



## AUDITORIA E OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA À SECÇÃO DE IMPREGNAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL

Nuno Miguel Simões Leal Ribeiro

Setembro 2009

# Auditoria e Optimização Energética à Secção de Impregnação de uma Indústria Têxtil

Nuno Miguel Simões Leal Ribeiro



## Orientadores:

Eng.º Joaquim Rocha (ITA)

Doutora Anabela Guedes (ISEP)

Doutora Simone Morais (ISEP)

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO**

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUÍMICA



# Auditoria e Optimização Energética à Secção de Impregnação de uma Indústria Têxtil

Nuno Miguel Simões Leal Ribeiro

Setembro 2009

**Orientador:** Doutora Anabela Maria Fonseca de Moura Guedes  
**Co-Orientador:** Doutora Simone Barreira Morais



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, queria agradecer aos meus pais e à minha irmã todo o apoio que me deram ao longo de toda a minha vida académica. Reconheço que foram os meus “patrocinadores” e com isto sempre se preocuparam com que nunca me faltasse nada.

Quero agradecer à administração da Indústria Têxtil do Ave, S.A. e a todos os seus trabalhadores a possibilidade que me deram de poder exercer Engenharia durante estes últimos 6 meses. Agradeço às equipas de trabalho da impregnação lideradas pelo Sr. Zé Maria, Sr. Jacinto, Sr. Ovídio e pelo Sr. Paulo. Agradeço ao director fabril Manuel Pinheiro e a todos os seus colaboradores por me fazerem sentir parte integrante da sua equipa. Agradeço igualmente a todos os meus “camaradas” da manutenção e agradeço em particular ao:

- Sr. Borges pelo elogio, incentivo e encorajamento ao longo do meu trabalho.
- Sr. Araújo pela preocupação, camaradagem e pelos experientes pareceres que foram de grande importância ao longo do meu trabalho.
- Diogo por toda a disponibilidade, interesse e ajuda que sempre demonstrou ter ao longo do meu trabalho na ITA.
- Eng.<sup>o</sup> Nuno Alves, o meu parceiro de gabinete, pelo companheirismo, ajuda e simpatia que sempre esteve vigente durante o meu estágio

Queria aproveitar para deixar um agradecimento muito especial à pessoa que é a minha referência, o Eng.<sup>o</sup> Joaquim Rocha. Agradeço-lhe de forma magnífica o carinho, a paciência e a dedicação que sempre teve em me ensinar sem nunca me negar o esclarecimento de uma dúvida. Agradeço da mesma forma todo o interesse que teve em me ajudar, todo o incentivo, todo o encorajamento que precisei em todos os momentos que trabalhei na ITA. Vou sem dúvida guardar para sempre todos os preciosos conselhos que me deu.

Queria agradecer às minhas orientadores, a Doutora Anabela Guedes e a Doutora Simone Morais por toda a disponibilidade, paciência e amabilidade que tiveram por mim ao longo deste período.

Queria agradecer a todos os meus professores do *mui nobre* Instituto Superior de Engenharia do Porto por tudo o que me ensinaram ao longo destes anos, não só a nível académico/profissional, mas também a nível pessoal.

E para finalizar, não posso esquecer-me da minha senhora, por tudo o que é para mim, a Eng.<sup>a</sup> Ana Dias.

## Resumo

O consumo de energia de forma irracional acarreta desvantagens a nível económico para o consumidor e problemas ambientais, para toda a sociedade, uma vez que grande parte das energias é de proveniência fóssil (derivados de petróleo e gás natural) contribuindo para uma escassez de recursos naturais e para um aumento da poluição. Neste contexto, a optimização energética na indústria, e em particular no sector têxtil, é indispensável de forma a utilizar racionalmente a energia e assim contribuir para a viabilidade das empresas.

Este trabalho, efectuado na Indústria Têxtil do Ave, S.A., teve como objectivos efectuar uma auditoria energética à máquina de impregnação e sugerir alternativas de forma a reduzir o consumo de gás natural da mesma.

A auditoria energética efectuada permitiu concluir que durante o processo de impregnação, é necessário um caudal térmico de 4411 kW, em que 88% deste valor corresponde ao caudal térmico de gás natural. A auditoria permitiu também concluir que as perdas de energia na secção de impregnação atingem um valor de 24%.

Foi sugerida a aplicação de uma optimização processual que consiste na implementação de 4 alternativas: (i) redução das exaustões; (ii) aumento da temperatura do ar de aquecimento com a concepção de um compartimento isolado; (iii) aumento da temperatura da solução de activação através de um permutador de placas e (iv) aquecimento do ar de combustão através do aproveitamento dos gases de combustão e exaustão. A redução dos caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão (i) permite reduzir o consumo de gás em 3,8%. A implementação de painéis isoladores (ii) acarreta um investimento de 30.350€ e retorno do investimento de cerca de 7 meses. Esta aplicação permite reduzir o consumo de gás natural na ordem dos 5,5%. A terceira alternativa (iii) envolve um investimento de 1.246€ e um tempo de retorno do investimento de 11 meses. A redução do consumo de gás natural é de 0,1%. A última alternativa (iv) estudada neste trabalho consiste na aquisição de 2 unidades de permuta de calor, uma de ar-água e outra de água-ar, além da bomba circuladora. A instalação deste sistema necessita de um investimento de 17.831€ e permite uma redução de 1,3% do consumo de gás natural. O tempo de retorno do investimento é de 18 meses aproximadamente.

## **Abstract**

The irrational consumption of energy motivates economic disadvantages for the consumer and environmental issues throughout society since the main energy source is fossil fuel (petroleum and natural gas) contributing to a shortage of natural resources and increasing pollution. In this context, optimizing the way how the energy is used in industry, particularly in the textile sector, is essential in order to use energy rationally and contribute to the viability of enterprises.

The main goals of this work, which was realized in "Indústria Têxtil do Ave, S.A.", were to perform an audit to the impregnation machine and to propose suitable alternatives to reduce natural gas consumption.

The performed energetic audit allowed concluding that a heat rate of 4411 kW is needed during impregnation. 88% of this value corresponds to the heat rate of natural gas. Total energy losses in this section were determined as 24%.

In order to optimize the impregnation process, four alternatives were suggested, namely, (i) reducing the combustion and exhaustion gases mass rate; (ii) increasing the temperature of the heating air by the utilization of an isolated compartment; (iii) increasing the temperature of the activation solution with a plate heat exchanger and (iv) heating the combustion air by reuse of combustion and exhaustion gases. Reduction of the combustion and exhaustion gases mass rate (i) can diminish the consumption of natural gas in 3.8%. The application of isolator panels (ii) requires an investment of 30.350  and 7 months of payback time. This option can promote a reduction of 5.5% in natural gas consumption. The third alternative involves an investment of 1246 , ca. 11 months of payback time and 0.1% reduction of natural gas consumption. The last alternative (iv) is related to the acquisition of two units for heat exchange, one for air-water and the other for water-air, and a circulator pump. The installation of this system requires an investment of 17,831  and allows a reduction of 1.3% of consumption of natural gas. The payback time is about 18 months.

## Índice Geral

|  |      |
|--|------|
| Agradecimentos   | iii  |
| Resumo   | iv   |
| Abstract   | v    |
| Índice   | vi   |
| Índice de Figuras  | viii |
| Índice de Tabelas  | x    |
| Lista de abreviaturas e símbolos                                     | xi   |
| 1.Introdução   | 1    |
| 1.1.A Indústria Textil do Ave, S.A.                                  | 1    |
| 1.2.As telas para os pneus   | 3    |
| 1.3.Processo de Fabrico do Cord-Fabric                               | 5    |
| 1.3.1.Torcedura  | 7    |
| 1.3.2.Tecelagem  | 8    |
| 1.3.3.Impregnação  | 9    |
| 1.4.Objectivos do trabalho   | 12   |
| 2.Auditoria Energética à secção de impregnação                       | 13   |
| 2.1.Balanços de massa  | 14   |
| 2.1.1.Balanço de massa ao azoto                                      | 14   |
| 2.1.1.1.Azoto do ar de combustão                                     | 15   |
| 2.1.1.2.Azoto dos gases de combustão e exaustão                      | 17   |
| 2.1.1.3.Determinação do azoto do ar de aquecimento                   | 19   |
| 2.1.2.Balanço de massa à água  | 20   |
| 2.1.2.1.Quantidade de água do ar de combustão e no ar de aquecimento | 20   |
| 2.1.2.2. Quantidade de água das soluções 1 e 2                       | 21   |
| 2.1.2.3. Quantidade de água do tecido verde e do tecido impregnado   | 23   |
| 2.1.2.4. Quantidade de água do combustível                           | 23   |
| 2.1.2.5. Quantidade de água formada na combustão                     | 23   |
| 2.1.2.6. Quantidade de água nos gases de combustão e exaustão        | 24   |
| 2.2.Balanços de Energia Térmica                                      | 26   |
| 2.2.1.Potência de entrada  | 26   |
| 2.2.1.1.Potência do combustível                                      | 26   |
| 2.2.1.2.Potência do tecido verde                                     | 27   |
| 2.2.1.3.Potência do ar de aquecimento                                | 27   |
| 2.2.1.4.Potência do ar de combustão                                  | 28   |
| 2.2.1.5.Potência da solução 1  | 29   |
| 2.2.1.6.Potência da solução 2  | 29   |
| 2.2.2Potência de saída   | 30   |
| 2.2.2.1.Potência dos gases de combustão e exaustão                   | 30   |
| 2.2.2.2Potência do tecido impregnado                                 | 30   |
| 2.2.2.3.Potência das perdas  | 31   |
| 2.3.Qualificação das perdas  | 31   |
| 2.3.1.Perdas processuais   | 31   |

|  |     |
|--|-----|
| 2.3.2.Perdas não processuais   | 34  |
| 2.3.3.Perdas não quantificáveis  | 35  |
| 3.Análise dos resultados obtidos na auditoria energética                                       | 37  |
| 4.Otimização energética  | 41  |
| 4.1. Redução dos caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão                            | 41  |
| 4.1.1.Análise Energética   | 41  |
| 4.1.2.Análise Económica  | 44  |
| 4.2. Aumento da temperatura do ar de aquecimento   | 46  |
| 4.2.1. Análise energética teórica  | 46  |
| 4.2.2.Análise energética experimental  | 47  |
| 4.2.3.Análise Económica  | 49  |
| 4.3. Aumento da temperatura da Solução 1   | 54  |
| 4.3.1.Análise energética   | 54  |
| 4.3.2.Análise económica  | 54  |
| 4.4.Aquecimento do ar de combustão através do aproveitamento dos gases de combustão e exaustão | 58  |
| 4.4.1.Análise energética   | 58  |
| 4.4.2.Análise económica  | 59  |
| 5.Conclusões e propostas para trabalhos futuros  | 62  |
| 6.Bibliografia   | 63  |
| Anexos   | 64  |
| Anexo A. Dados fornecidos pela empresa   | 65  |
| Anexo B.Propriedades físicas   | 67  |
| B.1.Propriedades físicas do ar   | 67  |
| B.2.Propriedades físicas dos gases de combustão e exaustão                                     | 69  |
| B.3.Carta Psicométrica   | 70  |
| B.4.Parâmetros do gás natural  | 71  |
| B.5. Capacidade calorífica específica das soluções   | 73  |
| Anexo Cálculos auxiliares  | 74  |
| C.1.Ar de Combustão  | 74  |
| C.2.Gases de combustão e exaustão  | 75  |
| C.3.Ar de aquecimento  | 81  |
| C.4. Tecido  | 82  |
| C.5. Soluções  | 82  |
| C.6. Combustível   | 84  |
| C.7. Perdas térmicas nas paredes das estufas   | 85  |
| Anexo D. Fichas técnicas de equipamentos   | 92  |
| D.1.PT100  | 92  |
| D.2.Permutador de placas   | 93  |
| D.3.Ficha técnica da matéria-prima do PBB-13J  | 95  |
| D.4.Ficha técnica do permutador de calor ar-água   | 101 |
| D.5.Ficha técnica do permutador de calor água-ar   | 102 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Instalações Fabris da Indústria Têxtil do Ave no ano de 1950  | 1  |
| Figura 2 – Imagem representativa de um pneu, com referência aos componentes  | 4  |
| Figura 3 – Proporção mássica dos componentes presentes nos pneus de carros de passageiros e pesados (camiões)                        | 4  |
| Figura 4 – Descrição resumida do processo de fabricação de pneus   | 5  |
| Figura 5 – Principais fios usados pela ITA: a) Bobines de Polietilenotereftalato; b) Fio de Rayon                                    | 5  |
| Figura 6 – Esquema representativo do processo de fabrico   | 6  |
| Figura 7 – Diagrama representativo da cadeia de produção de pneus  | 6  |
| Figura 8 – a)Fuso do um torcedor ICBT; b) Esquema representativo da torcedura  | 7  |
| Figura 9 – Diagrama representativo de diferentes possibilidades de torção  | 7  |
| Figura 10 – Fotografias de várias bobines de corda   | 8  |
| Figura 11 – Fotografias da secção da tecelagem: a) e b) Vistas diferentes do salão 1;c) e d) Teares Sulzer                           | 8  |
| Figura 12 – Esquema do funcionamento de um tear  | 9  |
| Figura 13 – Edifício da máquina de impregnar   | 9  |
| Figura 14 – Diagrama de Processo de impregnação.   | 10 |
| Figura 15 – Artigos mais produzidos entre Setembro de 2008 e Março de 2009 (figura obtida a partir dos valores do anexo A)           | 11 |
| Figura 16 – Fotografias do tecido PBB-13J impregnado   | 12 |
| Figura 17 – Esquema representativo do processo de impregnação aplicado na ITA  | 12 |
| Figura 18 – Entrada de ar de aquecimento e de tecido numa estufa   | 14 |
| Figura 19 – Esquema representativo do ar usado na impregnação  | 14 |
| Figura 20 – Ventilador da estufa 5   | 15 |
| Figura 21 – Esquema representativo das correntes de água usadas na impregnação do PBB-13J  | 20 |
| Figura 22 – Esquema representativo da acumulação de massa de solução pelo tecido   | 22 |
| Figura 23 – Esquema representativo do caudal térmico usado na impregnação do PBB-13J   | 26 |
| Figura 24 – Esquema indicativo das perdas processuais, nomeadamente o arrefecimento do tecido (vermelho) e passagem de estufa (roxo) | 32 |
| Figura 25 – Esquema representativo das perdas de caudal térmico pelas paredes das estufas  | 34 |
| Figura 26 – Fotografias das junções de placas das estufas  | 35 |
| Figura 27 – Fotografias das portas da estufa   | 36 |
| Figura 28 – Fotografias das condutas do ar de circulação   | 36 |
| Figura 29 – Fotografias dos rolos dos topos das estufas  | 36 |
| Figura 30 – Fotografias dos ventiladores de exaustão   | 36 |
| Figura 31 – Distribuição das potências de entrada da máquina de impregnar  | 37 |
| Figura 32 – Distribuição das potências de saída da máquina de impregnar  | 38 |
| Figura 33 – Distribuição das perdas da máquina de impregnar  | 39 |
| Figura 34 – Descrição das potências de saída da máquina de impregnar   | 39 |
| Figura 35 – Valores dos custos horários das potências de saída comparados com os custos do combustível (0,031€/kWh)                  | 40 |
| Figura 36 – Valores dos custos horários das perdas comparados com os custos do combustível (0,031€/kWh)                              | 40 |
| Figura 37 – Comparação entre as percentagens das exaustões actuais com as exaustões modificadas                                      | 42 |
| Figura 38 – Comparação entre os caudais volumétricos das exaustões actuais com as exaustões modificadas                              | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 39 – Comparação dos caudais térmicos (teóricos) para as diferentes situações   | 44 |
| Figura 40 – Comparação entre os gastos actuais com os gastos teóricos com redução da exaustão                                 | 45 |
| Figura 41 – Abertura da estufa para a entrada do tecido   | 46 |
| Figura 42 – Comparação entre os caudais térmicos de combustível teóricos e práticos para diferentes temperaturas ambientes    | 48 |
| Figura 43 – Comparação do erro calculado entre os caudais térmicos práticos e teóricos para diferentes temperaturas ambientes | 48 |
| Figura 44 – Distribuição das potências de entrada com o ar de aquecimento a 35,0°C  | 49 |
| Figura 45 – Potência correspondente ao gás natural para as diferentes temperaturas do ar de aquecimento                       | 50 |
| Figura 46 – Gastos horários de gás natural para as diferentes temperaturas do ar de aquecimento                               | 51 |
| Figura 47 – Projecto da aplicação de painéis isoladores debaixo das estufas 5,6 e 7   | 52 |
| Figura 48 – Sistema de controlo para o aquecedor de ar  | 52 |
| Figura 49 – Distribuição das potências de entrada da máquina de impregnação com a temperatura da solução 1 a 30°C             | 55 |
| Figura 50 – Esquema do permutador de caudal térmico de placas   | 55 |
| Figura 51 – Gastos de combustível para as diferentes temperaturas do ar de combustão  | 59 |
| Figura 52 – Projecto de aplicação de duas unidades de permuta de calor  | 60 |

## Índice de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Características das estufas da máquina de impregnar   | 13 |
| Tabela 2 – Valores referentes aos caudais mássicos do ar de combustão nas várias estufas   | 16 |
| Tabela 3 – Valores dos caudais mássicos e molares do ar de combustão e do azoto nas estufas  | 17 |
| Tabela 4 – Valores referentes aos volumes específicos calculados   | 18 |
| Tabela 5 – Valores referentes aos caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão   | 18 |
| Tabela 6 – Valores dos caudais de água do ar de combustão  | 21 |
| Tabela 7 – Valores dos caudais de água do ar de aquecimento  | 21 |
| Tabela 8 – Valores dos caudais de água presentes nas tinas 1 e 2   | 22 |
| Tabela 9 – Valores dos caudais de água presentes no tecido verde e impregnado  | 23 |
| Tabela 10 – Valores dos caudais de ar presentes na entrada   | 24 |
| Tabela 11 – Valores dos caudais de água presentes no sistema   | 25 |
| Tabela 12 – Caudais térmicos de ar seco do ar de combustão   | 28 |
| Tabela 13 – Caudais térmicos de água do ar de combustão  | 29 |
| Tabela 14 – Caudais térmicos dos gases secos de combustão e exaustão   | 30 |
| Tabela 15 – Resultados obtidos do arrefecimento do tecido  | 33 |
| Tabela 16-Resultados obtidos do arrefecimento por passagem do tecido entre estufas   | 34 |
| Tabela 17 – Temperatura de funcionamento das estufas da máquina de impregnar   | 34 |
| Tabela 18 – Perdas por convecção e radiação das paredes das estufas  | 35 |
| Tabela 19 – Caudais térmicos das correntes de entrada da máquina de impregnar <i>Zell</i>  | 37 |
| Tabela 20 – Caudais térmicos das correntes de saída da máquina de impregnar <i>Zell</i>  | 38 |
| Tabela 21 – Caudais térmicos das perdas da máquina de impregnar <i>Zell</i>  | 38 |
| Tabela 22 – Valores referentes à exaustão reduzida   | 42 |
| Tabela 23 – Valores correspondentes aos caudais térmico para a situação actual, quer para a situação hipotética de redução de exaustão | 43 |
| Tabela 24 – Valores teóricos para os gastos de gás natural para as duas situações estudadas  | 44 |
| Tabela 25 – Valores referentes aos gastos de combustível calculados teoricamente   | 47 |
| Tabela 26 – Consumos de gás e respectivo caudal térmico e gasto referente ao consumo de gás natural                                    | 47 |
| Tabela 27 – Valores referentes aos gastos de combustível   | 54 |
| Tabela 28 – Valores necessários para a determinação do diâmetro interno das tubagens   | 57 |
| Tabela 29 – Caudais térmicos de ar seco do ar de combustão à temperatura de 60°C   | 58 |
| Tabela 30 – Caudais térmicos de água do ar de combustão à temperatura de 60°C  | 59 |

## Lista de abreviaturas e símbolos

| Símbolo           | Designação   | Unidade                           |
|-------------------|--|-----------------------------------|
| $A$               | Área de secção recta                                     | $m^2$                             |
| $A_{sup}$         | Área da superfície                                       | $m^2$                             |
| $C_p$             | Capacidade calorífica                                    | $kJ/(kg\ ^\circ C)$               |
| $G_{combustivel}$ | Gasto do combustível                                     | $\text{€}/h$                      |
| $h$               | Coefficiente de transferência de calor por convecção     | $kW/(m^2\ ^\circ C)$              |
| $k$               | Condutividade térmica                                    | $kW/(m\ ^\circ C)$                |
| $L$               | Comprimento  | $m$                               |
| $\dot{m}$         | Caudal mássico   | $kg/s$                            |
| $MM$              | Massa molar  | $kg/kmol$                         |
| $\dot{n}$         | Caudal molar   | $kmol/s$                          |
| $Nu$              | Numero de Nusselt  | -                                 |
| $P$               | Pressão  | $Pa$                              |
| $PCS$             | Poder Calorífico Superior                                | $kWh/m^3$                         |
| $Pr$              | Numero de Prandtl  | -                                 |
| $Q$               | Caudal volumétrico                                       | $m^3/s$                           |
| $q$               | Caudal térmico   | $kW$                              |
| $q_{conv}$        | Caudal térmico transferido por convecção                 | $kW$                              |
| $q_{rad}$         | Caudal térmico transferido por radiação                  | $kW$                              |
| $Re$              | Numero de Reynolds                                       | -                                 |
| $T$               | Temperatura  | $^\circ C$                        |
| $T_{ref}$         | Temperatura de referencia                                | $=0\ ^\circ C$                    |
| $U$               | Coefficiente global de transferência de calor            | $kW/(m^2\ ^\circ C)$              |
| $v$               | Velocidade   | $m/s$                             |
| $VE$              | Volume molar específico                                  | $m^3/kmol$                        |
| $W$               | Potência   | $kW$                              |
| $w$               | Humidade absoluta  | $kg_{\acute{a}gua}/kg_{ar}$       |
| $\Delta T_{lm}$   | Diferença de temperaturas logarítmicas médias            | $^\circ C$                        |
| $\varepsilon$     | Emissividade   | -                                 |
| $\lambda_{ref}$   | Calor latente de vaporização à temperatura de referencia | $kJ/kg$                           |
| $\omega$          | Humidade relativa  | $kg_{\acute{a}gua}/kg_{ar\ seco}$ |
| $\rho$            | Massa volúmica   | $kg/m^3$                          |
| $\mu$             | Viscosidade  | $Pa$                              |

## 1. Introdução

O presente trabalho foi realizado na Indústria Têxtil do Ave, S.A. (ITA) empresa privada do sector dos têxteis técnicos, sediada no Lugar das Fontainhas, Lousado, V.N. de Famalicão. Numa altura em que comemora 60 anos de existência, a ITA é um bom exemplo de uma gestão baseada numa Política de Qualidade e Investimento no sector produtivo. A actividade desenvolvida pela ITA visa essencialmente o fabrico de telas para pneus. Produz ainda, em menor escala, telas para correias transportadoras, *liners* e *chaffers*.

