	31,5	31,3	31,1	39,1	27,9	29,7	28,3
	R20	34,8	34,2	33,8	42,2	28,1	30,2	28,9
	R21	61,1	54,2	59,6	67,5	34,3	28,6	30,3
	R22	58,7	52,9	57,7	65,4	33,9	28,9	30,4
	R23	40,5	37,9	39,0	47,5	28,1	30,1	28,7
	R24	43,0	39,9	41,1	49,5	28,0	30,5	29,1
	R25	63,4	57,9	63,5	70,3	32,7	28,8	30,3
	R26	64,2	57,9	64,5	70,8	32,2	28,8	30,0
	R27	42,5	42,9	39,9	52,2	27,9	30,6	29,1
	R28	39,3	38,8	37,9	48,3	28,1	30,7	29,4
	R29	51,9	46,1	45,6	63,5	32,7	29,5	30,1

Tabela C.9 - Temperaturas das chumaceiras na extremidade de entrada e saída de água nos rolos dos grupos tratores 1 e 3

Referências		Temperatura (°C)						
		P1		P2		N		
		1	2	4	5	7	8	9
Grupo Trator 1	r11	39,1	-	40,5	59,6	31,5	33,7	-
	r12	44,1	42,7	43,7	54,0	31,7	33,1	36,3
	r13	40,5	41,7	41,3	50,9	31,2	33,1	35,5
	r14	38,4	40,2	38,8	52,8	31,1	31,9	34,6
	r15	37,3	41,4	36,9	48,5	31,0	31,5	35,3
	r16	35,1	40,2	34,9	50,9	30,7	30,3	33,3
	r17	34,8	37,0	33,8	46,7	29,3	29,5	33,4
Grupo Trator 3	r31	32,7	33,8	30,1	41,5	27,3	30,8	29,6
	r32	36,0	38,0	32,5	47,1	28,2	32,1	30,1
	r33	36,3	37,5	33,1	47,1	28,6	31,9	30,5
	r34	34,9	37,5	32,2	47,3	28,2	31,3	29,7
	r35	32,9	33,1	31,2	41,3	28,2	30,8	29,5
	r36	34,2	33,5	32,2	40,7	28,7	31,5	29,9
	r37	32,3	32,3	30,7	39,5	28,7	31,2	29,8
	r38	32,0	32,5	30,5	42,1	28,4	31,3	29,6

### C.3 Consumos de água de reposição

Nesta secção (tabela C.10) apresentam-se os consumos de água de reposição em termos de volume de água repostada ao sistema por metro de tela.

Tabela C.10 - Consumos de água de reposição registados

Referência	Réplica	Volume x 10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /m)
P1	1	0,130
	2	0,144
	3	0,132
P2	1	0,117
	2	0,138
	3	0,125
N	1	0,042
	2	0,204
	3	0,104
N37	1	0,068
	2	0,024
	3	0,036

## C.4 Consumos de energia elétrica associados ao circuito de refrigeração

Os valores apresentados na tabela C.11 são referentes aos consumos de energia elétrica associados ao funcionamento da torre de arrefecimento e das bombas.

Tabela C.11 - Consumos de energia elétrica por parte da torre de arrefecimento e das bombas

Referência	Réplica	Energia Elétrica x 10 <sup>3</sup> (kWh/m)
<b>P1</b>	<b>1</b>	3,26
	<b>2</b>	3,24
	<b>3</b>	3,00
<b>P2</b>	<b>1</b>	3,32
	<b>2</b>	3,36
	<b>3</b>	3,06
<b>N</b>	<b>1</b>	2,34
	<b>2</b>	2,33
	<b>3</b>	2,09
<b>N37</b>	<b>1</b>	2,19
	<b>2</b>	2,18
	<b>3</b>	2,20

## D. Exemplos de Cálculo

Neste anexo encontram-se os exemplos de cálculo e as considerações tomadas na determinação da potência térmica removida pela água de arrefecimento e da potência térmica perdida pela tela por radiação e por convecção. Os cálculos efetuados correspondem ao rolo R1 e à referência de tela P2.

### D.1 Determinação da potência removida pela água de arrefecimento

A potência removida pela água de arrefecimento ( $q_{\text{água}}$ ) foi determinada a partir da equação D.1, conhecendo o caudal mássico de água que atravessa o rolo R1 ( $\dot{m}_{\text{água}}$ ) e as temperaturas da água à entrada e à saída.

$$q_{\text{água}} = \dot{m}_{\text{água}} \times C_{p_{\text{água}}} \times (T_{\text{saída}} - T_{\text{entrada}}) \quad (\text{D.1})$$

A partir do caudal volumétrico  $Q_{\text{água}}=0,49$  L/s (valor retirado da tabela 3.8) e da massa volúmica da água líquida a 25°C ( $\rho_{\text{água}}=997,04$  kg/m<sup>3</sup>), obteve-se  $\dot{m}_{\text{água}}=0,49$  kg/s. Assim, com os valores de  $T_{\text{entrada}}$  e  $T_{\text{saída}}$  lidos na tabela 3.2 e na figura 3.4, respetivamente, foi possível determinar  $q_{\text{água}}$ .