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

A Indústria têxtil do Ave, fundada no final de 1948, iniciou a sua actividade industrial em 1950 como consequência directa da montagem da primeira fábrica de pneus portuguesa, denominada por Manufactura Nacional de Borracha, mais conhecida por Mabor, que também está sediada em Lousado, V.N. de Famalicão (Figura 1).



Figura 1 – Instalação Fabril da Indústria Têxtil do Ave no ano de 1950

Nos primeiros 8 anos, a matéria-prima utilizada foi o algodão. A sua produção mensal de telas para pneus era da ordem das 60 toneladas.

Em 1958, o algodão foi substituído pelas fibras sint ticas, o Rayon de alta tenacidade. Deu-se início à primeira grande transformação tecnológica na construção do pneu. Nesse ano a Mabor adquiriu uma máquina de impregnar da marca LITZLER, que mais tarde viria a ser comprada pela ITA.

Posteriormente ocorreu uma nova transformação, o aparecimento de outras fibras que de certa forma viriam a servir de alternativa ao Rayon, as poliamidas de alta tenacidade. Em 1963, a ITA adquiriu uma máquina de impregnar Industrial Ovens (I.O.) como forma de resposta a essa “revolução” no fabrico de pneus. Essa alteração traduziu-se numa necessidade de aumentar a produção e, por isso, construiu-se um novo salão dedicado exclusivamente à produção de telas para pneus. Este investimento viria a arrancar em 1967 com uma capacidade de produção da ordem das 250 toneladas por mês.

Devido às mudanças políticas e sociais ocorridas no pós 25 de Abril de 1974, o investimento na década de 70, foi de reduzida dimensão.

A década de 80 foi, contrariamente à de 70, uma época de investimentos elevados. Com a entrada de Portugal na União Europeia, o sector têxtil português teve apoios de incentivo à modernização, através de programas como o PEDIP, RETEX e IMIT que levaram a que a ITA fizesse investimentos de grandes dimensões.

No início dos anos 80, foi levado a cabo um ambicioso projecto de inovação tecnológica e de aumento da capacidade produtiva da fábrica, que envolveu, entre outras medidas, a renovação da secção de torcedura com a aquisição dos torcedores BARMAG DC20 e DC30, que consistiu num aumento da capacidade de produção. No seguimento dos investimentos efectuados, a capacidade produtiva da empresa atingiu, em 1982, as 350 ton/mês. Ainda na década de 80, arrancou com a produção de telas para pneus com utilização de cordas de aramida e aço, encerrou a fiação de algodão e iniciou o plano estratégico que visou a reconversão da unidade produtiva de telas industriais traduzida na alteração dos teares de lançadeira para o sistema de inserção de trama por intermédio de pinças, adquirindo-se: 1 urdideira Benninger, 8 torcedores Saurer Alma e 12 teares Saurer SD400S para a produção de correias transportadoras (ano de 1987).

Em 1992 decorre a reestruturação industrial, com a optimização do quadro de pessoal e a implementação de um sistema de recolha automática de dados do processo produtivo. Uma das principais responsáveis pela referida reestruturação foi o começo da actividade da máquina de impregnar ZELL e a aquisição de 10 teares Sulzer de tecnologia de inserção de trama por projectil, que vieram aumentar a velocidade de tecelagem e por sua vez, aumentar a produção.

Segue-se a aquisição da empresa pela Continental, em 1993, passando esta a ser detentora de 95,26% do capital da ITA.

Os passos seguintes foram dados no sentido de obter a certificação do Sistema de Gestão da Qualidade e do Sistema de Gestão Ambiental, o que acabou por se concretizar em 1994 e 1998, respectivamente. A ITA foi uma das primeiras empresas têxteis a ser certificada segundo a norma ISO 9002 e no ano de 1998 foi a segunda empresa a ser certificada segundo a norma ISO 14001. Ainda em 1998, foram adquiridos 4 torcedores da marca

francesa ICBT que viriam a alterar o modo de torcedura com a introdução da tecnologia *direct-cabling*, que consiste na torção simultânea de fio e de cabo.

Em 2000 a ITA voltou a efectuar investimentos de forma a aumentar a capacidade produtiva, adquirindo 6 torcedores ICBT e 2 teares Sulzer. De 2001 a 2004 foram adquiridos 5 torcedores ICBT e 2 teares Dornier com inserção de trama por jacto de ar.

No ano de 2008 foi adquirido por parte da ITA uma máquina de impregnar Benninger que impregna fio torcido e também foram adquiridos mais 3 torcedores RITM de tecnologia idêntica ao dos torcedores ICBT. Também no ano 2008 foi acrescentado um sistema de aquecimento do ar no 2º piso.

Paralelamente a estas iniciativas, a ITA tem apostado na formação dos técnicos e na implementação de metodologias inovadoras de gestão do pessoal que envolve a criação de equipas de trabalho com autonomia e responsabilidade crescentes. Como principais resultados refira-se o aumento de produtividade, a motivação dos trabalhadores (que se reflecte num baixo índice de absentismo) e melhorias significativas na qualidade do seu desempenho.

Hoje é prática dar a conhecer a todos os trabalhadores a evolução do seu trabalho, se é positiva ou negativa. Para tal, os resultados encontram-se afixados, em painéis, com os indicadores e objectivos para as diferentes áreas, acompanhados da respectiva explicação.

Os esforços desenvolvidos pela ITA na área da qualidade visam atingir a Excelência empresarial, abrangendo, por conseguinte todos os sectores da empresa, desde o processo produtivo, passando pela componente comercial e pelo ambiente.

## **1.2. As telas para os pneus**

Com o passar dos tempos, o pneu foi sofrendo várias modificações. Inicialmente, o pneu não era mais do que uma cobertura de pregos, mas com o passar dos tempos, as exigências da indústria automóvel, levaram a que o pneu fosse intensivamente estudado. O pneu moderno é designado tecnicamente como pneumático, tendo nervuras aplicadas no exterior da roda, de forma a aderir aos mais variados tipos de piso.

O pneu inflável é, essencialmente, um recipiente flexível de pressão que utiliza componentes estruturais (como nylon, cabos de aço, etc.) para reter a tensão de arco resultante da pressão da inflação.

Sendo o pneu uma peça que reúne vários materiais com propriedades muito diferentes, a sua constituição consiste basicamente numa capa de borracha sintética, carcaça, aro de talão, talão, tela de reforço, flancos de borracha, banda de rodagem, como se pode

visualizar na figura 2. A figura 3 representa a distribuição mássica dos mais variados componentes nos pneus de veículos ligeiros e pesados.

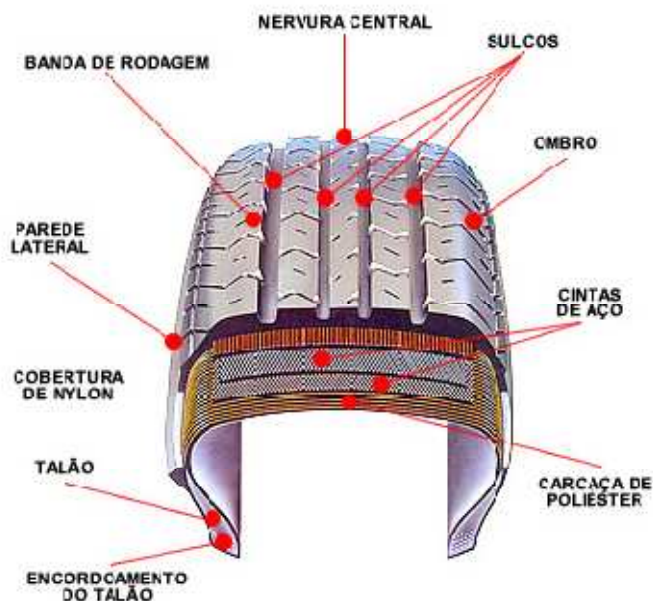


Figura 2 – Imagem representativa de um pneu, com referência aos componentes <sup>[3]</sup>

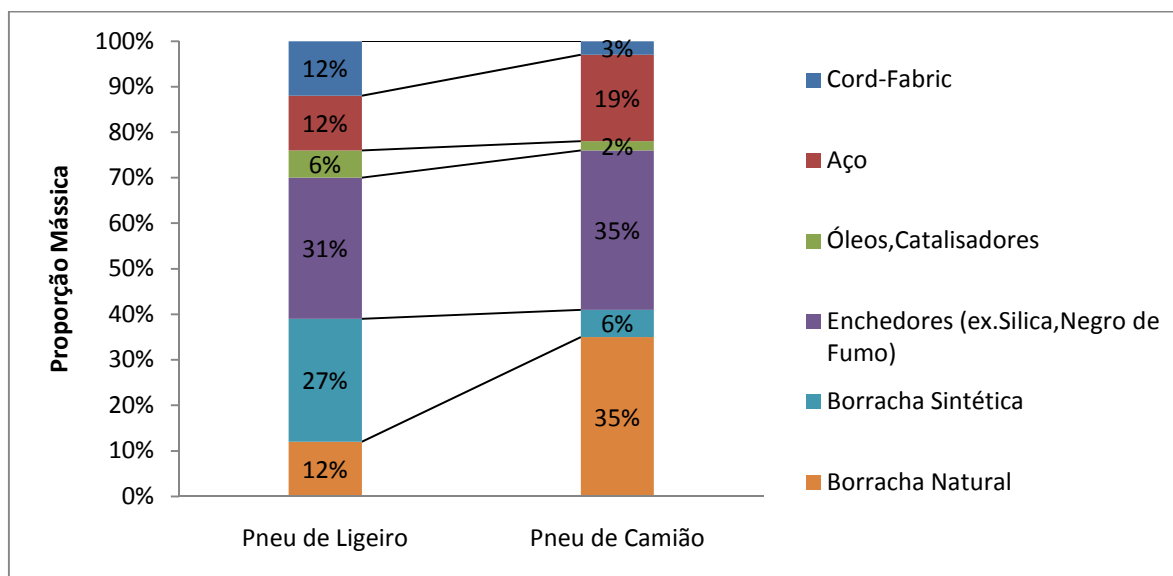


Figura 3 – Proporção mássica dos componentes presentes nos pneus de carros de passageiros e pesados (figura fornecida pela ITA)

Relativamente ao processo de fabrico do pneu, existem etapas respeitantes à preparação da borracha, confecção da carcaça, tratamento do tecido de reforço, calandragem (de modo a obter um material de espessura constante), à montagem do pneu com a armação de

metal, e, antes de se atingir o produto final, o pneu sofre vulcanização e acabamento. Para uma melhor compreensão do processo de fabrico do pneu, destaca-se a figura 4.

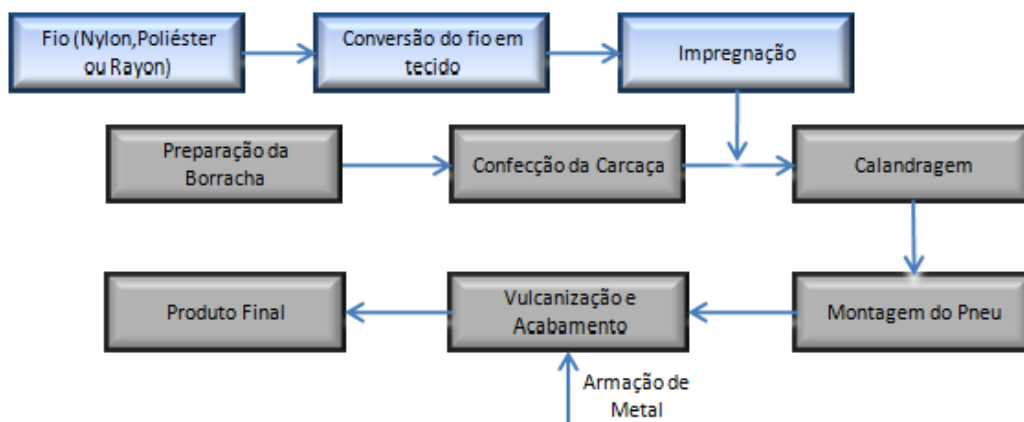


Figura 4 – Descrição resumida do processo de produção de pneus <sup>[4]</sup>

A ITA produz as telas usadas nos pneus, tecnicamente designadas por *cord-fabric*. Estas telas constituem o principal material de reforço dos pneus e, como tal, a sua qualidade assume particular importância na satisfação das condições de segurança requeridas para a estabilidade da direcção e condução de alta velocidade, para além de condicionar a resistência à fadiga e ao desgaste dos pneus.

### 1.3. Processo de fabrico de *Cord-Fabric*

A ITA produz telas para pneus, usando como principais m terias-primas rayon, nylon, poliéster e aramida.

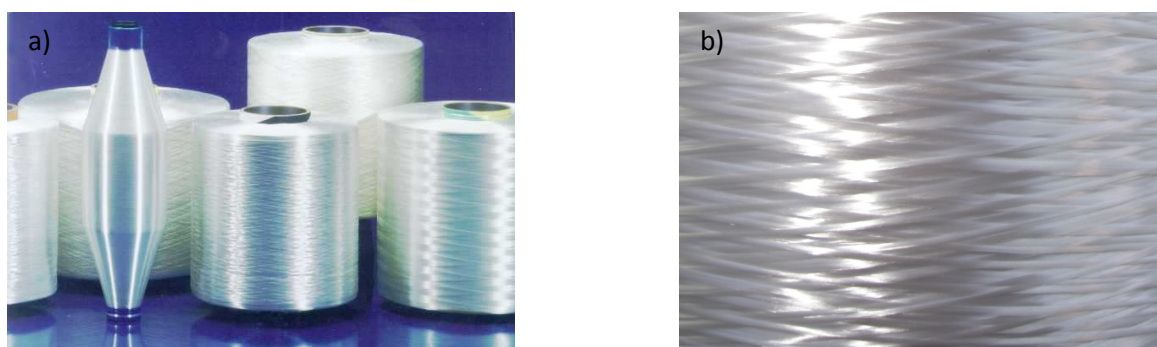


Figura 5 – Principais fios usados pela ITA: a) Bobines de *Polietilenotereftalato*; b) Fio de Rayon

O processo de fabrico do *cord-fabric* envolve basicamente 3 operações (figura 6), a torcedura, tecelagem e impregnação do tecido (*dipping*). A figura 7 representa toda a cadeia de operações relativa à produção de pneus. O conversor são instalações como as da ITA.

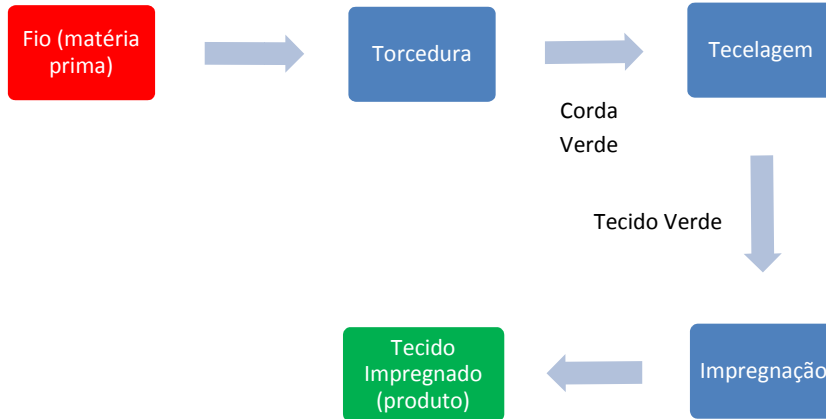


Figura 6 – Esquema representativo do processo de fabrico

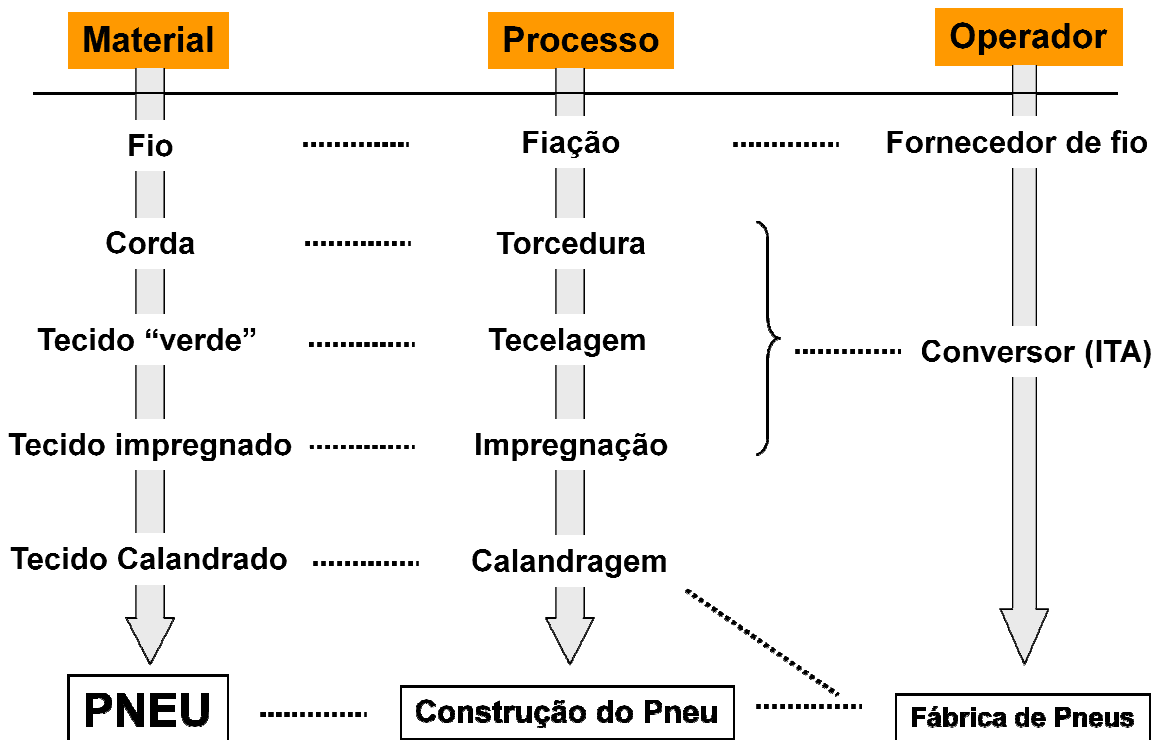


Figura 7 – Diagrama representativo da cadeia de produção de pneus

### 1.3.1. Torcedura

Esta opera o consiste em torcer e/ou retorcer a matéria-prima com o objectivo de melhorar o seu comportamento mecânico. Para torcer o fio são necessárias máquinas denominadas de torcedores. Estas máquinas são constituídas por fusos como o da figura 8a) que produzem bobines de fio de acordo com a figura 8b). A corda produzida pode ser constituída por 2 ou mais fios como está apresentado na figura 9. A aparência final da corda   idêntica à figura 10. Na ITA existem 4268 fusos como o da figura 8a), disponíveis para produzir corda.