$$q_{\text{água}} = 0,49 \times 4186,8 \times (32,9 - 29,1) = 7796 \text{ W}$$

### D.2 Determinação da potência de radiação

A potência de radiação perdida pela tela em contacto com o rolo R1 ( $q_{\text{rad}}$ ) foi determinada a partir da equação 3.1. Nesta equação,  $\epsilon$  é a emissividade da tela com o valor 0,98,  $\sigma$  é a constante de *Stefan-Boltzmann* ( $5,675 \times 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>•K<sup>4</sup>)),  $A$  é a área da superfície de transferência de calor e as variáveis  $T_{\text{sup}}$ (K) e  $T_{\text{viz}}$ (K) são as temperaturas da tela e da vizinhança, respetivamente.

Para a determinação da área da superfície de transferência de calor considerou-se que a tela cobre toda a superfície dos rolos e, portanto o seu valor depende do diâmetro dos rolos (D) e da largura da tela (L).

O diâmetro externo do rolo R1, conforme mencionado na secção 2.2, corresponde a 0,412 m. Relativamente à largura da tela sabe-se que para a referência P2, esta apresenta o valor de 1,50 m (valor referido na secção 3.1). Assim, a área da superfície de transferência de calor determinada para o rolo R1 é de aproximadamente 1,94 m<sup>2</sup>.

As temperaturas da tela e da vizinhança não são iguais em todos os rolos. No rolo R1  $T_{sup}=175^{\circ}\text{C}$  e  $T_{viz}=29,3^{\circ}\text{C}$  (ver figura 2.2 e tabelas 3.1 e 3.5).

Desta forma, conhecendo todos os valores da equação 3.1, determinou-se  $q_{rad}$ .

$$q_{rad} = 0,98 \times 5,675 \times 10^{-8} \times 1,94 \times (448^4 - 302,3^4) = 3447 \text{ W} \quad (3.1)$$

### D.3 Determinação da potência de convecção

A potência de convecção perdida pela tela relativamente ao rolo R1 ( $q_{conv}$ ) foi determinada recorrendo à equação 3.2, na qual  $h$  corresponde ao coeficiente de transferência de calor,  $A$  corresponde à área da superfície de transferência e  $T_{sup}$  e  $T_{\infty}$  são as temperaturas da tela e ambiente, respetivamente.

Tal como referido na secção 3.2.3, para determinar  $h$  é necessário conhecer o número de Nusselt,  $Nu$ , que dependendo do regime de convecção é obtido de forma diferente. Assim, utilizou-se a razão  $Gr/Re^2$  para avaliar o regime de convecção.

O número de *Reynolds*,  $Re$ , foi determinado a partir da equação D.2, utilizando o diâmetro dos rolos (D), a velocidade angular da tela ( $\omega$ ) em  $\text{s}^{-1}$  e ainda a viscosidade cinemática ( $\nu$ ) com unidades  $\text{m}^2/\text{s}$ . Esta última propriedade foi obtida por interpolação dos valores da tabela E.1 considerando a temperatura média do filme de ar, que no caso do rolo R1 corresponde a 375,2K (ver tabelas 3.1 e 3.5). Desta forma, o valor de viscosidade cinemática obtido foi de 2,32E-5  $\text{m}^2/\text{s}$ .

Relativamente à velocidade angular obteve-se o valor aproximado de 6,1  $\text{s}^{-1}$ , sabendo que o diâmetro é de 0,412 m e que a velocidade da tela ( $v$ ) é igual a 75 m/min.

$$Re = \frac{\omega D^2}{2\nu} \quad (D.2)$$

$$Re = \frac{6,1 \times 0,412^2}{2 \times 2,32 \times 10^{-5}} = 22315$$

Para determinar o número de *Grashof*,  $Gr$ , recorreu-se à equação D.3, cujos valores de  $T_{sup}$  e  $T_{\infty}$  correspondem a 175°C e a 29,3°C, respetivamente. Quanto à razão  $(g\beta\rho^2/\mu)$  foi avaliada à temperatura média do filme (tabela E.1), apresentando o valor de 5,00E7 (K<sup>-1</sup>·m<sup>3</sup>).

$$Gr = \frac{g\beta(T_{sup} - T_{\infty})D^3}{\nu^2} = D^3 \left( \frac{g\beta\rho^2}{\mu^2} \right) (T_{sup} - T_{\infty}) \quad (D.3)$$

$$Gr = 0,412^3 \times 5,00 \times 10^7 \times (175 - 29,3) = 5,09 \times 10^8$$

Do cálculo de  $Gr/Re^2$  obteve-se o valor de 0,8, próximo de 1 e, portanto considerou-se regime de convecção misto. Assim sendo, determinou-se os valores de  $Nu$  para convecção forçada e convecção natural através das equações 3.3 e 3.4, respetivamente.