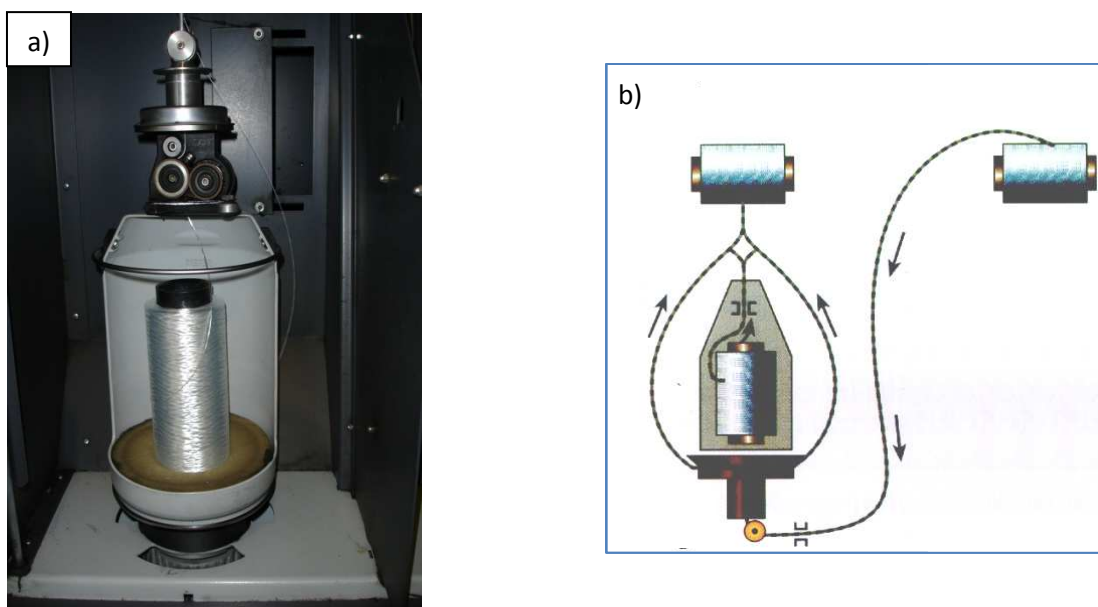


Figura 8 – a)Fuso do um torcedor ICBT; b) Esquema representativo da torcedura

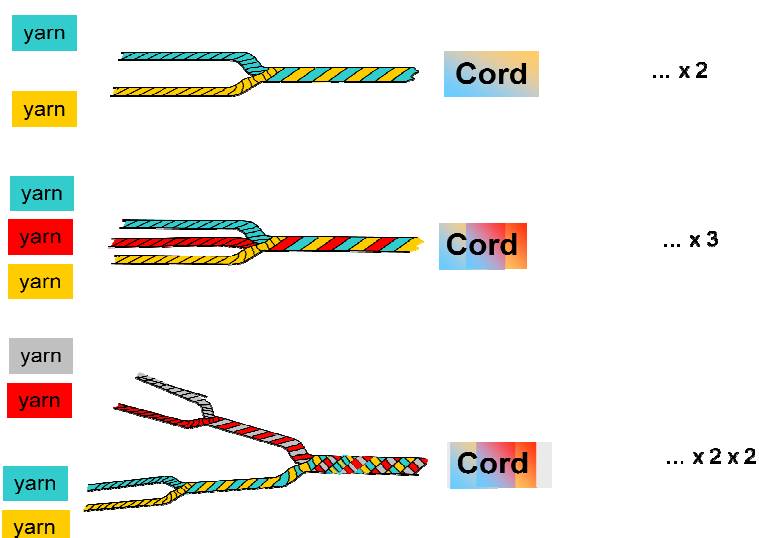


Figura 9 – Diagrama representativo de diferentes possibilidades de torço

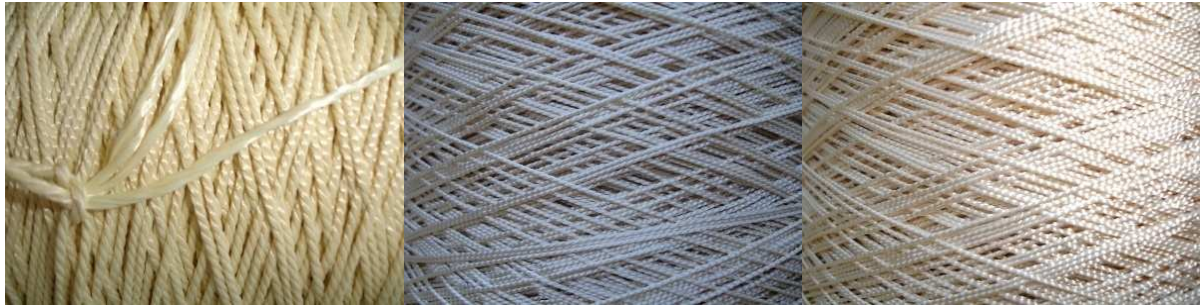


Figura 10 – Fotografias de várias bobines de corda

### 1.3.2. Tecelagem

Antes de iniciar a operação de tecelagem, a corda sofre um estágio de estabilização. Seguidamente, utilizando teares de projectil, produzem-se então os tecidos, que após controlo de qualidade, seguem para a impregnação. Actualmente, existem em funcionamento 12 teares Sulzer, 2 teares Dornier e, normalmente, trabalha 1 tear Saurer 400S para produção de correias transportadoras. Existem ainda 11 teares fora de funcionamento da marca Saurer 400S. A figura 11 (a) e (b), demonstra a dimensão do salão da tecelagem (salão 1) e apresenta 2 teares. Os teares funcionam de acordo com o esquema da figura 12.

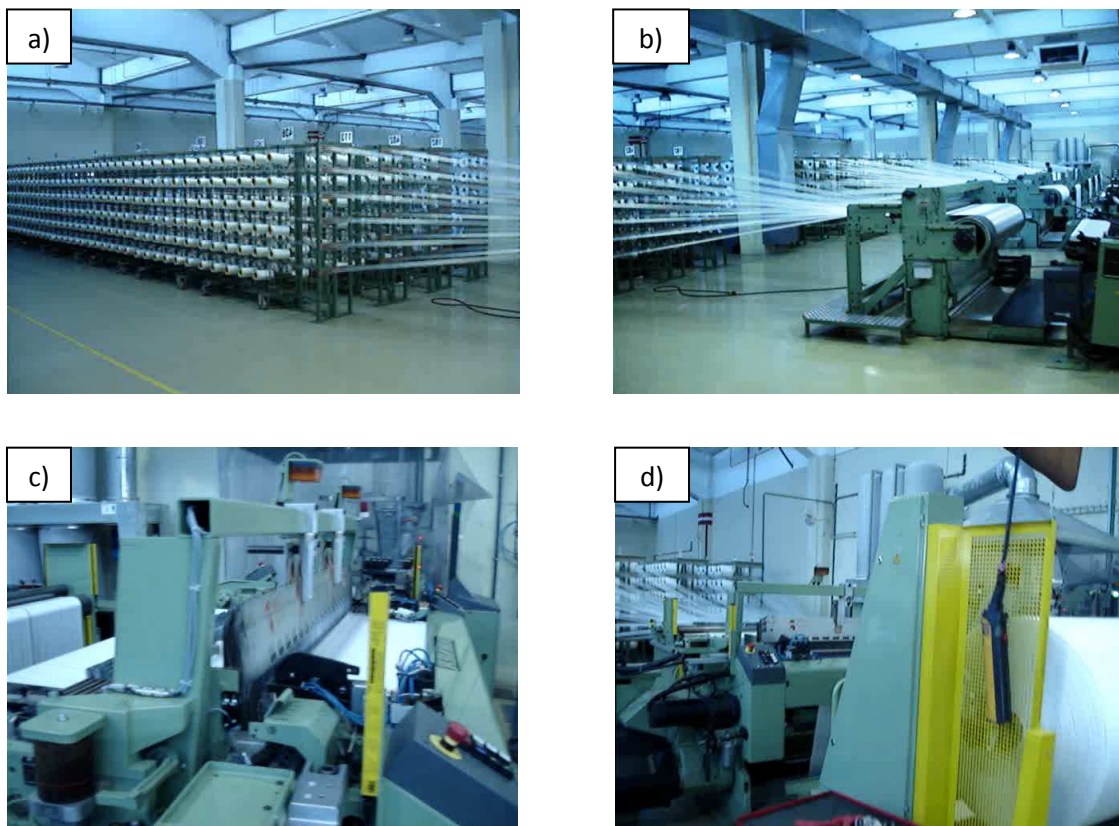


Figura 11 – Fotografias da secção da tecelagem: a) e b) Vistas diferentes do salão 1; c) e d) Teares Sulzer

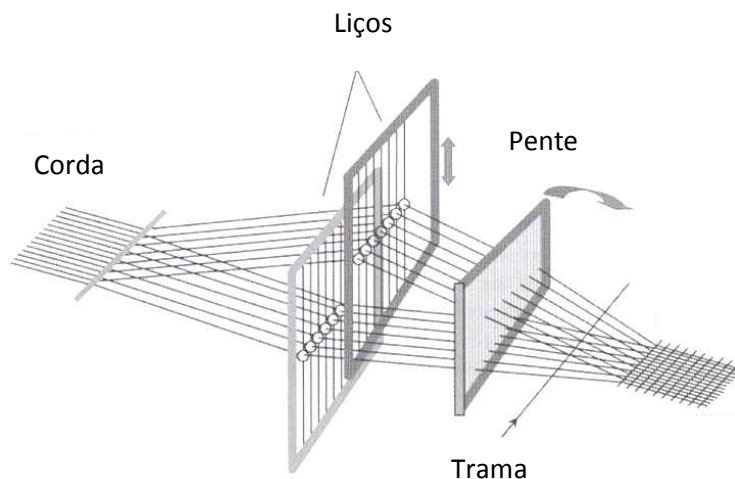


Figura 12 – Esquema do funcionamento de um tear

### 1.3.3. Impregnação

No processo de impregnação/termofixação (*dipping*) é utilizada uma solução de resorcina formaldeído látex, na qual o tecido é mergulhado para permitir a adesão da borracha ao tecido. Melhora-se a estabilidade dimensional, a resistência térmica à fadiga e ao impacto, mediante operações de alongamento e encolhimento pré – determinados, em condições de tensão e temperatura controladas.

A máquina ZELL (Figura 13), que é usada para impregnar os tecidos verdes (designação dada aos tecidos antes de serem impregnados), é composta por sete estufas também designadas por “Heat-Zone” (HZ1 a HZ7; Figura 14) todas alimentadas a gás natural. Esta máquina é a única capaz de impregnar todo o tecido oriundo dos teares da ITA e alguns tecidos vindos de outros fornecedores, mas em quantidades residuais. A máquina funciona com diferentes características consoante o produto que impregna (velocidade de rotação dos ventiladores de recirculação de ar, velocidade de rotação dos ventiladores de exaustão, velocidade de circulação do tecido, tensão do tecido e temperaturas de funcionamento das estufas).



Figura 13 – Edifício da máquina de impregnar

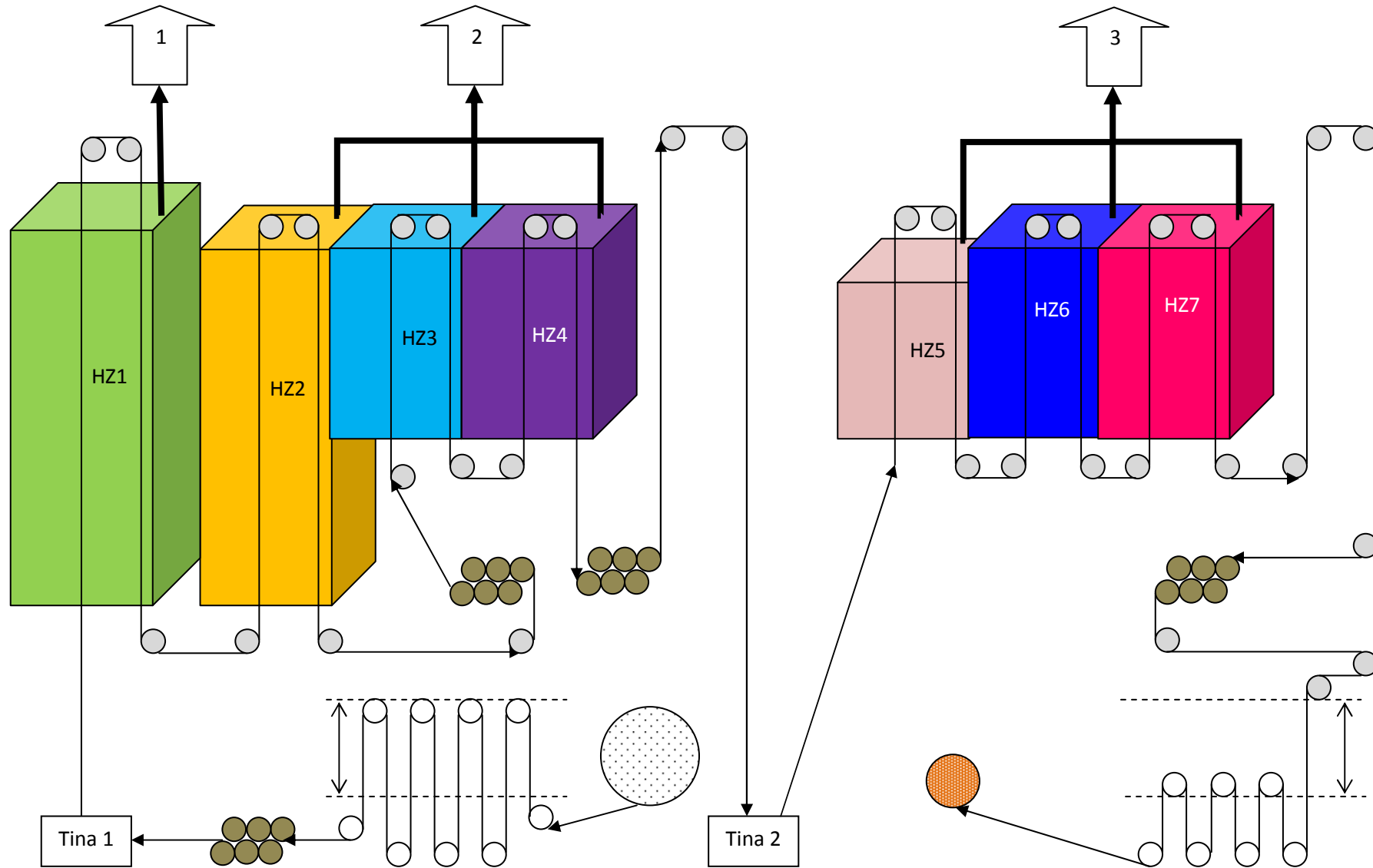


Figura 14 – Diagrama de processo de impregnação

Para este estudo, escolheu-se o produto PBB-13J uma vez que é o tecido mais representativo da produção. A sua produção corresponde a 12,5% da produção mássica mensal da ITA.

Na figura 15 encontram-se os valores da produção mensal dos artigos mais impregnados.

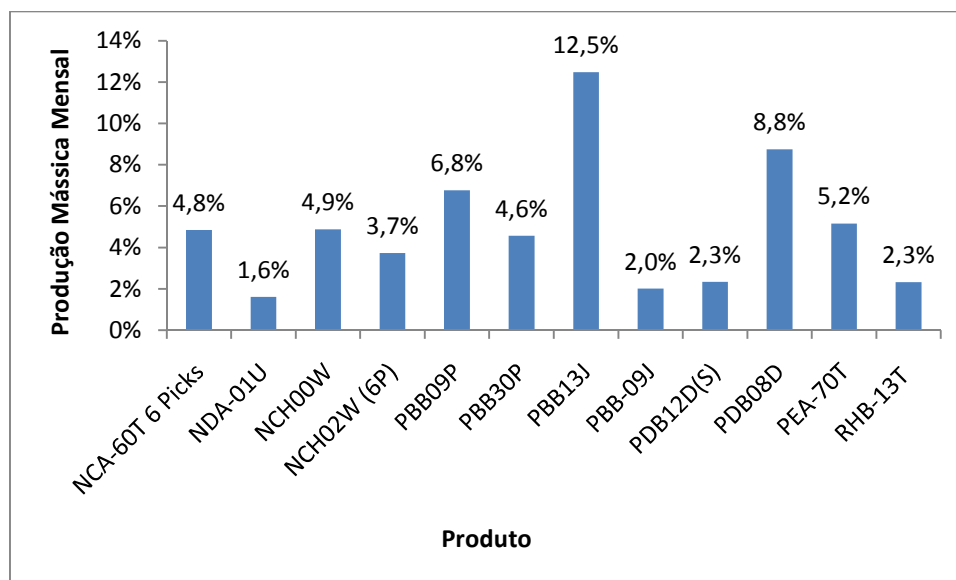


Figura 15 – Artigos mais produzidos entre Setembro de 2008 e Março de 2009 (figura obtida a partir dos valores do anexo A)

O tecido PBB-13J sai da tecelagem (tecido verde) em rolos de comprimentos superiores a 1000 m para serem impregnados. O tecido é enrolado no tear em torno de um pequeno eixo oco denominado por caneleira. O rolo é colocado numa plataforma preso por um eixo colocado no interior da caneleira. O processo de impregnação começa quando o tecido começa a ser desenrolado à velocidade de 70 m/min nessa plataforma. Seguidamente o tecido passa por um acumulador. Este acumulador permite que a máquina trabalhe sempre em contínuo, para que não ocorram paragens. Depois de passar no acumulador, o tecido passa por um 1º grupo tractor e logo depois é mergulhado numa solução presente na tina 1 (solução de activação). De seguida é aquecido no primeiro grupo de estufas (estufas 1-4). Antes de entrar na estufa 3 passa por outro grupo tractor. Após a saída do tecido na 4ª estufa, o tecido passa num 3º grupo tractor e, seguidamente, é arrefecido durante cerca de 77 segundos, uma vez que é obrigado a percorrer uma distância de cerca de 90 m, sempre em contacto com a temperatura ambiente.

O passo seguinte é a impregnação do tecido propriamente dita. O tecido é mergulhado na solução da tina 2 e logo de seguida entra na estufa 5 e, posteriormente, passa nas estufas 6 e 7. Depois de sair da estufa 7 o tecido já impregnado é arrefecido numa distância de aproximadamente 100 m. Passa pelo 4º e último grupo tractor para de seguida entrar no

acumulador final. Depois de passar no acumulador final, o tecido impregnado é novamente enrolado e posteriormente embalado. O tecido impregnado tem um aspecto similar ao da figura 16.

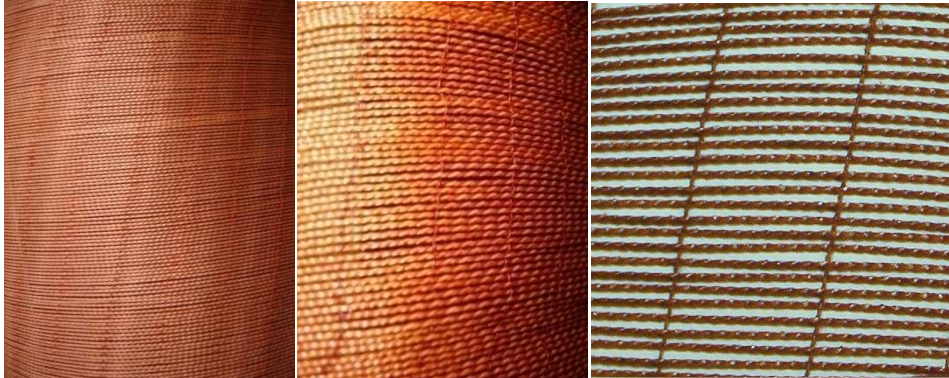


Figura 16 – Fotografias do tecido PBB-13J impregnado

A activação do tecido ocorre devido a vários factores, principalmente a factores económicos uma vez que o tecido verde não se encontra activado. Para tal é necessário activar o poliéster. A figura 17 resume o processo da passagem de tecido verde para tecido impregnado na ITA.

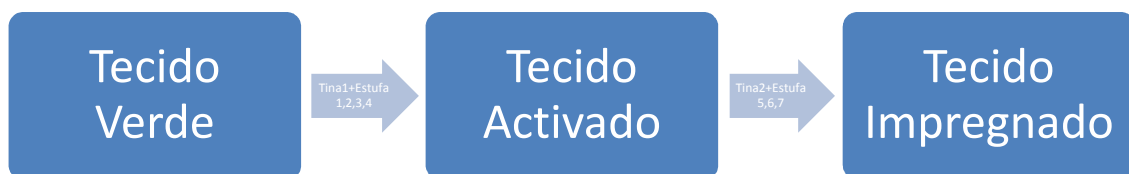


Figura 17 – Esquema representativo do processo de impregnação aplicado na ITA

#### 1.4. Objectivos do trabalho

O presente trabalho teve como objectivos efectuar uma auditoria energética à máquina de impregnação Zell e sugerir alternativas de forma a reduzir o consumo de gás natural da respectiva máquina.

Para tal analisou-se o modo como a energia é utilizada na instalação e identificaram-se situações de desperdício de energia. Quantificou-se o consumo de gás natural e o respectivo custo. As medidas propostas foram analisadas tecnicamente e economicamente.

## 2. Auditoria Energética à Secção de Impregnação

A energia, como qualquer outro factor de produção deve ser gerida continuamente e eficazmente. É neste contexto que as auditorias energéticas assumem uma importância principalmente em sectores industriais de elevado consumo.

A auditoria à máquina de impregnar Zell, consistiu num levantamento aprofundado da situação energética, onde se estabeleceram e quantificaram todos os fluxos de energia térmica necessários para o processo de impregnação.

As dimensões de cada uma das estufas e a potência máxima dos queimadores da máquina de impregnar encontram-se presentes na tabela 1.

Tabela 1 – Características das estufas da máquina de impregnar

| Dimensões            | Estufa 1 | Estufa 2 | Estufa 3 | Estufa 4 | Estufa 5 | Estufa 6 | Estufa 7 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Comprimento (m)      | 3,47     | 3,33     | 3,11     | 2,73     | 3,00     | 3,20     | 3,14     |
| Largura (m)          | 3,28     | 3,24     | 3,24     | 3,24     | 3,24     | 3,24     | 3,24     |
| Altura (m)           | 19,43    | 17,88    | 15,03    | 15,03    | 15,03    | 15,03    | 15,03    |
| Potência máxima (kW) | 2 x 930  | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     |

De acordo com os dados da empresa relativos ao mês de Julho de 2009, o consumo de electricidade rondou os 108.592 kWh e o seu gasto foi de 7.058 € (preço da electricidade: 0,065 €/kWh). Quanto ao consumo de gás natural, este foi de 1.751.892 kWh correspondendo a um gasto de 57.987 € (preço do gás natural: 0,0331 €/kWh).

Para se saber como está a ser utilizada a energia, qual o rendimento dos diversos equipamentos e quais as perdas de calor verificadas, foi fundamental proceder a medições, as quais conduziram ao conhecimento de determinadas grandezas que iriam aferir a maior ou menor eficácia com que se utiliza energia. Assim foram efectuados balanços de massa e de energia à máquina de impregnar Zell.

Relativamente à energia eléctrica, não foi feita qualquer abordagem uma vez que a ITA já optimizou este consumo. Estas optimizações levaram a que a ITA fosse agraciada com o *Prémio EDP – Utilização mais eficiente da electricidade, nas empresas industriais* em 1993. As optimizações efectuadas consistiram na implementação de variadores de frequência (variadores electrónicos de velocidade) nos ventiladores de circulação do ar do interior das estufas e nos ventiladores de exaustão das estufas.

## 2.1. Balanços de massa

### 2.1.1. Balanço de massa ao azoto

Não foi possível medir a quantidade de ar de aquecimento, uma vez que o ar entra naturalmente pelas aberturas das estufas. Estas aberturas servem também para a entrada do tecido (figura 18).



Figura 18 – Entrada do ar de aquecimento e do tecido numa estufa

Assim sendo, foi necessário recorrer ao balanço esquematizado na figura 19 para quantificar o ar de aquecimento necessário para impregnar o tecido em estudo. Uma vez que o azoto ( $N_2$ ) é o constituinte maioritário do ar (79%) e é inerte ao contrário do oxigénio, efectuou-se o balanço de massa ao azoto (equação 1).

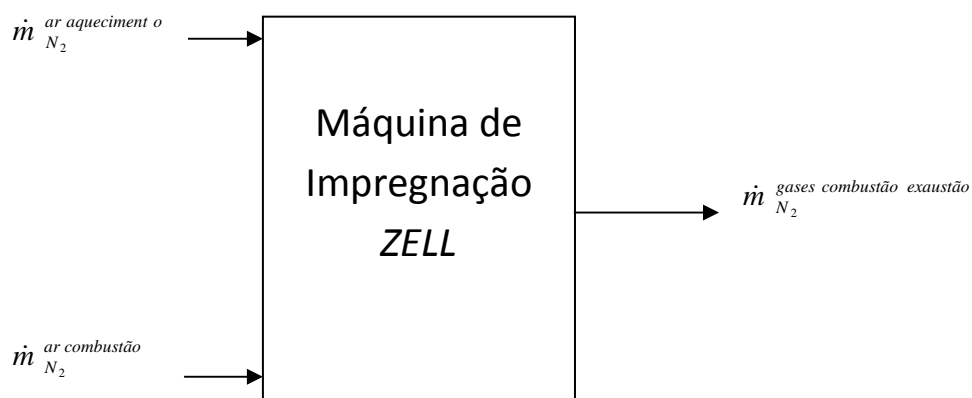


Figura 19 – Esquema representativo do ar usado na impregnação

$$\dot{m}_{N_2}^{ar\ aquecimento} + \dot{m}_{N_2}^{ar\ combustão} = \dot{m}_{N_2}^{gases\ combust o\ exaustão} \quad (1)$$

### 2.1.1.1. Azoto no ar de combustão

O caudal do ar foi determinado por leituras de velocidades utilizando um anem metro turbina (resolução 0,1 m/s; *Testo 490, Espanha*). Os ventiladores de combustão das estufas 2 a 7 são iguais ao da figura 20. A estufa 1 possui dois ventiladores iguais, uma vez que possui dois queimadores.



Figura 20 – Ventilador da estufa 5

O caudal volumétrico de ar foi determinado pela equa o 2, onde  $v$  é a velocidade média no (s) ventilador (es) de combustão das respectivas estufas e  $A$    a área de secção recta. O caudal mássico foi calculado de acordo com a equa o 3, em que foi considerada a massa volúmica do ar seco para efeito de cálculo. Os valores das massas volúmicas encontram-se no anexo B-B.1. Os cálculos da área de secção recta dos ventiladores do queimador e os valores das velocidades m dias encontram-se no anexo C-C.1.

$$Q = v \times A \quad (2)$$

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad (3)$$

A determinação dos caudais de ar seco do ar de combustão, foi feita com o auxílio de um higr metro (resolução 0,1%; *Hanna 8564, Itália*) e de um term metro (resolução 1 C; *Comark, Reino Unido*). Com o auxílio de uma carta de humidade (Anexo B-B.3), determinou-se a quantidade de água em base seca (equa o 4). A determinação da fracção de água em base húmida é dada pela equa o 5, em que  $\omega$  é a fracção da água no ar em base seca e  $w$  é a fracção de água em base húmida.

$$\omega = \frac{\dot{m}_{água}}{\dot{m}_{ar\ seco}} \quad (4)$$

$$w = \frac{\dot{m}_{água}}{\dot{m}_{ar\ seco} + \dot{m}_{ gua}} \Leftrightarrow w = \frac{\omega}{(1 + \omega)} \quad (5)$$

Na tabela 2 apresentam-se as variáveis necessárias para a determinação do caudal mássico de ar seco.

Tabela 2 – Valores referentes aos caudais mássicos do ar de combustão nas várias estufas.

| Estufa   | 1                             | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | TOTAL |
|--|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| $v \text{ (m/s)}$                                | 7,64<br>—————<br>5,79         | 5,37     | 9,45     | 3,56     | 4,70     | 7,06     | 6,01     |       |
| $A \text{ (m}^2\text{)}$                         | 1,92E-02<br>—————<br>1,92E-02 | 3,30E-02 | 3,30E-02 | 3,30E-02 | 3,30E-02 | 3,30E-02 | 3,30E-02 |       |
| $Q \text{ (m}^3\text{/s)}$                       | 0,26                          | 0,18     | 0,31     | 0,12     | 0,16     | 0,23     | 0,20     | 1,45  |
| $T \text{ (}^\circ\text{C)}$                     | 26                            | 26       | 25       | 28       | 24       | 26       | 26       |       |
| $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$                   | 1,18                          | 1,18     | 1,19     | 1,18     | 1,19     | 1,18     | 1,18     |       |
| $\dot{m} \text{ (kg/s)}$                         | 0,31                          | 0,21     | 0,37     | 0,14     | 0,19     | 0,28     | 0,23     |       |
| $H \text{ (%)}$                                  | 27,20                         | 24,20    | 27,40    | 24,60    | 31,40    | 27,60    | 26,60    |       |
| $w \text{ (kg}^w\text{água/kg}^s\text{ar seco)}$ | 5,80E-03                      | 5,50E-03 | 5,50E-03 | 6,00E-03 | 5,80E-03 | 5,80E-03 | 5,70E-03 |       |
| $\omega \text{ (kg}^w\text{água/kg}^s\text{ar)}$ | 5,77E-03                      | 5,47E-03 | 5,47E-03 | 5,96E-03 | 5,77E-03 | 5,77E-03 | 5,67E-03 |       |
| $\dot{m}_{\text{ar seco}} \text{ (kg/s)}$        | 3,04E-01                      | 2,09E-01 | 3,69E-01 | 1,37E-01 | 1,84E-01 | 2,74E-01 | 2,33E-01 | 1,71  |

Sabendo que a percentagem molar de azoto ( $N_2$ ) no ar é de 79%, determinou-se o caudal molar de ar seco, e posteriormente calculou-se o caudal molar de azoto existente no ar de acordo com a equação 6. Os valores das massas moleculares relativas encontram-se no anexo C.

$$\dot{n} = \frac{\dot{m}}{MM} \quad (6)$$

Na tabela 3 encontram-se os valores necessários para a determinação do caudal mássico de azoto no ar de combustão.

Tabela 3 – Valores dos caudais mássicos e molares do ar de combustão e do azoto nas várias estufas

| Estufas                            | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | TOTAL       |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| $\dot{m}_{ar\ sec\ o}$<br>(kg/s)   | 3,04E-01 | 2,09E-01 | 3,69E-01 | 1,37E-01 | 1,84E-01 | 2,74E-01 | 2,33E-01 | 1,71        |
| $\dot{n}_{ar\ sec\ o}$<br>(kmol/s) | 1,09E-02 | 7,45E-03 | 1,32E-02 | 4,90E-03 | 6,57E-03 | 9,80E-03 | 8,33E-03 |             |
| $\dot{n}_{N_2}$<br>(kmol/s)        | 8,58E-03 | 5,89E-03 | 1,04E-02 | 3,87E-03 | 5,19E-03 | 7,74E-03 | 6,58E-03 |             |
| $\dot{m}_{N_2}$<br>(kg/s)          | 2,40E-01 | 1,65E-01 | 2,91E-01 | 1,08E-01 | 1,45E-01 | 2,17E-01 | 1,84E-01 | <b>1,35</b> |

### 2.1.1.2. Azoto dos gases de exaustão e combustão

Para a quantificação do caudal dos gases de combustão, utilizou-se o tubo de Pitot. Foram feitas leituras de pressão dinâmica em cinco pontos da conduta (Anexo C-C.2), para a determinação da velocidade média de escoamento dos gases de combustão e exaustão. A velocidade local do escoamento dos gases da conduta foi calculada pela equa o 7 [1].

$$v = \sqrt{\frac{2 \times P_{dinâmica}}{\rho_{Gás}}} \quad (7)$$

Para se determinar a massa volúmica dos gases de combustão e exaustão, foi necessário fazer uma análise aos gases de combustão e exaustão. Calculou-se o volume específico dos gases de combustão e exaustão considerando gás perfeito para cada chaminé. Considerou-se o volume específico ( $VE_1$ ) nas condições PTN, ou seja   temperatura ( $T_1$ ) de 273,15 K que   22,414 m<sup>3</sup>/kmol [1]. A temperatura do gás é dada por  $T_2$ . Os resultados dos volumes específicos para os gases das diferentes estufas encontram-se na tabela 4. Na execução da auditoria   máquina de impregnar recorreu-se ao analisador de gases ECOM JN para se proceder à determinação da composição dos gases de combustão e exaustão. Para a determinação do azoto, considerou-se que nas chaminés saem todos os gases produtos da combustão que o analisador detecta mais o azoto que é inerte na reacção de combustão. Assim sendo, o azoto foi determinado por diferenç , como mostra a equa o 8.

$$\dot{n}_{N_2} = \dot{n}_{Total} - (\dot{n}_{O_2} + \dot{n}_{CO_2} + \dot{n}_{CO} + \dot{n}_{NO} + \dot{n}_{NO_x} + \dot{n}_{SO_2}) \quad (8)$$

Tabela 4 – Valores referentes aos volumes específicos calculados

| Estufa          | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $T (^{\circ}C)$ | 141,1 | 162,3 | 214,5 | 233,5 | 135,0 | 226,2 | 229,0 |
| $VE (m^3/kmol)$ | 34,0  | 35,7  | 40,0  | 41,6  | 33,5  | 41,0  | 41,2  |

O caudal mássico para cada componente foi determinado usando a equação 6. O caudal total é dado pelo somatório de todos os componentes. A massa molar é o resultado do rácio entre o caudal mássico dos componentes presentes nos gases de combustão e exaustão e o caudal molar dos gases de combustão e exaustão como se pode ver na equação 9. Os caudais mássicos dos componentes dos gases de combustão estão apresentados na tabela 5 e foram calculados de acordo com o anexo C-C.2.

$$MM_{gases\ combust\tilde{a}o\ exaust\tilde{a}o} = \frac{\sum_{componentes} \dot{m}}{\dot{n}_{Total}} \quad (9)$$

Posteriormente, a massa volúmica dos gases de combustão e exaustão foi calculada a partir da equação 10 onde o R é a constante dos gases perfeitos ( $0,082057 m^3.atm/(kmol.K)$ )

$$P \times MM_{gases\ combust\tilde{a}o\ exaust\tilde{a}o} = \rho_{gases\ combust\tilde{a}o\ exaust\tilde{a}o} \times R \times T \quad (10)$$

Após a determinação da velocidade dos gases de combustão e exaustão, a partir da equação 7, calculou-se o caudal volumétrico segundo a equação 2, e o caudal mássico pela equação 3. Os valores que se encontram na tabela 5 foram calculados, com base no anexo C-C.2.

Tabela 5-Valores referentes aos caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão

| Estufa                           | 1      | 2      | 3      | 4           | 5      | 6      | 7      |
|----------------------------------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|
| $\dot{m} (kg/s)$                 | 2,64   | 0,875  | 3,31   | 0,647       | 1,37   | 1,56   | 0,844  |
| MM (kg/kmol)                     | 29,12  | 29,06  | 29,03  | 28,97       | 28,97  | 29,0   | 28,97  |
| $\dot{n} (kmol/s)$               | 0,0906 | 0,0301 | 0,114  | 0,0223      | 0,0474 | 0,0537 | 0,0291 |
| % N <sub>2</sub> (molar)         | 79,0%  | 79,3%  | 79,5%  | 79,8%       | 79,7%  | 79,7%  | 80,0%  |
| $\dot{n}_{N_2} (kmol/s)$         | 0,0715 | 0,0239 | 0,0905 | 0,0178      | 0,0377 | 0,0428 | 0,0233 |
| $\dot{m}_{N_2} (kg/s)$           | 2,00   | 0,669  | 2,53   | 0,499       | 1,06   | 1,20   | 0,652  |
| <b>Total N<sub>2</sub>(kg/s)</b> |        |        |        | <b>8,61</b> |        |        |        |

### 2.1.1.3. Determina o do azoto do ar de aquecimento

O caudal de ar de aquecimento era desconhecido, por isso foi necessário fazer um balanço global ao azoto. O caudal de azoto foi determinado usando a equa o 1.

$$\dot{m}_{N_2}^{ar\ aquecimento} = \dot{m}_{N_2}^{gases\ combust o\ exaustão} - \dot{m}_{N_2}^{ar\ combustão}$$

$$\dot{m}_{N_2}^{ar\ aquecimento} = 8,61 - 1,35 = 7,26\ kg / s$$

Considerando que a frac o de azoto no ar corresponde a 79%;

$$\dot{m}_{ar\ seco}^{ar\ aquecimento} = \frac{7,26}{79\%} = 9,19\ kg / s$$

### 2.1.2. Balanço de massa à água

Como o analisador Ecom JN não quantifica a água que sai na exaustão da chaminé, a quantidade de água envolvida no processo de impregnação foi assim determinada por balanço (figura 21).

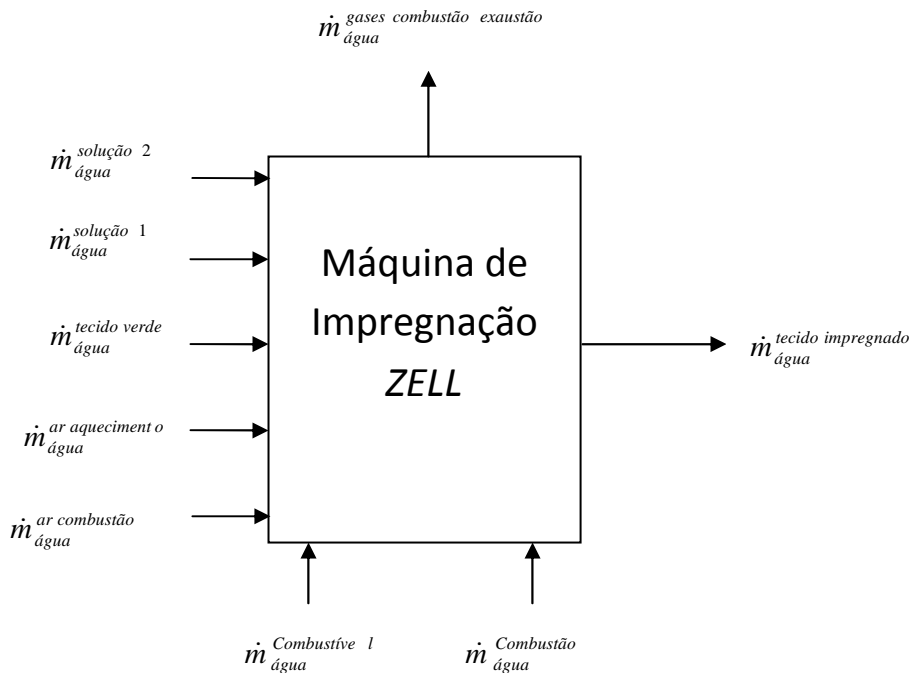


Figura 21 – Esquema representativo das correntes de água usadas na impregnação do PBB-13J

$$\dot{m}_{\text{água}}^{\text{tecido impregnado}} + \dot{m}_{\text{água}}^{\text{gases combustão exaustão}} =$$

$$= \dot{m}_{\text{água}}^{\text{tecido verde}} + \dot{m}_{\text{água}}^{\text{ar combustão}} + \dot{m}_{\text{água}}^{\text{ar aquecimento}} + \dot{m}_{\text{água}}^{\text{solução 1}} + \dot{m}_{\text{água}}^{\text{solução 2}} + \dot{m}_{\text{água}}^{\text{combustão}} + \dot{m}_{\text{água}}^{\text{combustível}} \quad (11)$$

#### 2.1.2.1. Quantidade de água no ar de combustão e no ar de aquecimento

A determinação dos caudais de água do ar de combustão e do ar de aquecimento foi feita com base do mesmo procedimento da determinação de azoto do ar de combustão (equação 4). Os caudais de água do ar de combustão para cada uma das estufas encontram-se na tabela 6. Os valores dos caudais de água do ar de aquecimento encontram-se na tabela 7, cuja temperatura média foi determinada tendo em conta as massas dos gases de combustão e exaustão de cada uma das estufas.

Tabela 6 – Valores dos caudais de água do ar de combustão

| Estufa              | $\dot{m}_{ar\ combustion}$<br>(kg/s) | $\bar{T}$ (°C) | H (%) | $\omega$<br>(kg <sub>água</sub> /kg <sub>ar</sub> ) | $\dot{m}_{água}$ (kg/s) |
|---------------------|--------------------------------------|----------------|-------|---|-------------------------|
| 1                   | 0,311                                | 21,4           | 27,2  | 5,77E-03  | 1,76E-03                |
| 2                   | 0,213                                | 21,6           | 24,2  | 5,47E-03  | 1,15E-03                |
| 3                   | 0,372                                | 24,4           | 27,4  | 5,47E-03  | 2,03E-03                |
| 4                   | 0,140                                | 23,7           | 24,6  | 5,96E-03  | 8,23E-04                |
| 5                   | 0,187                                | 21,0           | 31,4  | 5,77E-03  | 1,07E-03                |
| 6                   | 0,278                                | 24,4           | 27,6  | 5,77E-03  | 1,59E-03                |
| 7                   | 0,238                                | 22,3           | 26,6  | 5,67E-03  | 1,33E-03                |
| <b>Total (kg/s)</b> |                                      |                |       |   | 9,75E-03                |

Tabela 7 – Valores dos caudais de água do ar de aquecimento

| $\dot{m}_{ar\ aquecimento}^{ar\ seco}$<br>(kg/s) | $\bar{T}$ (°C) | H (%) | $\omega$<br>(kg <sub>água</sub> /kg <sub>ar\ seco</sub> ) | $\dot{m}_{água}$ (kg/s) |
|--|----------------|-------|---|-------------------------|
| 9,19   | 31,2           | 20,4  | 5,60E-03  | 5,15E-03                |

### 2.1.2.2. Quantidade de água nas soluções 1 e 2

Os caudais de solução foram determinados a partir da diferença de massas de solução dos tanques de abastecimento das tinas por intervalo de tempo. A altura de água na tina 1 e na tina 2 é constante, ou seja, o processo encontra-se em estado estacionário (equação 12).