$$Nu_F = 0,022 \times 22315^{0,821} = 81,8 \quad (3.3)$$

Na determinação do  $Nu_N$  foram necessários os números de *Prandtl*,  $Pr$ , e de *Rayleigh*,  $Ra_D$ . O primeiro, com o valor de 0,693, foi obtido através da tabela E.1 e o segundo com o valor de 3,53E8 corresponde ao produto de  $Gr$  pelo  $Pr$ .

$$Nu_N = \left[ 0,6 + \frac{0,387 \times (3,53 \times 10^8)^{1/6}}{(1 + (0,559/0,693)^{9/16})^{8/27}} \right]^2 = 83,3 \quad (3.4)$$

Conhecendo  $Nu_F$  e  $Nu_N$ , determinou-se  $Nu$  de convecção mista através da equação 3.5. Para tal, considerou-se o escoamento transversal e, portanto aplicou-se sinal positivo no segundo membro desta equação.

$$Nu = (81,8^3 + 83,3^3)^{1/3} = 104 \quad (3.5)$$

Posteriormente, determinou-se  $h$  através da equação D.4, na qual se utilizou a condutividade térmica do filme de ar ( $k=3,31E-2$  W/(m·K)).

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (D.4)$$

$$h = \frac{3,31 \times 10^{-2} \times 104}{0,412} = 8,4 \frac{W}{m^2 K}$$

Por fim determinou-se  $q_{conv}$  recorrendo à equação 3.2.

$$q_{conv} = 8,4 \times 1,94 \times (175 - 29,3) = 2374 W \quad (3.2)$$

Este valor vem apresentado na tabela 3.11.

## E. Propriedades Física do Ar

Na tabela E.1 estão apresentadas as propriedades físicas do ar a 1 atmosfera para a gama de temperaturas estudadas.

Tabela E.1 - Propriedades físicas do ar a 1 atm [15]

Temperatura (K)	Pr	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (K <sup>-1</sup> ·m <sup>3</sup> )	k (W/m·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa·s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
280	0,713	1,815E+08	2,467E-02	1,2614	1,750E-05	1,39E-05
300	0,708	1,327E+08	2,624E-02	1,1769	1,846E-05	1,57E-05
320	0,703	9,942E+07	2,779E-02	1,1032	1,939E-05	1,76E-05
340	0,699	7,502E+07	2,928E-02	1,0382	2,030E-05	1,96E-05
360	0,695	5,828E+07	3,078E-02	0,9805	2,118E-05	2,16E-05
400	0,689	3,656E+07	3,365E-02	0,8822	2,286E-05	2,59E-05
440	0,684	2,394E+07	3,643E-02	0,8021	2,445E-05	3,05E-05
480	0,681	1,627E+07	3,911E-02	0,7351	2,596E-05	3,53E-05
520	0,680	1,156E+07	4,169E-02	0,6786	2,742E-05	4,04E-05
580	0,680	7,193E+06	4,541E-02	0,6084	2,952E-05	4,85E-05

As propriedades físicas do ar a temperaturas diferentes dos valores apresentados na tabela E.1 foram determinadas por interpolação.