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{saida} \quad (12)$$

A solução que sai é levada pelo tecido. Assim sendo, a tela entra com um determinado caudal mássico, e sai com uma acumulação correspondente à massa de solução como se pode ver na figura 22 (equação 13).

$$\dot{m}_{entra}^{tecido} + \dot{m}_{solução} = \dot{m}_{sai}^{tecido} \quad (13)$$

A tina 1 possui uma solução de activação e a tina 2 possui uma solução de impregnação, denominada F-801, para impregnação. As suas composições são as seguintes:

|              |   |   |              |   |  |
|--------------|---|---|--------------|---|--|
| $Solução\ 1$ | } | 95,70% <i>Água</i><br>1,01% <i>Anti – Espuma</i><br>3,29% <i>Resina Epoxi (73%)</i> | $Solução\ 2$ | } | 51,85% <i>Água</i><br>41,70% <i>Latex (59%)</i><br>0,05% <i>Anti – Espuma</i><br>1,2% <i>Amónia (25%)</i><br>4% <i>Resina (75%)</i><br>1,2% <i>Formaldeído</i> |
|--------------|---|---|--------------|---|--|

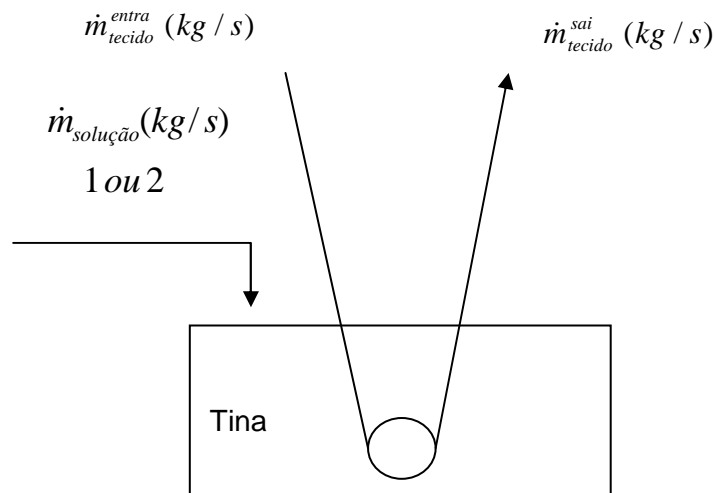


Figura 22 – Esquema representativo da acumulação de massa de solução pelo tecido

A massa de água presente nas soluções das tinas 1 e 2 corresponde ao somatório da quantidade de água existente em cada componente da solução (equação 14)

$$m_{solução}^{água} = \sum_{água} componente\ s \quad (14)$$

As quantidades de água e de solução para as tinas 1 e 2 estão presentes na tabela 8 e foram retirados do anexo C-C.5

Tabela 8 – Valores dos caudais de água presentes nas tinas 1 e 2

|                     | $\dot{m}_{solução} (kg / s)$ | $w_{água} (\%)$ | $\dot{m}_{água} (kg / s)$ |
|---------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------|
| <b>Tina 1</b>       | 0,145                        | 97,6            | 0,142                     |
| <b>Tina 2</b>       | 0,0617                       | 70,9            | 0,0438                    |
| <b>Total (kg/s)</b> |                              |                 | 0,186                     |

### 2.1.2.3. Quantidade de água no tecido verde e no tecido impregnado

Segundo informa es da empresa, o tecido verde tem 0,3% de água e após a sua impregna o, a sua percentagem de água é de 0,5%. Na impregna o, sabe-se que o tecido sofre um aumento de massa e uma redu o da sua largura, logo, a sua massa volúmica não é igual. Na tabela 9 encontram-se os valores para os caudais volumétricos e massas volúmicas, assim como os caudais mássicos e respectivos caudais mássicos de água existente no tecido.

Tabela 9 – Valores dos caudais de água presentes no tecido verde e impregnado

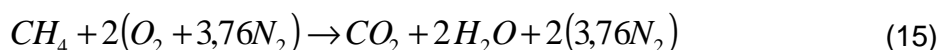
| Tecido     | $Q_{tecido}$<br>( $m^3/s$ ) | $\rho_{tecido}$<br>( $kg/m^3$ ) | $\dot{m}_{tecido}$<br>( $kg/s$ ) | $w_{água}$ (%) | $\dot{m}_{água}$ ( $kg/s$ ) |
|------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Verde      | 1,31E-03                    | 449,0                           | 5,86E-01                         | 0,3            | 1,76E-03                    |
| Impregnado | 1,17E-03                    | 509,2                           | 5,97E-01                         | 0,5            | 2,99E-03                    |

### 2.1.2.4. Quantidade de água no combustível

De acordo com o anexo B-B.4 (exemplo b), a concentra o máxima de água presente no combustível é de 88 ppm. Multiplicando o consumo de gás natural (anexo C-C.6) pela concentra o, obt m-se o caudal mássico de água presente no combustível sendo de  $8,03 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ .

### 2.1.2.5. Quantidade de água formada na combustão

A  gua é um produto resultante da queima do hidrog nio presente nos combustíveis. Assim sendo tem de ser contabilizada no balanço mássico. De acordo com o anexo B-B.4 (exemplo b), conclui-se que o elemento mais representativo é o metano ( $CH_4$ ). A equa o 15 representa a reac o de combustão (completa).



De acordo com a equa o 15, tem-se:

$$\frac{2 \text{ kmol}_{H_2O}}{1 \text{ kmol}_{CH_4}} = \frac{2 \text{ kmol}_{H_2O}}{0,92 \text{ kmol}_{combustivd}} = \frac{2 \times 18 \text{ kg/kmol}}{1,09 \times 17,65 \text{ kg/kmol}} = 1,87 \frac{\text{kg}_{H_2O}}{\text{kg}_{combustivd}}$$

Multiplicando o factor que relaciona a massa de água formada e o caudal mássico de combustível (Anexo C-C.6), obtém-se o caudal mássico de água formada na combustão.

$$\dot{m}_{\text{água}}^{\text{combustão}} = 1,87 \frac{\text{kg}_{H_2O}}{\text{kg}_{\text{combustível}}} \times 0,0721 \frac{\text{kg}_{\text{combustível}}}{s} = 0,135 \frac{\text{kg}}{s}$$

### 2.1.2.6. Quantidade de água nos gases de combustão e exaustão

O caudal de água dos gases de combustão é desconhecido e para tal foi necessário recorrer ao balanço global da água representado na equação 11, obtendo-se um valor de  $3,88 \times 10^{-1} \text{ kg/s}$ .

Devido ao facto de não ter sido possível realizar análises à fracção de água presente em cada uma das estufas, considerou-se para efeito de cálculo que os gases de combustão e exaustão estavam secos (tabela 5), ou seja, no cálculo do caudal volumétrico considerou-se que os gases estavam isentos de água, para ser possível determinar por balanço o ar de aquecimento. Sabe-se *à priori* que o caudal de água que sai nos gases de combustão e exaustão corresponde a 3,68% do caudal dos gases secos dos gases de combustão e exaustão. O erro cometido é relativamente baixo (<5%). Nas tabelas 10 e 11 encontram-se resumidas as quantidades de ar e água respectivamente envolvidas no processo de impregnação.

Tabela 10 – Valores dos caudais de ar presentes na entrada

|                | Corrente          | $\dot{m}_{ar}$ (kg/s) |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| <b>Entrada</b> | Ar de combustão   | 1,71                  |
|                | Ar de aquecimento | 9,19                  |

Tabela 11 – Valores dos caudais de água presentes no sistema

|                | <b>Corrente</b>    | $\dot{m}_{água}$ (kg / s) |
|----------------|--------------------|---------------------------|
| <b>Entrada</b> | Ar de combustão    | 9,75E-03                  |
|                | Solução 1          | 1,42E-01                  |
|                | Solução 2          | 4,38E-02                  |
|                | Combustível        | 8,03E-03                  |
|                | Combustão          | 1,35E-01                  |
|                | Tecido verde       | 1,76E-03                  |
|                | Ar de aquecimento  | 5,15E-02                  |
| <b>Saída</b>   | Gases de combustão | 3,88E-01                  |
|                | Tecido Impregnado  | 2,99E-03                  |

## 2.2. Balanços de Energia Térmica

O balanço de energia tem o seu fundamento no princípio da conservação de energia, isto é: de toda a energia fornecida a um processo, uma parte é usada nele, e outra parte é dissipada para o exterior do sistema.

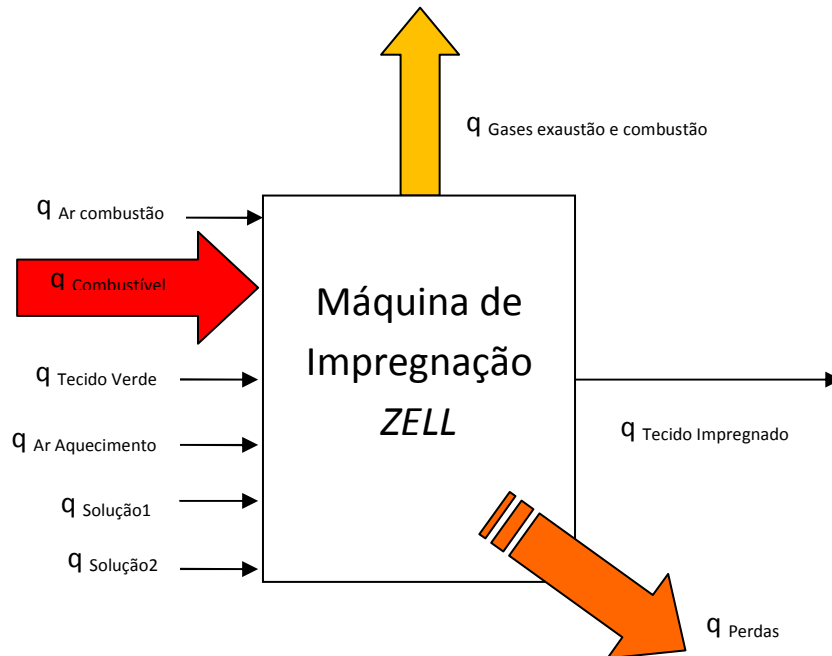


Figura 23 – Esquema representativo dos caudais térmicos usado na impregnação do PBB-13J

$$\begin{aligned}
 q_{combustive\ 1} + q_{Tecido\ Verde} + q_{Ar\ aqueciment\ o} + q_{Ar\ combust\ ão} + q_{Solu\ c\ ão\ 1} + q_{Solu\ c\ ão\ 2} = \\
 = q_{Gases\ exaust\ ão\ e\ combust\ ão} + q_{Tecido\ Im\ pregnado} + q_{Perdas}
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

### 2.2.1. Potências de entrada

#### 2.2.1.1. Potência do Combustível

O caudal de combustível foi determinado pela diferença de volumes lido no contador interno da máquina ZELL multiplicado pelo factor correctivo indicado no contador de gás natural da empresa. Esta diferença de volumes corrigida, foi dividida pelo intervalo de tempo correspondente (Anexo C-C.6). A potência de combustão do combustível foi calculada pela equação 17.

$$q_{Combustivd} = Q_{Combustivd} \times PCS
 \tag{17}$$

O poder calorífico superior (PCS) do gás natural no dia em que a auditoria foi realizada foi de 11,78 kWh/m<sup>3</sup> (Valor fornecido pela *EDPg s*). O caudal volumétrico do combustível foi 0,0913 m<sup>3</sup>/s (Anexo C-C.6). O caudal térmico foi de 3875 kW.

O caudal térmico sensível do combustível foi calculado de acordo com a equa o 18 e resulta da multiplicação do caudal mássico do combustível, pelo Cp e pela diferenç a entre a temperatura do gás e a temperatura de referência (0 C). As propriedades do combustível estão presentes no anexo B-B.4.

$$q_{combustível}^{Sensivel} = \dot{m}_{combustível} \times Cp_{médio} \times (T - T_{ref}) \quad (18)$$

O caudal mássico do combustível foi de 0,0721 kg/s (Anexo C-C.6), o calor específico médio foi de 2,09 kJ/kg K e a temperatura do gás foi de 20 C. O caudal térmico sensível do combustível resultante da aplicação da equa o 18 foi de 3 kW.

### 2.2.1.2. Potência do tecido verde

O caudal térmico que o tecido verde possui é calculado pela equa o 19

$$q_{tecido\ verde} = \dot{m}_{tecido\ verde} \times Cp_{tecido\ verde} \times (T_{tecido\ verde} - T_{ref}) \quad (19)$$

Com o auxílio de um term metro de infravermelhos (resolução 0,1 C; *Fluke 61, U.S.A*), sabe-se que o tecido entra na estufa 1 a 21,4 C. O caudal mássico do tecido verde é de 0,586 kg/s (Anexo C-C.4) e o seu calor específico   de 1,69 kJ/kg K [6]. O caudal térmico do tecido verde é de 21 kW.

### 2.2.1.3. Potência do ar de aquecimento

O cáculo do caudal térmico do ar de aquecimento foi dividido em duas partes. A parte do ar seco e a parte da humidade do ar. O caudal térmico do ar seco foi determinado pela equa o 20.

$$q_{ar\ seco} = \dot{m}_{ar\ seco} \times Cp_{ar\ seco} \times (T_{ar} - T_{ref}) \quad (20)$$

O caudal mássico de ar seco de aquecimento foi determinado na secção 2.1.1.3 cujo valor obtido foi de 9,19 kg/s. A sua temperatura média de entrada foi de 31,2  C. O Cp do ar   temperatura de entrada é de 1,0048 kJ/kg K. O caudal térmico correspondente ao ar seco do ar de aquecimento foi de 288 kW.

A potência da água presente no ar de aquecimento é calculada de acordo com a equa o 21.

$$q_{\text{água}} = \dot{m}_{\text{água}} \times (Cp_{\text{vapor água}} \times (T_{\text{ar}} - T_{\text{ref}}) + \lambda_{T_{\text{ref}}}) \quad (21)$$

O caudal de água presente no ar de aquecimento à temperatura de 31,2°C foi 5,15E-02 kg/s (secção 2.1.2.1). O calor específico do vapor de água à temperatura de referência ( $T_{\text{ref}}=0^{\circ}\text{C}$ ) é 1,85 kJ/kg.K. O calor latente de vaporização específico ( $\lambda$ ) à temperatura de referência ( $T_{\text{ref}}=0^{\circ}\text{C}$ ) é 2500 kJ/kg. O caudal térmico correspondente à água do ar de aquecimento é de 131 kW.

O caudal térmico existente no ar húmido de aquecimento corresponde à soma do caudal térmico do ar seco e do caudal térmico da água existente no ar, como está demonstrado na equação 22.

$$q_{\text{ar aquecimento}} = q_{\text{água}}^{\text{ar aquecimento}} + q_{\text{ar seco}}^{\text{ar aquecimento}} \quad (22)$$

Assim sendo, o caudal térmico do ar de aquecimento foi de 419 kW.

#### 2.2.1.4. Potência do ar de combustão

A potência do ar de combustão foi calculada da mesma forma que foi calculada a potência do ar de aquecimento.

A potência do ar seco do ar de combustão foi calculada de acordo com a equação 20. Os valores das potências do ar seco para as respectivas estufas estão presentes na tabela 12 e foram baseados nos valores presentes na secção 2.1.1.1. O Cp está à temperatura de referência ( $T_{\text{ref}}=0^{\circ}\text{C}$ ).

Tabela 12 – Caudais térmicos de ar seco do ar de combustão

| Estufa            | $\dot{m}_{\text{ar seco}}^{\text{ar combustão}}$<br>(kg/s) | $Cp$<br>(kJ/kgK) | $T$ (°C) | $q$ (kW)    |
|-------------------|--|------------------|----------|-------------|
| 1                 | 0,304  | 1,0048           | 25       | 7,6         |
| 2                 | 0,209  |                  | 25       | 5,2         |
| 3                 | 0,369  |                  | 32       | 11,9        |
| 4                 | 0,137  |                  | 32       | 4,4         |
| 5                 | 0,184  |                  | 36       | 6,7         |
| 6                 | 0,274  |                  | 36       | 9,9         |
| 7                 | 0,233  |                  | 36       | 8,4         |
| <b>TOTAL (kW)</b> |  |                  |          | <b>54,2</b> |

A potência correspondente   água do ar de combustão foi calculada de acordo com a equação 21. Os valores das potências da água para as respectivas estufas encontram-se na tabela 13.

Tabela 13 – Caudais térmicos de água do ar de combustão

| Estufa            | $\dot{m}_{\text{água}}^{\text{ar combustão}}$<br>(kg/s) | $C_p$<br>(kJ/kgK) | $\lambda$<br>(kJ/kg) | $T$ ( C) | $q$ (kW)    |
|-------------------|---|-------------------|----------------------|----------|-------------|
| 1                 | 1,76E-03  |                   |                      | 25       | 4,5         |
| 2                 | 1,15E-03  |                   |                      | 25       | 3,0         |
| 3                 | 2,03E-03  |                   |                      | 32       | 5,2         |
| 4                 | 8,23E-04  | 1,85              | 2500                 | 32       | 2,1         |
| 5                 | 1,07E-03  |                   |                      | 36       | 2,7         |
| 6                 | 1,59E-03  |                   |                      | 36       | 4,1         |
| 7                 | 1,33E-03  |                   |                      | 36       | 3,4         |
| <b>TOTAL (kW)</b> |   |                   |                      |          | <b>25,0</b> |

O caudal térmico correspondente ao ar de combustão é calculado segundo a equação 22 obtendo-se um valor de 79 kW.

#### 2.2.1.5. Potência da solução 1

O caudal térmico que a solução 1 possui é calculado pela equação 23

$$q_{\text{solução}} = \dot{m}_{\text{solução}} \times C_p_{\text{solução}} \times (T_{\text{Tina}} - T_{\text{ref}}) \quad (23)$$

A solução de activação está presente na tina 1 a 21 C. A capacidade calorífica da solução 1 foi calculada com base na média (mássica) dos valores de  $C_p$  dos componentes. De acordo com os cálculos que se encontram no Anexo B-B.5, o  $C_p$  da solução 1   4,11 kJ/kgK. O caudal mássico da solução 1 é 0,145 kg/s (secção 2.1.2.2). Aplicou-se a equação 23 e o valor do caudal térmico foi de 13 kW

#### 2.2.1.6. Potência da solução 2

O caudal térmico da solução 2 foi calculado da mesma forma da solução 1 (equação 23). O caudal de solução 2 é de 0,0617 kg/s. A temperatura média da solução na tina 2   de 19 C. O  $C_p$    3,71 kJ/kgK (Anexo B-B.5). Desta forma, o caudal térmico da solução 2 é de 4 kW.

## 2.2.2. Potências de saída

### 2.2.2.1. Potência dos gases de exaustão e combustão

A potência libertada pelos gases secos das chaminés está quantificada na tabela 14. O caudal térmico foi calculado a partir da equação 24 considerando-se uma temperatura de referência de 0°C. O calor específico foi determinado de acordo com o anexo B – B.2 e os caudais mássicos estão presentes na secção 2.1.1.2.

$$q_{\text{gases exaustão combustão}} = \dot{m}_{\text{gases exaustão combustão}} \times C_{p_{\text{gases exaustão combustão}}} \times (T_{\text{gases exaustão combustão}} - T_{\text{ref}}) \quad (24)$$

Tabela 14 – Caudais térmicos dos gases secos de combustão e exaustão

| Estufa            | $\dot{m}_{\text{gases secos combustão exaustão}}$<br>(kg/s) | $C_p$<br>(kJ/kgK) | $T$ (°C) | $q$ (kW)      |
|-------------------|---|-------------------|----------|---------------|
| 1                 | 2,637   | 1,016             | 141,1    | 378,0         |
| 2                 | 0,875   | 1,019             | 162,3    | 144,8         |
| 3                 | 3,305   | 1,027             | 214,5    | 728,1         |
| 4                 | 0,647   | 1,030             | 233,5    | 155,5         |
| 5                 | 1,372   | 1,015             | 135,0    | 188,0         |
| 6                 | 1,557   | 1,029             | 226,2    | 362,4         |
| 7                 | 0,844   | 1,029             | 229,0    | 198,9         |
| <b>TOTAL (kW)</b> |   |                   |          | <b>2155,8</b> |

A potência da água em forma de vapor é calculada a partir da equação 21, em que a temperatura dos gases é uma média calculada a partir das massas de gases libertados por cada uma das estufas (Anexo C-C.2). Assim sendo, a potência libertada pela água que sai na combustão e exaustão foi de 1179 kW, considerando o calor latente de vaporização e o calor específico à temperatura de referência ( $T_{\text{ref}}=0^\circ\text{C}$ )

A potência proveniente dos gases de combustão consiste na soma do caudal térmico correspondente à água e do caudal térmico dos gases secos dos gases de combustão. O caudal térmico dos gases de combustão foi de 3333 kW.