F. Carta Psicométrica

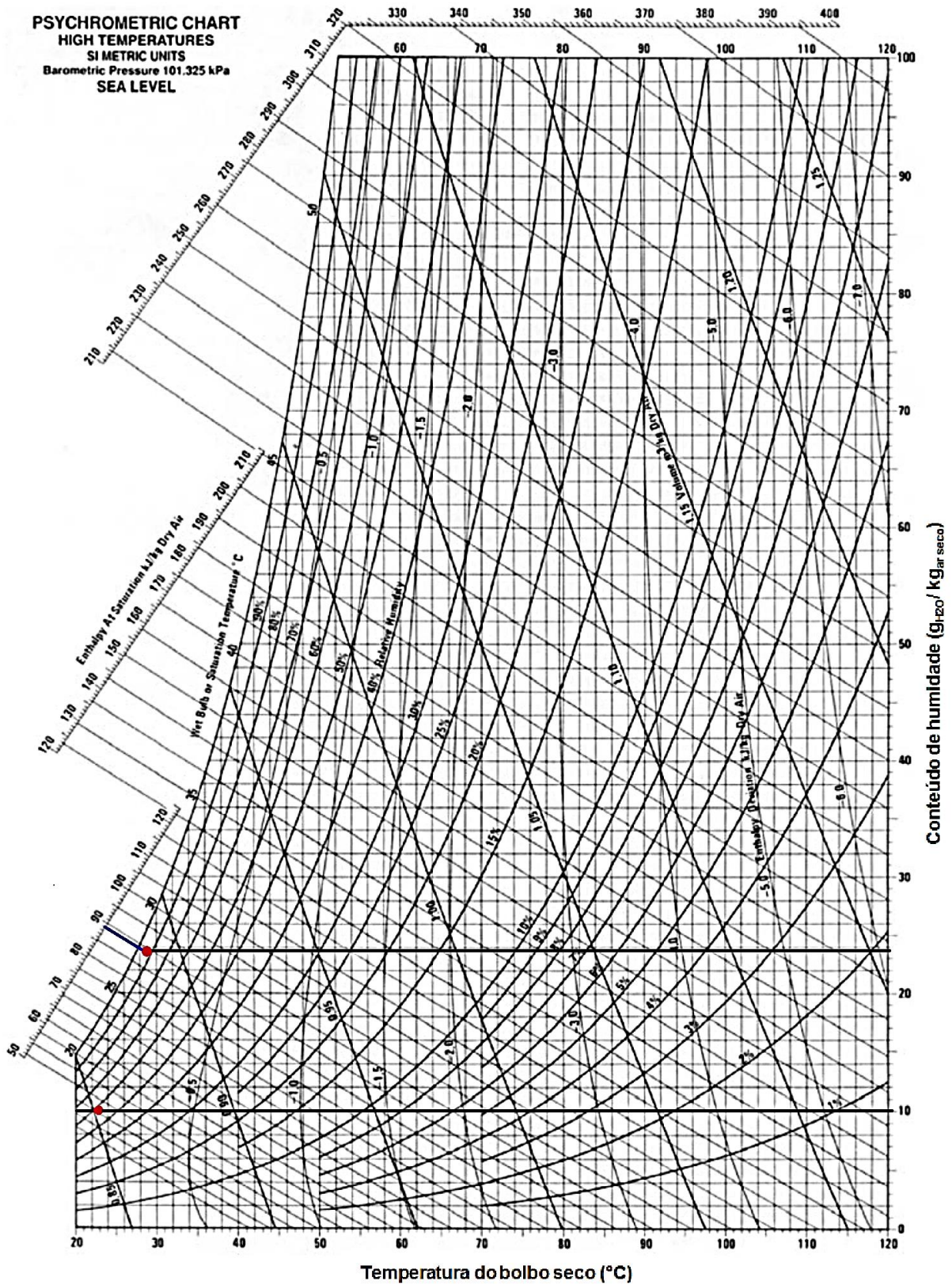


Figura F.1 - Carta psicométrica para mistura ar-água à pressão atmosférica, 101,325 kPa [16]