### 2.2.2.2. Potência do tecido impregnado

A potência do tecido impregnado é calculada da mesma forma que é calculado o caudal térmico do tecido verde (equação 19). O caudal mássico do tecido impregnado é 0,597 kg/s (Anexo C-C.4), o  $C_p$  é 1,69 kJ/kg K <sup>[6]</sup> e a temperatura de enrolamento do tecido medida

pelo term metro infravermelho (resolução 0,1 C; *Fluke 61,U.S.A*) foi de 26,4 C.O caudal térmico correspondente ao tecido impregnado foi de 27 kW.

### 2.2.2.3. Potência das perdas

A potência das perdas foi quantificada a partir do balanço de energia   máquina ZELL (equa o 16). Desta forma, o caudal térmico correspondente às perdas é de 1052 kW.

## 2.3. Qualifica o das perdas térmicas

Sabe-se que, muitas perdas são inerentes ao processo e como tal, não as podemos evitar, uma vez que fazem parte integrante da concepção do produto. Desta forma as perdas são classificadas como processuais e não processuais.

### 2.3.1. Perdas processuais

Na impregna o dos produtos em causa,   necessário que os arrefecimentos sejam rápidos. Estes arrefecimentos consistem principalmente em expor a área da tela, que sai das estufas a temperaturas elevadas, à temperatura ambiente. A tela vai trocar calor por convecção com o ar ambiente, aquecendo o ambiente e arrefecendo a própria tela. Na figura 24, a vermelho, estão representadas as principais perdas por arrefecimento do tecido. Para o cálculo da potência perdida pela tela, foi necessário recorrer à equa o 25.

$$q_{tecido} = \dot{m}_{tecido} \times Cp_{tecido} \times (T_{tecido\ saıda} - T_{tecido\ entrada}) \quad (25)$$

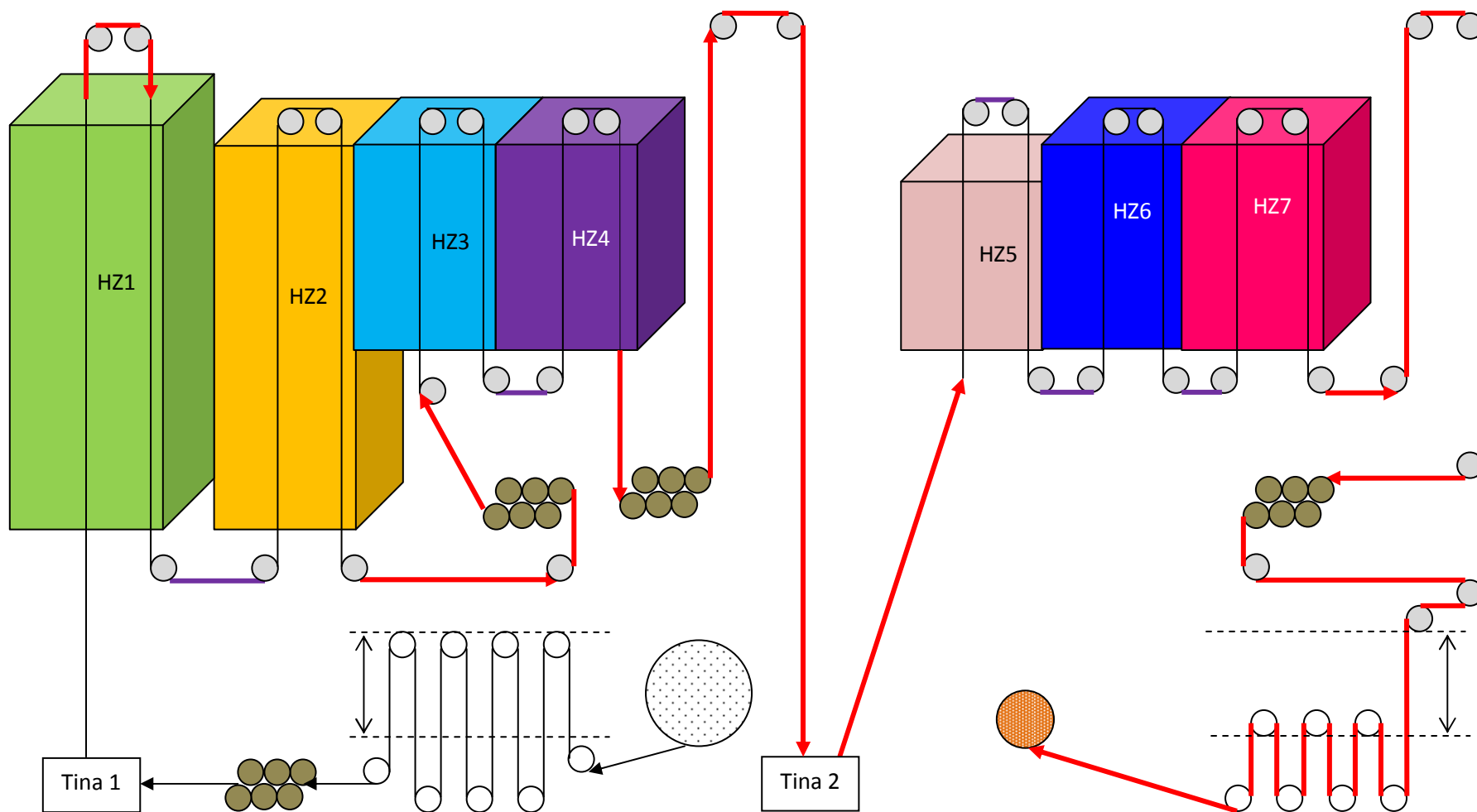


Figura 24 – Esquema indicativo das perdas processuais, nomeadamente o arrefecimento do tecido (vermelho) e passagem entre estufa (roxo)

Os resultados obtidos encontram-se na tabela 15 considerando um  $C_p$  à temperatura de referência, que é 0°C.

Tabela 15 – Resultados obtidos do arrefecimento do tecido

|                                     |                | T (°C) | Local                    | $\dot{m}_{\text{tecido}}$ (kg / s) | $C_p$<br>(kJ/kgK) | q (kW)        |
|-------------------------------------|----------------|--------|--------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| <b>1º</b><br><b>Arrefecimento</b>   | <b>Entrada</b> | 68,8   | 1ªSaída <sub>HZ1</sub>   | 0,586                              | 1,69              | 7,13          |
|                                     | <b>Saída</b>   | 61,6   | 2ªEntrada <sub>HZ1</sub> |                                    |                   |               |
| <b>2º</b><br><b>Arrefecimento</b>   | <b>Entrada</b> | 130,2  | Saída <sub>HZ2</sub>     | 0,586                              | 1,69              | 82,61         |
|                                     | <b>Saída</b>   | 46,8   | Entrada <sub>HZ3</sub>   |                                    |                   |               |
| <b>3º</b><br><b>Arrefecimento</b>   | <b>Entrada</b> | 164    | Saída <sub>HZ4</sub>     | 0,586                              | 1,69              | 142,84        |
|                                     | <b>Saída</b>   | 19,8   | Entrada <sub>HZ5</sub>   |                                    |                   |               |
| <b>4º</b><br><b>Arrefecimento</b>   | <b>Entrada</b> | 175,4  | Saída <sub>HZ7</sub>     | 0,597                              | 1,69              | 150,33        |
|                                     | <b>Saída</b>   | 26,4   | Enrolamento              |                                    |                   |               |
| <b>Perdas de Arrefecimento (kW)</b> |                |        |                          |                                    |                   | <b>382,91</b> |

O tecido é exposto ao ar ambiente na passagem entre as diversas estufas. Desta forma o tecido troca calor por convecção e radiação com o ar ambiente, aquecendo o ambiente em volta da estufa e arrefecendo a própria tela. As perdas por convecção forçada no exterior de uma placa plana foram calculadas de acordo com a equação 26 e o coeficiente de convecção foi calculado de acordo com a equação 27 [1], admitindo que o tecido estava parado e o ar envolvente circulava à velocidade de 70 m/min (velocidade do tecido) sendo o L é o comprimento do tecido. O número de Reynolds (Re) é calculado a partir da equação 28.

$$q_{conv} = h \times A_{Sup} \times (T_{Sup} - T_{amb}) \quad (26)$$

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,664 Re_L^{0,5} Pr^{1/3} \quad (27)$$

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (28)$$

A potência de radiação foi calculada pela equação 29. Foi usado um valor de 0,85 para a emissividade ( $\epsilon$ ) [8]. A constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ ) tem o valor de 5,67E-11 kW/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>).

$$q_{rad} = \sigma \times \epsilon \times A_{Sup} \times (T_{Sup}^4 - T_{amb}^4) \quad (29)$$

Na tabela 16 encontram-se resumidos todos os caudais térmicos perdidos pelo tecido por convecção e radiação quando exposta ao ar ambiente.

Tabela 16-Resultados obtidos do arrefecimento por passagem do tecido entre estufas

| Deslocação   | $T_{tecido}$ (°C) | $T_{amb}$ (°C) | $A_{tecido}(m^2)$ | $h$ (kW/m <sup>2</sup> K) | $q_{conv}$ (kW) | $q_{rad}$ (kW) | $q_{total}$ (kW) |
|--|-------------------|----------------|-------------------|---------------------------|-----------------|----------------|------------------|
| 1 <sup>a</sup> →2 <sup>a</sup>                             | 86,6              | 25             | 11,69             | 2,94E-03                  | 2,11            | 4,98           | 7,1              |
| 3 <sup>a</sup> →4 <sup>a</sup>                             | 142               | 32             | 10,02             | 2,72E-03                  | 3,00            | 10,14          | 13               |
| 5 <sup>a</sup> →6 <sup>a</sup>                             | 100,2             | 36             | 9,35              | 2,59E-03                  | 1,56            | 4,63           | 6,2              |
| 6 <sup>a</sup> →7 <sup>a</sup>                             | 158,8             | 36             | 10,02             | 2,74E-03                  | 3,37            | 12,39          | 16               |
| <b>Perdas de arrefecimento por passagem de estufa (kW)</b> |                   |                |                   |                           |                 |                | <b>50</b>        |

### 2.3.2. Perdas não processuais

As estufas são feitas de chapa zincada de 2 mm de espessura, cobertas de 15 mm de lã de rocha para isolamento, depois leva mais uma parede de chapa zincada com 2 mm de espessura. No interior das estufas, as temperaturas são elevadas devido ao aquecimento pela combustão do gás natural nos queimadores das respectivas estufas. As temperaturas de funcionamento das estufas estão representadas na tabela 17.

Tabela 17 – Temperatura de funcionamento das estufas da máquina de impregnar

| Estufa | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| T (°C) | 175 | 175 | 250 | 250 | 150 | 250 | 250 |

O caudal térmico propaga-se das temperaturas altas para as mais baixas e como tal, ocorrem perdas térmicas por convecção (equação 26) e por radiação (equação 29) pelas paredes das estufas (figura 25).

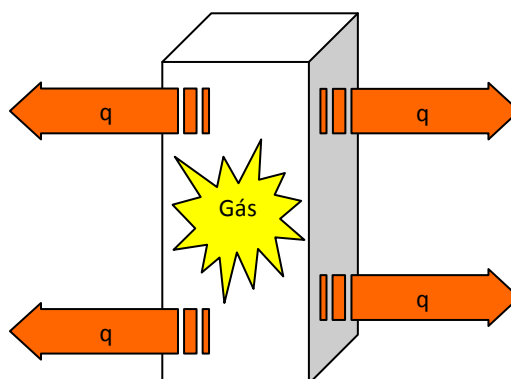


Figura 25 – Esquema representativo das perdas térmicas pelas paredes das estufas

As perdas referidas anteriormente são apresentadas na tabela 18 e foram calculadas a partir dos valores presentes no anexo C-C.7.

Tabela 18 – Perdas de calor por convecção e radiação das paredes das estufas

| Estufa              | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | Total |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $q_{conv}$<br>(kW)  | 17,3 | 15,5 | 7,89 | 9,72 | 6,40 | 9,56 | 11,4 | 77,7  |
| $q_{rad}$<br>(kW)   | 16,3 | 14,5 | 7,56 | 9,58 | 5,91 | 9,30 | 11,3 | 74,4  |
| $q_{total}$<br>(kW) | 33,6 | 30,0 | 15,5 | 19,3 | 12,3 | 18,9 | 22,7 | 152,2 |

### 2.3.3. Perdas não mensuráveis

Estas perdas foram determinadas por balanço. Nas figuras que se seguem, estão representados os vários sítios onde não foi possível quantificar as perdas de caudal térmico. A figura 26 representa as perdas nas junções de placas e a figura 27 representa as perdas nas portas das estufas. Na figura 28 estão representadas as perdas térmicas nas condutas do ar de circulação e na figura 29 estão representadas as perdas nos topos das estufas. Na figura 30 estão representadas as perdas de caudal térmico nos ventiladores.



Figura 26 – Fotografias das junções de placas das estufas



Figura 27 – Fotografias das portas da estufa



Figura 28 – Fotografias das condutas do ar de circulação



Figura 29 – Fotografias dos rolos dos topos das estufas



Figura 30 – Fotografias dos ventiladores de exaustão

### 3. Análise dos resultados obtidos na auditoria energética

Os resultados obtidos para as potências de entrada que entram no balanço encontram-se resumidos na tabela 19 e as suas distribuições estão representadas na figura 31.

Tabela 19 – Caudais térmicos das correntes de entrada da máquina de impregnar *Zell*

| Corrente       | q (kW) | q <sub>total</sub> (kW) |
|----------------|--------|-------------------------|
| Gás Natural    | 3875   | 4411                    |
| Ar Combustão   | 79     |                         |
| Ar Aquecimento | 419    |                         |
| Soluções       | 17     |                         |
| Tecido Verde   | 21     |                         |

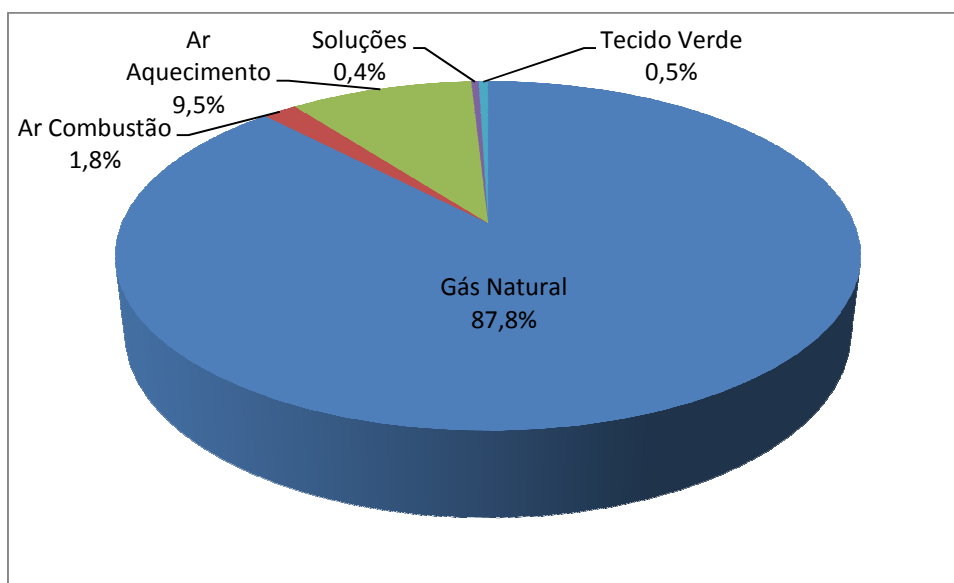


Figura 31 – Distribuição das potências de entrada da máquina de impregnar

Após analisar a distribuição das correntes de potência de entrada, chega-se à conclusão que a percentagem atribuída ao gás natural é largamente superior às outras e tem o valor de 87,8%. A potência correspondente ao ar de aquecimento corresponde a 9,5%, enquanto que as outras correntes correspondem a um valor de 1,8% para o ar de combustão, 0,4% para a potência das soluções e 0,5% para o tecido verde.

Os resultados para as potências de saída encontram-se resumidos na tabela 20 e as suas distribuições estão representadas na figura 32.

Tabela 20 – Caudais térmicos das correntes de saída da máquina de impregnar Zell

| Corrente                        | q (kW) | q <sub>total</sub> (kW) |
|---------------------------------|--------|-------------------------|
| <b>Gases Combustão Exaustão</b> | 3333   | 4411                    |
| <b>Tecido Impregnado</b>        | 27     |                         |
| <b>Perdas</b>                   | 1052   |                         |

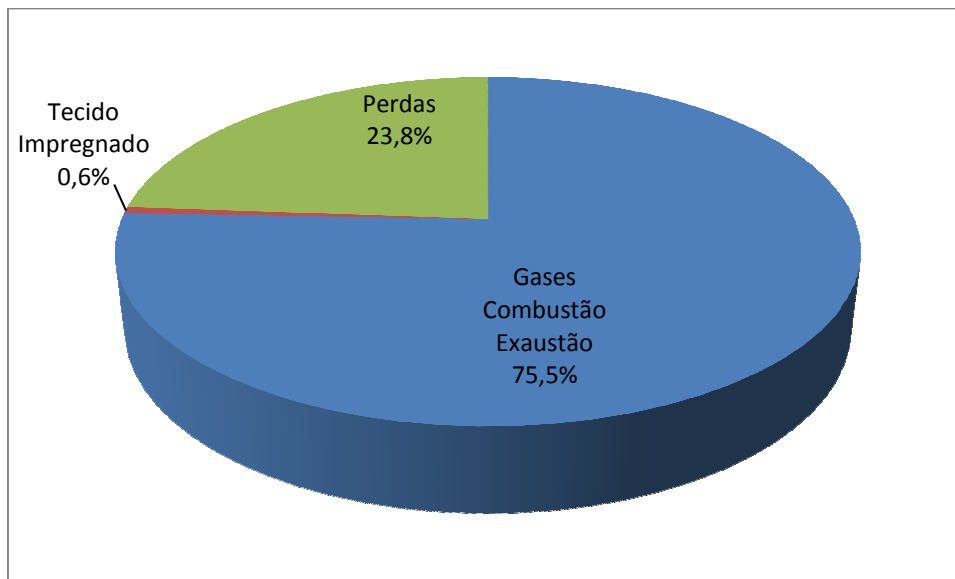


Figura 32 – Distribuição das potências de saída da máquina de impregnar

Depois de se analisar a figura 32, conclui-se que a maior parte da potência total de saída corresponde aos gases expelidos pelas chaminés da máquina de impregnar. Os gases de combustão e exaustão representam 75,5% da potência de saída do processo. Uma pequena parte da potência total, 0,6% representa a potência presente no tecido impregnado. Os restantes 23,8% equivalem às perdas totais da máquina de impregnar.

O resumo das perdas térmicas encontram-se na tabela 21 e a sua distribuição está representada na figura 33. A distribuição das potências de saída encontra-se completamente caracterizada na figura 34.

Tabela 21 – Caudais térmicos das perdas da máquina de impregnar Zell

| Perdas               | q (kW) | q <sub>total</sub> (kW) |
|----------------------|--------|-------------------------|
| <b>Arrefecimento</b> | 383    | 589                     |
| <b>Passagem</b>      | 54     |                         |
| <b>Estufas</b>       | 152    |                         |

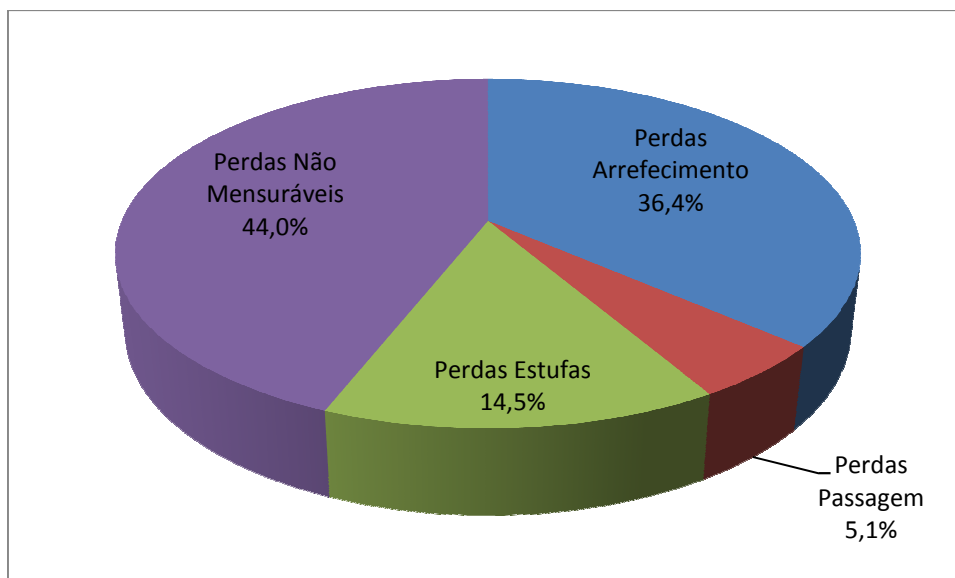


Figura 33 – Distribuição das perdas térmicas da máquina de impregnar

Analisando a figura 33, verifica-se que 44% das perdas calculadas por balanço (equação 16) não são mensuráveis. Os restantes 56% de dissipação térmica correspondem às perdas das estufas (14,5%), às perdas de passagens de estufas (5,1%) e às perdas de arrefecimento.