G. Carta de Stevens

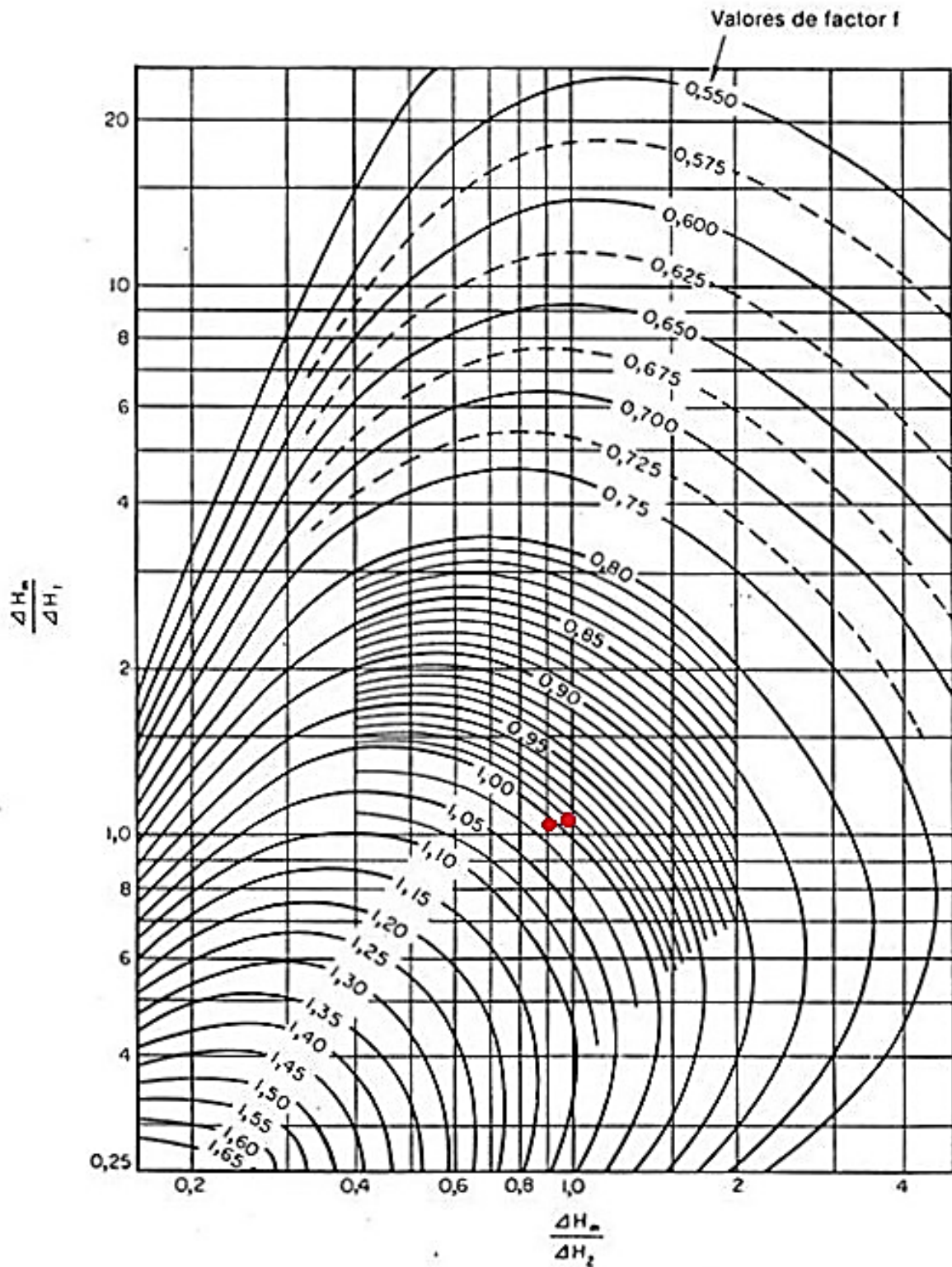


Figura G.1 - Carta de Stevens para determinação do fator f [13]

## H. Parâmetros Indicativos da Qualidade da Água em Sistemas de Refrigeração

Os parâmetros de qualidade da água apresentados nas tabelas H.1 e H.2 correspondem a valores gerais, para sistemas de refrigeração. Estes valores indicativos podem ser seguidos caso o(s) fabricante(s) de equipamentos não forneçam recomendações acerca da qualidade da água de refrigeração, nem tenha sido elaborado nenhum estudo com essa finalidade.

A tabela H.1 também relaciona os parâmetros de qualidade da água com os problemas de corrosão e de incrustação.

Tabela H.1 - Valores indicativos da qualidade da água de reposição e água de recirculação [17]

Parâmetro	Unidade	Valor		Problema	
		Água de reposição	Água de recirculação	Corrosão	Incrustação
pH (a 25°C)	Unidades de pH	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	✓	✓
Condutividade (a 25°C)	µS/cm	< 200	< 500	✓	✓
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	< 50	< 200		✓
Alcalinidade Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	< 50	< 100		✓
Cloro residual livre	mg/L Cl	< 50	< 200	✓	
Ferro	mg/L Fe	< 0,3	< 1,0	✓	✓
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub>	< 50	< 200	✓	
Sílica	mg/L SiO <sub>2</sub>	< 30	< 50		✓

Tabela H.2 - Valores indicativos da qualidade da água de recirculação [18]

Parâmetro	Valor	Unidade
Sólidos suspensos	Não deve conter	-
Condutividade	50-600	µS/cm
Dureza Total	< 142 (*)	mg/L CaCO <sub>3</sub>
pH	7,8	Unidades de pH
Ácido carbônico agressivo	Não deve conter	-
Ferro	< 0,3	mg/L Fe
Manganês	< 0,05	mg/L Mn
Sulfato	< 250	mg/L SO <sub>4</sub>
Cloreto	< 250	mg/L Cl
Carência química de oxigênio (CQO)	< 40	mg/L O <sub>2</sub>
Bactérias/microrganismos	< 1000	UFC/mL

(\*) Valor calculado através da relação: 1 °dH (grau alemão de dureza) corresponde a 17,84 mg/L CaCO<sub>3</sub>

## I. Boletins de Análise da Água

### I.1 Análise físico-química da água do poço antes e após o descalcificador



Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 537 - 4200-072 Porto  
 Telefone +351 228340536/516 . Fax +351 228340516



#### RELATÓRIO DE ENSAIO

Industria Textil do Ave, S. A.

PROCESSO Nº: 1416599

Rua António José da Costa, 200 - Apartado 5001  
 4761-906 Lousado

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 35116

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA					
A2/1416599	Água do poço antes do descalcificador				
Classe de Amostra:	Água de processo	Legislação Aplicável:		Legislação não definida	
Tipo de Amostragem:	Pontual	Efetuada por:	Cliente		
Colheita:	27/03/2014	Receção:	27/03/2014	Início da análise:	27/03/2014
Fim da análise:	04/04/2014			Emissão do Relatório:	04/04/2014

Este boletim não pode ser parcialmente reproduzido sem autorização por escrito dada pela direção do nosso Laboratório. Os resultados referem-se exclusivamente às amostras recebidas e ensaiadas. Qualquer extrapolação é da exclusiva responsabilidade do cliente.