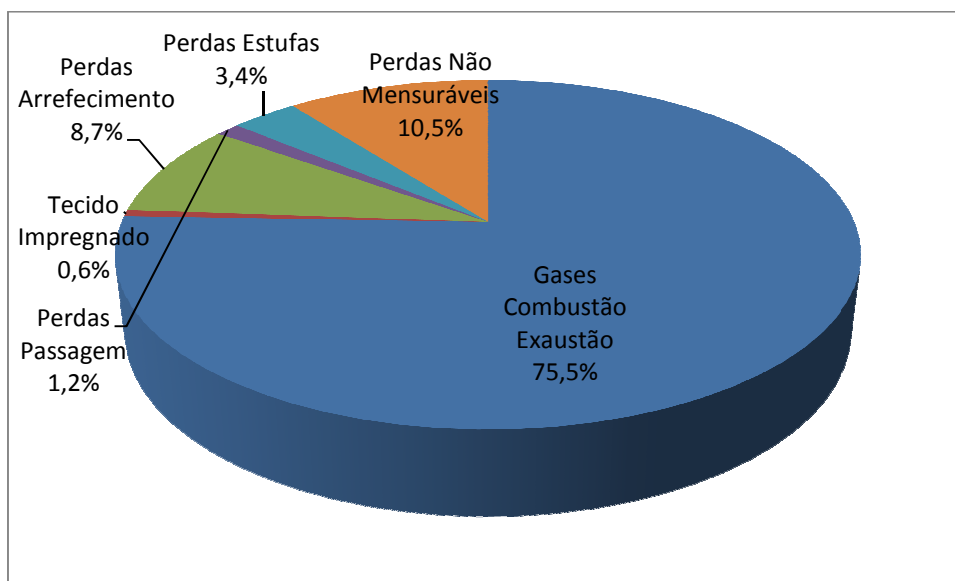


Figura 34 – Descrição das potências de saída da máquina de impregnar

A figura 34 mostra que 10,5% da potência de saída não foi determinada de forma explícita, mas sim por diferença. As perdas de arrefecimento representam 8,7% da globalidade da potência envolvida na impregnação enquanto que as perdas das estufas e as perdas de passagens das estufas representam 3,4% e 1,2% respectivamente.

Na figura 35 encontram-se os valores dos custos correspondentes às correntes de saída do balanço global das potências de saída. A quantificação destes custos é calculada pela equação 30 e para tal considerou-se o preço do gás natural.

$$G_{corrente} = q_{corrente} \times \text{preço} \quad (30)$$

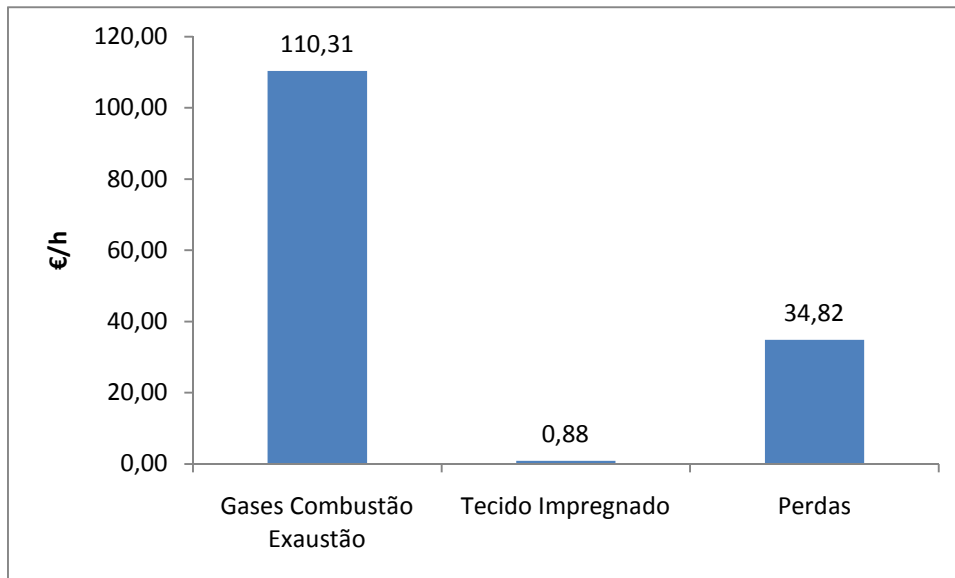


Figura 35 – Valores dos custos horários das potências de saída comparados com os custos do combustível (0,031 €/kWh)

Na figura 36 está expresso o valor económico das perdas, baseado no custo que o gás natural possuía na altura em que foi feita a auditoria.

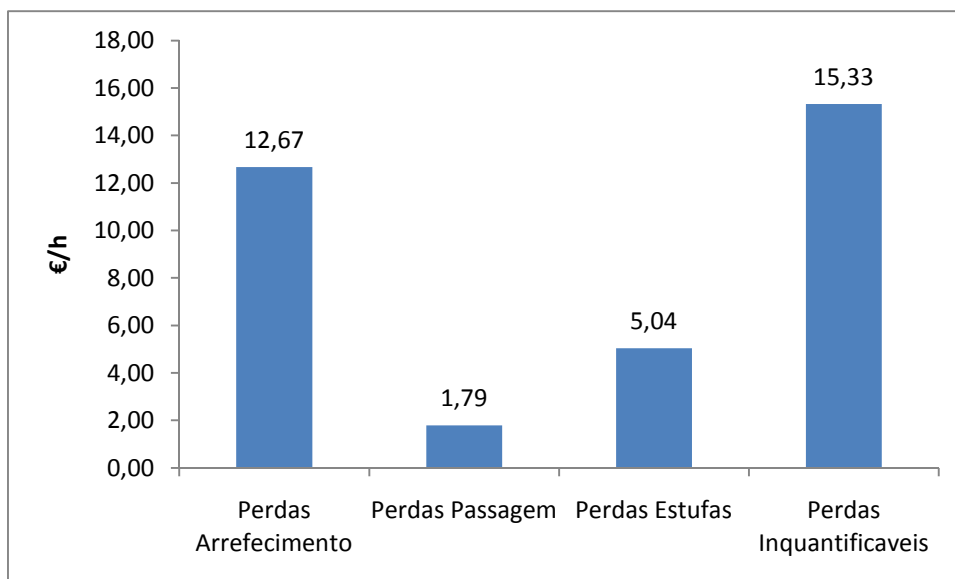


Figura 36 – Valores dos custos horários das perdas térmicas comparados com os custos do combustível (0,031 €/kWh)

## **4. Optimiza o energética**

As optimiza es energéticas visam proporcionar o mesmo nível de produ o, através da implementa o de novas metodologias de processo que podem conduzir a redu es substanciais do consumo de energia e das emissões de poluentes associadas à sua conversão. Em muitas situa es, a implementa o de novas tecnologias pode também conduzir a uma elevada economia nos custos do ciclo de vida dos equipamentos utilizadores de energia (custo inicial mais custo de funcionamento ao longo da vida útil)<sup>[7]</sup>. Neste seguimento, pretende-se aplicar uma optimiza o processual que consiste na redu o das exaustões e implementar uma de três tecnologias estudadas: aumento da temperatura do ar de aquecimento com a concep o de um compartimento isolado, aumento da temperatura da soluço 1 através de um permutador de placas e aquecimento do ar de combustão através do aproveitamento dos gases de combustão e exaustão.

### **4.1. Redu o dos caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão**

A auditoria energética realizada permitiu concluir que a potência que os gases de combustão e exaustão possuem   de 3333 kW.

A potência dos gases de combustão e exaustão correspondem a 75,5% da potência total de saída (4411 kW) na impregna o, como se pode ver na figura 34.

A temperatura dos gases de combustão e exaustão dificilmente poderá ser alterada devido ao processo de impregna o do referido produto pois, não podem ser alteradas as temperaturas das estufas. Deste modo, a única alternativa possível é reduzir os caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão provenientes das estufas.

Pretende-se com este estudo mostrar, o impacto que a diminui o dos caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão têm quer a nível energético, quer a nível econ mico, considerando que as potências de entrada e de saída são as mesmas.

#### **4.1.1. Análise Energética**

Este estudo baseia-se essencialmente em reduzir o caudal térmico necessário para a impregna o, reduzindo os caudais de exaustão das estufas 2 e 5 de 32% para 30%. Na estufa 3, reduz-se de 100% para 85%. Prevê-se que com estas redu es, pouco significativas, levem a redu es nos gastos correspondentes ao consumo de gás, sem que a qualidade do produto seja afectada.

Os resultados obtidos para as reduções das exaustões encontram-se na tabela 22 onde estão apresentados os caudais volumétricos, mássicos e térmicos associados às novas exaustões.

Tabela 22 – Valores referentes à exaustão reduzida

| Estufa                 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | Total |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Exaustão</b>        | 10%   | 30%   | 85%   | 20%   | 30%   | 40%   | 10%   |       |
| $Q$ ( $m^3/s$ )        | 3,08  | 1,00  | 3,77  | 0,93  | 1,49  | 2,20  | 1,20  | 13,67 |
| $T$ ( $^{\circ}C$ )    | 141,1 | 162,3 | 214,5 | 233,4 | 135,0 | 226,2 | 229,0 |       |
| $\rho$ ( $kg/m^3$ )    | 0,86  | 0,81  | 0,73  | 0,70  | 0,87  | 0,71  | 0,70  |       |
| $\dot{m}$ ( $kg/m^3$ ) | 2,64  | 0,82  | 2,74  | 0,65  | 1,29  | 1,56  | 0,84  | 10,53 |
| $C_p$ ( $kJ/kg.K$ )    | 1,02  | 1,02  | 1,03  | 1,03  | 1,02  | 1,03  | 1,03  |       |
| $q$ ( $kW$ )           | 378   | 135   | 603   | 155   | 176   | 362   | 198   | 2009  |

Na figura 37 está representada a percentagem de exaustão que existe actualmente e a exaustão que se pretende aplicar para otimizar o processo, e reduzir assim o consumo de gás natural.

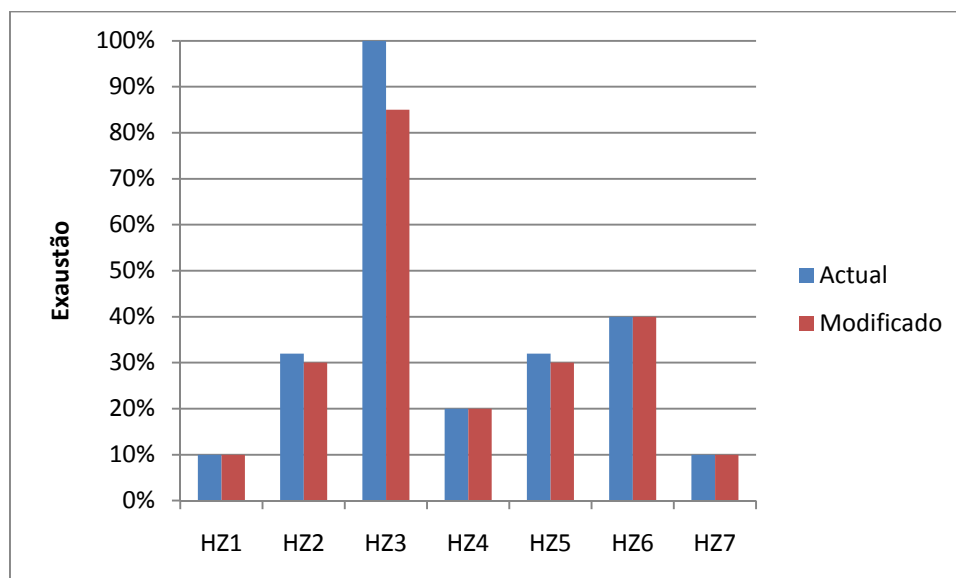


Figura 37 – Comparação entre as percentagens das exaustões actuais com as exaustões modificadas

Na figura 38 estão representadas todos os caudais térmicos libertados pelos gases secos dos gases de combustão e exaustão actuais e os caudais térmicos reduzidos.

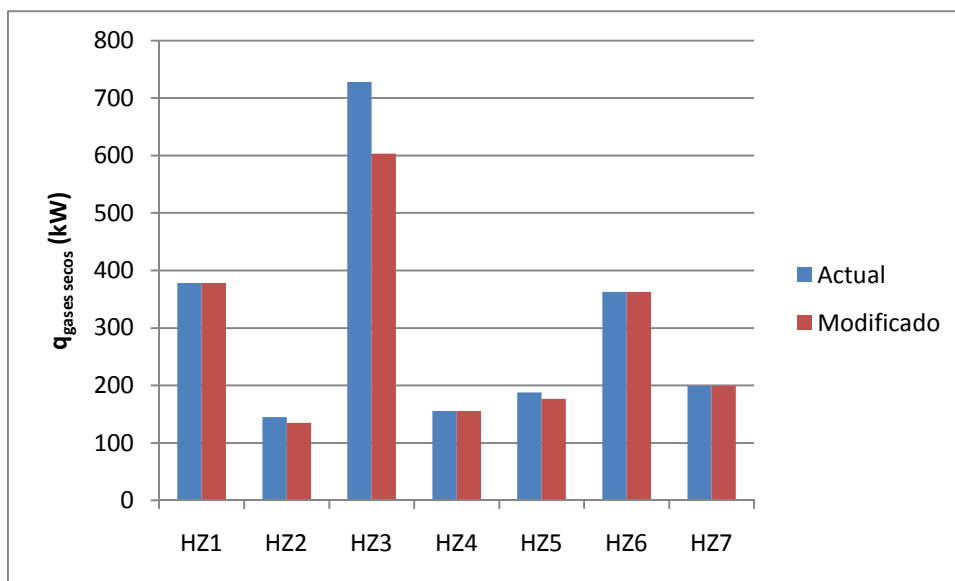


Figura 38 – Compara o entre os caudais volumétricos das exaustões actuais com as exaustões modificadas

O caudal térmico correspondente   água foi calculado na auditoria energética e corresponde a 1176,85 kW.

Sendo assim, os valores de caudal térmico libertado na exaustão quer na situa o actual quer na situa o hipotética de redução de exaustão, encontram-se presentes na tabela 23.

Tabela 23 – Valores correspondentes aos caudais térmicos para a situa o actual, quer para a situa o hipotética de redução de exaustão

| Situa o           | $q_{gases\ secos}$<br>$q_{gases\ exaust o\ combustão}$<br>(kW) | $q_{água}$<br>$q_{gases\ exaust o\ combustão}$<br>(kW) | $q_{gases\ exaust o\ combustão}$<br>(kW) |
|-------------------|--|--|--|
| <b>Actual</b>     | 2155   | 1176   | 3332                                     |
| <b>Modificada</b> | 2009   |  | 3186                                     |

Considerando que as potências de saída são as mesmas calculou-se com base na figura 34 (capitulo 3), a potência total tendo-se obtido o valor de 4265 kW

A potência do sistema para a hipótese da redução de exaustão passa a ser de 4265 kW em vez dos 4411 kW actuais, ou seja há uma redução de 4,3% como se pode ver na figura 39.

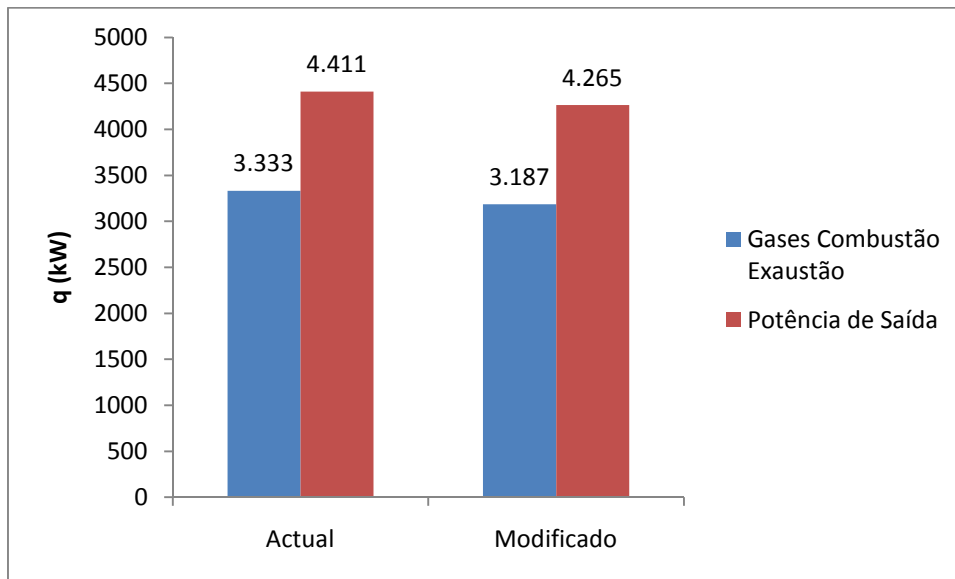


Figura 39 – Comparação dos caudais térmicos (teóricos) para as diferentes situações

#### 4.1.2. Análise Económica

A potência correspondente ao gás, para a situação modificada, foi calculada por diferença, considerando que as restantes potências de entrada se mantêm constantes e a potência global passa a ser de 4220,78 kW. Assim sendo, a potência do gás natural foi por diferença, considerando os caudais presentes na tabela 19. A potência do combustível necessário para a impregnação com as exaustões da tabela 22 é de 3728 kW.

Considerando que o preço do gás natural é de 0,0331 €/kWh, o consumo de gás natural e a diferença de consumos para as duas situações estudadas estão apresentados na tabela 24.

Tabela 24 – Valores teóricos para os gastos de gás natural para as duas situações estudadas

| Situação   | q (kW)  | Gastos (€/h) | $\Delta q$ (kW) | $\Delta$ Gastos (€/h) |
|------------|---------|--------------|-----------------|-----------------------|
| Actual     | 3874,82 | 128,26       | 145,94          | 4,83                  |
| Modificada | 3728,88 | 123,43       |                 |                       |

Como se pode ver na figura 40, a redução do consumo de gás natural é na ordem 3,7% e corresponde a uma poupança energética na ordem dos 4,83 €/h.

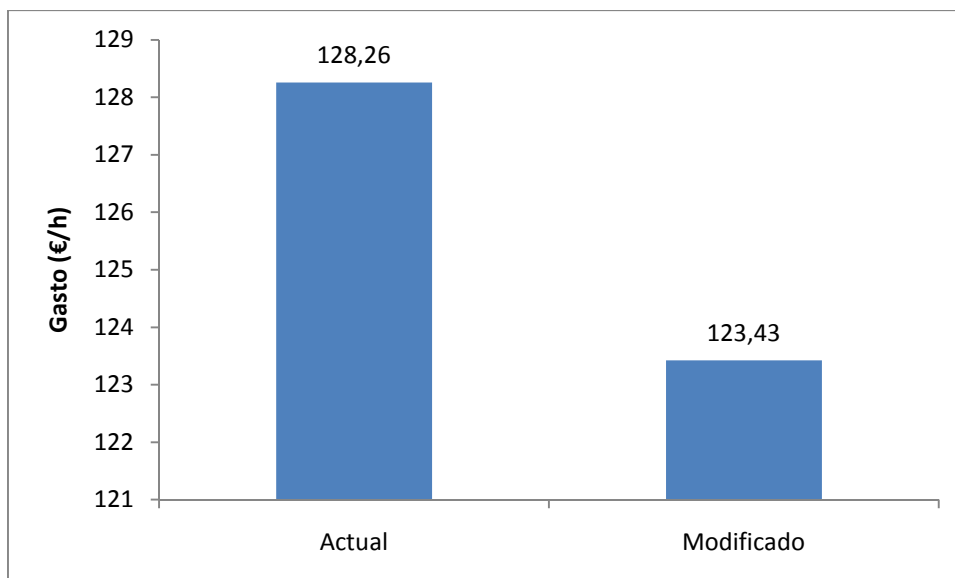


Figura 40 – Comparação entre os gastos actuais com os gastos teóricos com redução da exaustão

Através dos resultados obtidos teoricamente, verifica-se que se pode reduzir o consumo de gás na impregnação do produto PBB-13J, mudando apenas a exaustão das estufas. Essa redução na ordem dos 146 kW representa uma poupança de 4,83 €/h.

Este tipo de optimização não necessita de investimento, é apenas experimental. A única dificuldade que este tipo de procedimento pode trazer,   o número de paragens da máquina, uma vez que quanto menores forem as exaustões, mais limpezas serão necessárias. No entanto, é de realçar que estas diminuições de exaustões são reduzidas, e que poderão não ter uma grande influência no aumento da acumulação da sujidade.

## 4.2. Aumento da temperatura do ar de aquecimento

Após efectuada a auditoria energética constata-se que a potência que o ar de aquecimento possuía era de 419 kW, uma vez que a sua temperatura era de 31,2°C.