PARÁMETRO	Valor Obtido	Unidade	Referência do Método	Método de Ensaio	Valor de Referência
Alcalinidade Total	25	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SMEWW 2320 A	Volumetria	N/A
Azoto Amoniacal	0,06	mg/L NH <sub>4</sub>	SMEWW 4500 - NH <sub>3</sub> F.	EAM	N/A
Cloro Livre*	< 0,1	mg/L Cl <sub>2</sub>	LCEA-PE050 (2008-12-10) (NP4307-2:1994; SMEWW 4500 Cl G.)	EAM	N/A
Condutividade a 20°C	247	µS/cm	SMEWW 2510 B.	Conductimetria	N/A
Cor*	8	mg/L escala Pt/Co	SMEWW 2120 B.	EAM	N/A
Dureza Total	55	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SMEWW 2340 C.	Volumetria	N/A
Ferro	339	µg/L Fe	SMEWW 3500-Fe B.	EAM	N/A
Manganês	< 0,04	mg/L Mn	SMEWW 3111 B. SMEWW 3030 E	EAA	N/A
Nitratos	23	mg/L NO <sub>3</sub>	SMEWW 4500-NO3 B.	EAM	N/A
Nitritos	91	µg/L NO <sub>2</sub>	SMEWW 4500 NO <sub>2</sub> B.	EAM	N/A
Oxidabilidade ao Permanganato	< 1,0	mg/L O <sub>2</sub>	NP 731:1989	Volumetria	N/A
pH	6,1	Unidades de pH	SMEWW 4500-H+ B.	Potenciometria	N/A
Silica*	7,6	mg/L SiO <sub>2</sub>	LCEA-PE057	EAM	N/A
Subst. Tensioactivas React. Azul de Metileno*	< 0,5	mg/L LAS	SMEWW 5540 C.	EAM	N/A
Turvação*	1,0	NTU	LCEA-PE049	EAM	N/A

**Notas** - O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com \*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro não acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; O ensaio assinalado com \*\*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; Os resultados expressos na forma <X, na coluna designada "Valor Obtido", são inferiores ao limite de quantificação do método; A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação; N/A - Não aplicável.  
 SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22ª Edição;  
 LCEA-PEXXX - Código interno do método.

Observações:  
 pH realizado a 19,8°C.

Comentários:

A Diretora do Laboratório do CEA

Rosária Santos, Eng<sup>a</sup> Química



Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 537 - 4200-072 Porto  
 Telefone +351 228340538/516 . Fax +351 228340516



**RELATÓRIO DE ENSAIO**

Industria Textil do Ave, S. A.

PROCESSO Nº: 1416599

Rua António José da Costa, 200 - Apartado 5001  
 4761-906 Lousado

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 35243

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA					
A1/1416599	Água do poço após descalcificador				
Classe de Amostra:	Água de processo	Legislação Aplicável:		Legislação não definida	
Tipo de Amostragem:	Pontual	Efetuada por:	Cliente		
Colheita:	27/03/2014	Receção:	27/03/2014	Início da análise:	27/03/2014
Fim da análise:	04/04/2014			Emissão do Relatório:	04/04/2014

Este boletim não pode ser parcialmente reproduzido sem autorização por escrito dada pela direção do nosso Laboratório. Os resultados referem-se exclusivamente às amostras recebidas e ensaiadas. Qualquer extrapolação é da exclusiva responsabilidade do cliente.

PARÁMETRO	Valor Obtido	Unidade	Referência do Método	Método de Ensaio	Valor de Referência
Alcalinidade Total	37	mg/L CaCO <sub>2</sub>	SMEWW 2320 A	Volumetria	N/A
Azoto Amónico	< 0,05	mg/L NH <sub>4</sub>	SMEWW 4500 - NH <sub>4</sub> F.	EAM	N/A
Cloro Livre*	< 0,1	mg/L Cl <sub>2</sub>	LCEA-PE050 (2008-12-10) (NP4307-2:1994; SMEWW 4500 Cl G.)	EAM	N/A
Condutividade a 20°C	329	µS/cm	SMEWW 2510 B.	Conductimetria	N/A
Cor*	3	mg/L escala Pt/Co	SMEWW 2120 B.	EAM	N/A
Dureza Total	< 5	mg/L CaCO <sub>2</sub>	SMEWW 2340 C.	Volumetria	N/A
Ferro	60	µg/L Fe	SMEWW 3500-Fe B.	EAM	N/A
Manganês	< 0,04	mg/L Mn	SMEWW 3111 B. SMEWW 3030 E	EAA	N/A
Nitratos	26	mg/L NO <sub>3</sub>	SMEWW 4500-NO3 B.	EAM	N/A
Nitritos	19	µg/L NO <sub>2</sub>	SMEWW 4500 NO <sub>2</sub> B.	EAM	N/A
Oxidabilidade ao Permanganato	1,0	mg/L O <sub>2</sub>	NP 731:1969	Volumetria	N/A
pH	6,2	Unidades de pH	SMEWW 4500-H+ B.	Potenciometria	N/A
Silica*	7,3	mg/L SiO <sub>2</sub>	LCEA-PE057	EAM	N/A
Turvação*	< 1,0	NTU	LCEA-PE049	EAM	N/A

**Notas** - O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com \*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro não acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; O ensaio assinalado com \*\*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; Os resultados expressos na forma <X, na coluna designada "Valor Obtido", são inferiores ao limite de quantificação do método; A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação; N/A - Não aplicável.  
 SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22ª Edição;  
 LCEA-PEXXX - Código interno do método.

Observações:
pH realizado a 19,7°C.
Comentários:

A Diretora do Laboratório do CEA

Rosária Santos, Eng<sup>a</sup> Química

## I.2 Análise bacteriológica da água do poço antes e após o descalcificador



Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 537 - 4200-072 Porto  
 Telefone +351 228340536/516 . Fax +351 228340516

### RELATÓRIO DE ENSAIO

Industria Textil do Ave, S. A.

PROCESSO Nº: 1416599

Rua António José da Costa, 200 - Apartado 5001  
 4761-906 Lousado

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 35245

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA					
A2/1416599	Água do poço antes do descalcificador (Bac)				
Classe de Amostra:	Água de processo	Legislação Aplicável:	Legislação não definida		
Tipo de Amostragem:	Pontual	Efetuada por:	Cliente		
Colheita:	27/03/2014	Receção:	27/03/2014	Início da análise:	27/03/2014
Fim da análise:	31/03/2014			Emissão do Relatório:	31/03/2014

Este boletim não pode ser parcialmente reproduzido sem autorização por escrito dada pela direção do nosso Laboratório. Os resultados referem-se exclusivamente às amostras recebidas e ensaiadas. Qualquer extrapolação é da exclusiva responsabilidade do cliente.

PARÁMETRO	Valor Obtido	Unidade	Referência do Método	Método de Ensaio	Valor de Referência
Contagem de bactérias coliformes***	0	UFC/100 mL	IT-DLM-03v02 (ISO9308-1:2000)	Filt. membrana	N/A
Contagem de Clostridium perfringens***	0	UFC/100mL	IT-DLM-14/V02	Filt. membrana	N/A
Contagem de Enterococos***	0	UFC/100 mL	ISO7899-2:2000	Filt. membrana	N/A
Contagem de Escherichia coli***	0	UFC/100 mL	IT-DLM-03v02 (ISO9308-1:2000)	Filt. membrana	N/A
Contagem de microrganismos a 22°C***	0	UFC/mL	ISO 6222:1999	Inc. gelose nutr.	N/A
Contagem de microrganismos a 37°C***	0	UFC/mL	ISO 6222:1999	Inc. gelose nutr.	N/A

**Notas** - O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com \*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro não acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; O ensaio assinalado com \*\*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; Os resultados expressos na forma <X, na coluna designada "Valor Obtido", são inferiores ao limite de quantificação do método; A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação; N/A - Não aplicável.  
 SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22ª Edição;  
 LCEA-PEXXX - Código interno do método.

Observações:
Comentários:

A Diretora do Laboratório do CEA

Rosária Santos, Eng<sup>a</sup> Química



Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 537 - 4200-072 Porto  
 Telefone +351 228340538/516 . Fax +351 228340516

**RELATÓRIO DE ENSAIO**

Indústria Textil do Ave, S. A.

PROCESSO Nº: 1416599

Rua António José da Costa, 200 - Apartado 5001  
 4761-906 Lousado

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 35244

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA					
A1/1416599	Água do poço após descalcificador (Bac)				
Classe de Amostra:	Água de processo	Legislação Aplicável:	Legislação não definida		
Tipo de Amostragem:	Pontual	Efetuada por:	Cliente		
Colheita:	27/03/2014	Receção:	27/03/2014	Início da análise:	27/03/2014
Fim da análise:	31/03/2014			Emissão do Relatório:	31/03/2014

Este boletim não pode ser parcialmente reproduzido sem autorização por escrito dada pela direção do nosso Laboratório. Os resultados referem-se exclusivamente às amostras recebidas e ensaiadas. Qualquer extrapolação é da exclusiva responsabilidade do cliente.

PARÂMETRO	Valor Obtido	Unidade	Referência do Método	Método de Ensaio	Valor de Referência
Contagem de bactérias coliformes***	0	UFC/100 mL	IT-DLM-03v02 (ISO9308-1:2000)	Filt. membrana	N/A
Contagem de Clostridium perfringens***	0	UFC/100mL	IT-DLM-14/V02	Filt. membrana	N/A
Contagem de Enterococos***	0	UFC/100 mL	ISO7899-2:2000	Filt. membrana	N/A
Contagem de Escherichia coli***	0	UFC/100 mL	IT-DLM-03v02 (ISO9308-1:2000)	Filt. membrana	N/A
Contagem de microrganismos a 22°C***	0	UFC/mL	ISO 8222:1999	Inc. gelose nutr.	N/A
Contagem de microrganismos a 37°C***	0	UFC/mL	ISO 8222:1999	Inc. gelose nutr.	N/A

Notas - O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com \*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro não acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; O ensaio assinalado com \*\*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; Os resultados expressos na forma <X, na coluna designada "Valor Obtido", são inferiores ao limite de quantificação do método; A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação; N/A - Não aplicável.

SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22ª Edição;  
 LCEA-PEXXX - Código interno do método.

Observações:

Comentários:

A Diretora do Laboratório do CEA

Rosária Santos, Eng<sup>a</sup> Química

### I.3 Análise físico-química e bacteriológica da água de recirculação no sistema



Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 537 - 4200-072 Porto  
 Telefone +351 228340536/516 . Fax +351 228340516



**RELATÓRIO DE ENSAIO**

Industria Textil do Ave, S. A.

PROCESSO Nº: 1416599

Rua António José da Costa, 200 - Apartado 5001  
 4761-906 Lousado

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 35246

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA					
A3/1416599	Torre de refrigeração				
Classe de Amostra:	Água de processo	Legislação Aplicável:	Legislação não definida		
Tipo de Amostragem:	Pontual	Efetuada por:	Cliente		
Colheita:	27/03/2014	Receção:	27/03/2014	Início da análise:	27/03/2014
Fim da análise:	03/04/2014			Emissão do Relatório:	04/04/2014

Este boletim não pode ser parcialmente reproduzido sem autorização por escrito dada pela direção do nosso Laboratório. Os resultados referem-se exclusivamente às amostras recebidas e ensaiadas. Qualquer extrapolação é da exclusiva responsabilidade do cliente.

PARÁMETRO	Valor Obtido	Unidade	Referência do Método	Método de Ensaio	Valor de Referência
Alcalinidade à fenolftaleína	10	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SMEWW 2320 A	Volumetria	N/A
Alcalinidade Total	229	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SMEWW 2320 A	Volumetria	N/A
Condutividade a 20°C	1450	µS/cm	SMEWW 2510 B.	Condutimetria	N/A
Dureza Total	42	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SMEWW 2340 C.	Volumetria	N/A
Ferro	5,25	mg/L Fe	SMEWW 3500-Fe B.	EAM	N/A
Fósforo Dissolvido Reactivo	5,1	mg/L P	SMEWW 4500-P E.	EAM	N/A
pH	8,8	Unidades de pH	SMEWW 4500-H+ B.	Potenciometria	N/A
Silíca*	51	mg/L SiO <sub>2</sub>	LCEA-PE057	EAM	N/A
Zinco	2,8	mg/L Zn	SMEWW 3111 B. SMEWW 3030 E	EAA	N/A

Notas - O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com \*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro não acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; O ensaio assinalado com \*\*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; Os resultados expressos na forma <X, na coluna designada "Valor Obtido", são inferiores ao limite de quantificação do método; A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação; N/A - Não aplicável.  
 SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22ª Edição;  
 LCEA-PEXXX - Código interno do método.

<b>Observações:</b> pH realizado a 19,6°C.
<b>Comentários:</b>

A Diretora do Laboratório do CEA

Rosária Santos, Eng<sup>a</sup> Química



Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 537 - 4200-072 Porto  
 Telefone +351 228340536/516 . Fax +351 228340516

**RELATÓRIO DE ENSAIO**

Industria Textil do Ave, S. A.

PROCESSO N.º: 1416599

Rua António José da Costa, 200 - Apartado 5001  
 4761-906 Lousado

RELATÓRIO DE ENSAIO N.º: 35269

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA					
A3/1416599	Torre de refrigeração (Bac)				
Classe de Amostra:	Água de processo	Legislação Aplicável:		Legislação não definida	
Tipo de Amostragem:	Pontual	Efetuada por:	Cliente		
Colheita:	27/03/2014	Receção:	27/03/2014	Início da análise:	27/03/2014
Fim da análise:	06/04/2014			Emissão do Relatório:	07/04/2014

Este boletim não pode ser parcialmente reproduzido sem autorização por escrito dada pela direção do nosso Laboratório. Os resultados referem-se exclusivamente às amostras recebidas e ensaiadas. Qualquer extrapolação é da exclusiva responsabilidade do cliente.

PARÂMETRO	Valor Obtido	Unidade	Referência do Método	Método de Ensaio	Valor de Referência
Contagem de microrganismos a 37°C***	6,1E3	UFC/mL	ISO 8222:1999	Inc. gelose nutr.	N/A
Pesquisa de Legionella***	Negativa	/L	ISO 11731:1998	Concentração e cultura em meio específico	N/A

Notas - O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação; O ensaio assinalado com \*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro não acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; O ensaio assinalado com \*\*\* foi subcontratado a um laboratório com o parâmetro acreditado e não está incluído no âmbito da nossa acreditação; Os resultados expressos na forma <X, na coluna designada "Valor Obtido", são inferiores ao limite de quantificação do método; A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação; N/A - Não aplicável.  
 SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22ª Edição;  
 LCEA-PEXXX - Código interno do método.

Observações:

Comentários:

A Diretora do Laboratório do CEA

Rosária Santos, Eng<sup>a</sup> Química