A potência que o ar de aquecimento possui corresponde a 9,5% do total de potência de entrada na impregnação como se pode ver na figura 31.

O caudal de ar de aquecimento dificilmente pode ser mudado uma vez que não é regulado, pois entra naturalmente pelas aberturas que a estufa tem para a circulação do tecido, como se pode ver na figura 41.



Figura 41 – Abertura da estufa para a entrada do tecido

A única alternativa será, utilizar ar de aquecimento a uma temperatura mais elevada.

Pretende-se com este estudo mostrar, o impacto que o aumento da percentagem do ar de aquecimento presente na figura 31 representa a nível energético, e posteriormente a nível económico.

### 4.2.1. Análise Energética Teórica

Este estudo baseia-se essencialmente em utilizar a potência do ar que circula no “anel de ar quente”. A temperatura na ordem dos 35-40°C e o caudal mássico (aproximadamente 19,34 kg/s) largamente superior aos 9,242 kg/s calculados no balanço de massa da auditoria indicam que há “muita” potência disponível a poder ser utilizada e que o processo pode ser optimizado. Compararam-se os resultados calculados teoricamente, com os resultados obtidos na prática, com temperaturas e humidades relativas diferentes.

De acordo com as equações 16 e 17 da auditoria energética, a potência do ar de aquecimento é maior, quanto maior for temperatura do ar de aquecimento e a humidade absoluta do ar.

Admitindo que o somatório das potências de entrada   4411 kW e que o caudal térmico do ar de combustão, do tecido verde e das soluções não alteram, o caudal térmico de combustível (gás natural)   calculado por diferenç a, como se pode ver na equação 31. Calculou-se então o consumo de gás natural, para as diferentes temperaturas, como está indicado na tabela 25 juntamente com os seus custos horários, considerando que o preç o do gás natural   0,0331  /kWh.

$$q_{\text{combustível}} = \sum_{\text{Potencias}} \text{Entrada} - q_{\text{ar aquecimento}} - q_{\text{ar combustão}} - q_{\text{tecido verde}} - q_{\text{Soluções}} \quad (31)$$

Tabela 25 – Valores referentes aos gastos de combustível calculados teoricamente

| Medição | $T_{\text{ambiente}} \text{ média } (^{\circ}\text{C})$ | $q_{\text{ar aquecimento}} \text{ (kW)}$ | $q_{\text{combustível}} \text{ (kW)}$ | Gasto ( /h) |
|---------|---|--|---------------------------------------|-------------|
| 1       | 23,6  | 381                                      | 3850                                  | 127,46      |
| 2       | 25,2  | 385                                      | 3846                                  | 127,33      |
| 3       | 29,1  | 456                                      | 3775                                  | 124,96      |

#### 4.2.2. Análise Energética Experimental

Com base nas medições de gás natural feitas obtiveram-se os caudais presentes na tabela 26. O caudal térmico do combustível foi calculado de acordo com as equações 17 e 18.

Tabela 26 – Consumos de gás e respectivo caudal térmico e gasto referente ao consumo de gás natural

| Medição | $T_{\text{ambiente}} \text{ média } (^{\circ}\text{C})$ | $Q \text{ (m}^3\text{/h)}$ | $q_{\text{combustível}} \text{ (kW)}$ | Gasto ( /h) |
|---------|---|----------------------------|---------------------------------------|-------------|
| 1       | 23,6  | 345                        | 4072                                  | 134,81      |
| 2       | 25,2  | 344                        | 4059                                  | 134,36      |
| 3       | 29,1  | 335                        | 3960                                  | 131,10      |

A comparação entre os caudais térmicos práticos e teóricos encontra-se representada na figura 42. Os valores do erro calculado entre a prática e a teoria estão representados na figura 43.

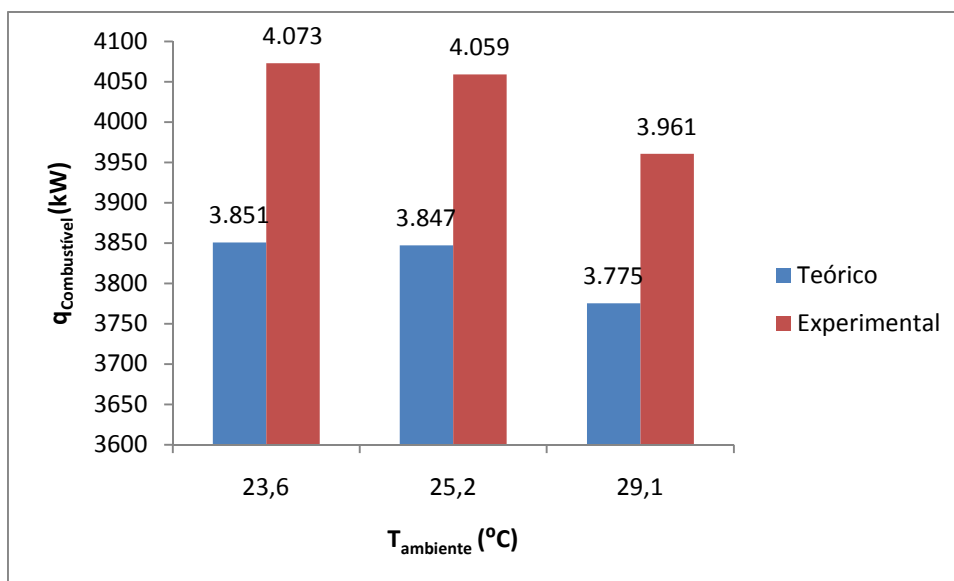


Figura 42 – Comparação entre os caudais térmicos de combustível teóricos e práticos para diferentes temperaturas ambientes

Pode-se verificar, como seria de esperar, que para temperaturas mais altas do ar de aquecimento é necessário menor caudal térmico de combustível. É de realçar que os valores experimentais são sempre superiores aos valores obtidos teoricamente.

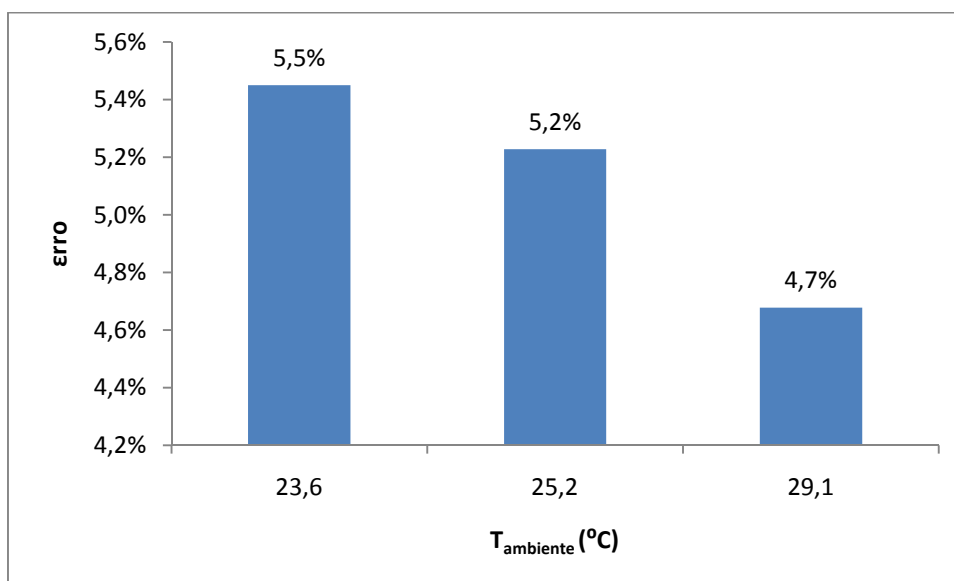


Figura 43 – Comparação do erro calculado entre os caudais térmicos práticos e teóricos para diferentes temperaturas ambientes

Analisando a figura 43 chega-se à conclusão que a diferença entre os caudais térmicos experimentais e teóricos é superior para temperaturas mais baixas do ar de aquecimento. Para temperaturas mais altas, o erro entre os caudais térmicos teóricos e experimentais é menor.

### 4.2.3. Análise Econ mica

O aumento do caudal térmico do ar de aquecimento, vai provocar uma diminuição do consumo do gás natural e dos seus custos finais.

Criando uma situação de isolamento para que a temperatura do ar de aquecimento se mantenha a 35 C, o caudal térmico do ar de aquecimento vai aumentar.

A partir da equa o 20, o caudal térmico correspondente ao ar de aquecimento à temperatura de 35 C  :

$$q_{ar\ aquecimento} = 9,19 \times 1,0048 \times (35,0 - 0) = 323\text{ kW}$$

$$q_{água} = 9,65 \times 10^{-2} \times (1,85 \times (35,0 - 0) + 2500) = 248\text{ kW}$$

$$q_{ar\ aquecimento} = 570,31\text{ kW}$$

Assim sendo, a nova distribuição das potências de entrada está representada na figura 44.

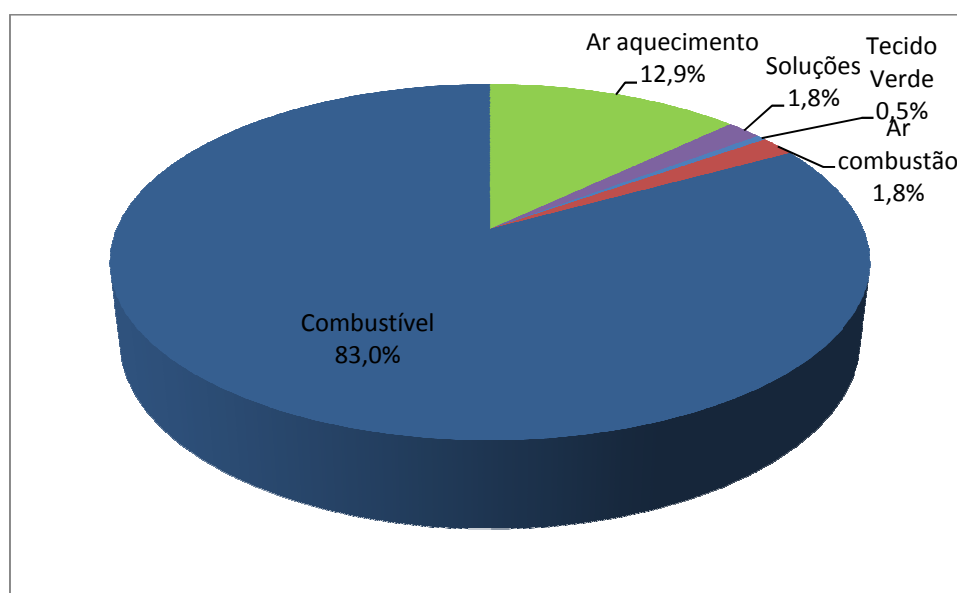


Figura 44 – Distribuição das potências de entrada com o ar de aquecimento a 35,0 C

Comparando as percentagens de gás natural das figuras 31 e 44, calcula-se a potência do combustível (equa o 32) e posteriormente o gasto horário de combustível (equa o 30) para cada um dos casos, ou seja, para a temperatura do ar de aquecimento (ar ambiente) a 18,3 C e para 35,0 C. Os resultados estão apresentados na figura 45 e 46.

$$q_{\text{combustível}} = \%_{\text{combustível}} \times \sum_{\text{Entrada}} \text{energias} \quad (32)$$

A redução de combustível causada pelo aumento da temperatura do ar de aquecimento traduz-se como se pode ver na figura 45, numa diminuição de 214 kW do caudal térmico do combustível.

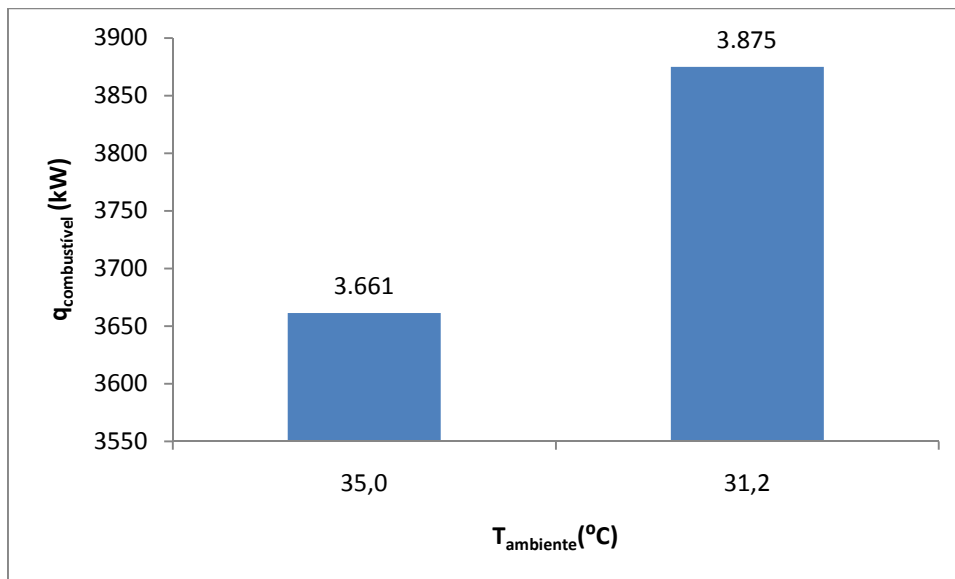


Figura 45 – Potência correspondente ao gás natural para as diferentes temperaturas do ar de aquecimento

Pode-se concluir após análise da figura 45 que o aumento da temperatura do ar de aquecimento de 31,2°C para 35°C representa uma redução de 4,8% do caudal térmico do combustível da máquina de impregnar.

A figura 46 indica que o gasto horário do combustível diminui com a diminuição do caudal térmico causada pelo aumento da temperatura do ar de aquecimento.

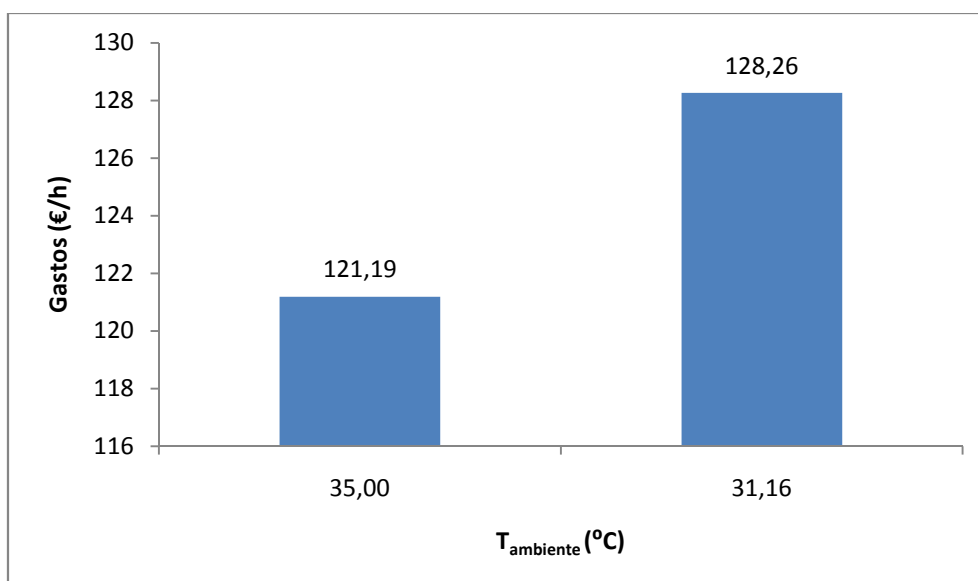


Figura 46 – Gastos horários de gás natural para as diferentes temperaturas do ar de aquecimento

Pode-se concluir, analisando a figura 46 que se reduz os gastos de combustível em 7,07 /h aumentando a temperatura do ar de aquecimento de 31,2 C para 35,0 C.

Uma das hipóteses para reduzir 7,07  /h é manter a temperatura do ar de aquecimento/ar ambiente alta (35,0 C). Para tal será necessário isolar termicamente o ar debaixo das estufas de maneira a que este esteja a uma temperatura aproximadamente constante. De certa maneira, este projecto consiste no prolongamento das estufas. A máquina de impregnar possui infra-estruturas capazes de suportar este tipo de projecto uma vez que o piso 2 é suportado por uma laje de betão.

O projecto da aplicação de painéis isoladores similar ao esquema da figura 47, consiste na aplicação de paredes de chapa quinadas Zincor com 2 m de altura, 1 m de largura e 1,25 mm de espessura a uma estrutura (esqueleto) composta por cantoneiras de 30 mm e tubos quadrados zincados de 30 mm. De acordo com a empresa *Semtor*, o orçamento para este projecto é de 30.000   e está includo o esqueleto de suporte, as chapas, os parafusos autorroscantes bem como a mão-de-obra.

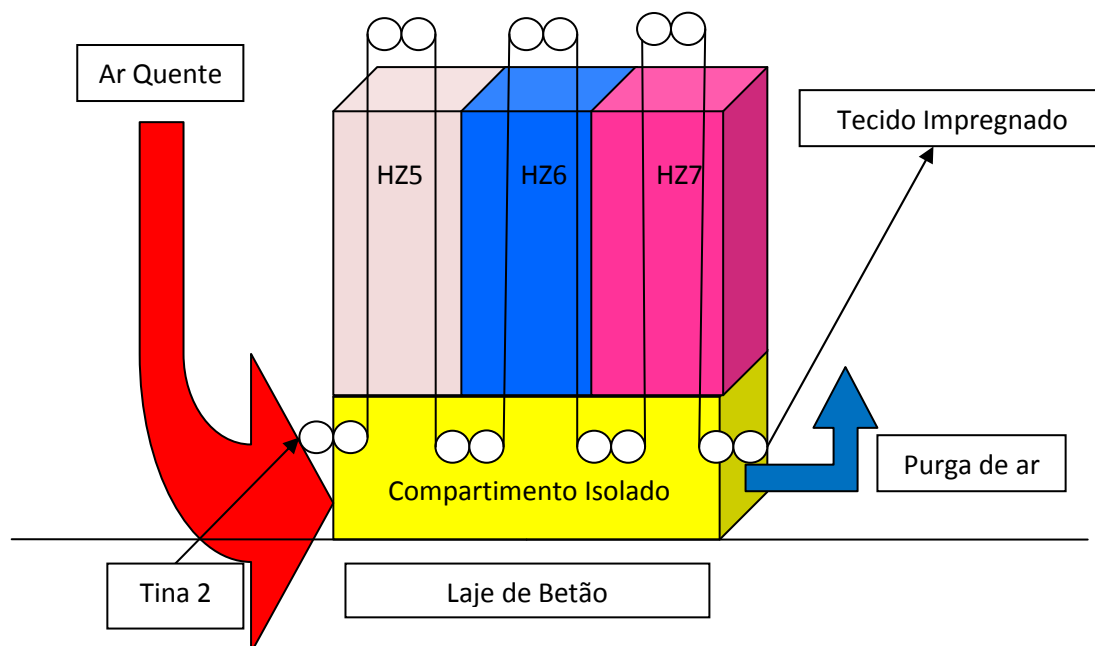


Figura 47 – Projecto da aplicação de painéis isoladores debaixo das estufas 5,6 e 7

A temperatura debaixo das estufas não pode ser extremamente elevada, uma vez que existe muita maquinaria, desta forma é necessária a aplicação de um sistema de controlo de caudal de ar quente idêntico ao da figura 48. O preço orçado para o cabo e mão-de-obra é de 300€ enquanto que o preço para a PT100 é de 50€.

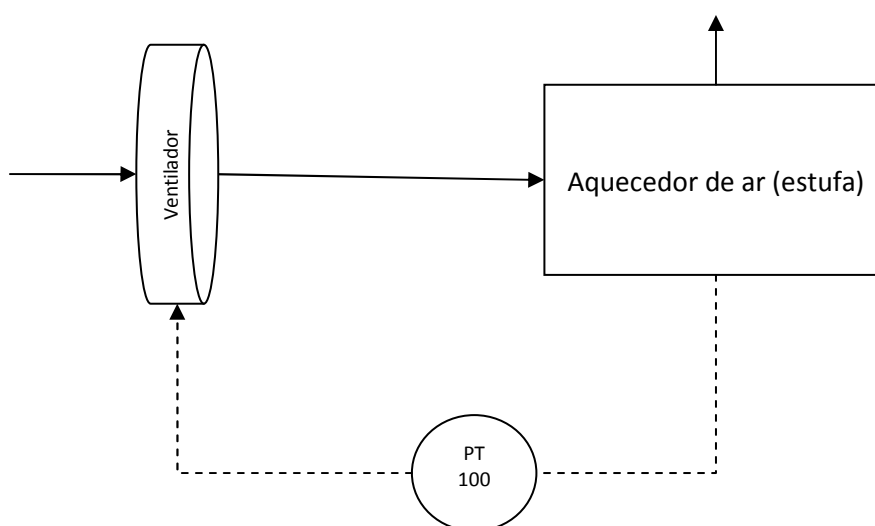


Figura 48 – Sistema de controlo para o aquecedor de ar

Somando todos os custos, os painéis de isolamento, a sua estrutura, o sistema de controlo e a mão-de-obra, o custo do investimento passa a ser de 30.350 

Para o cálculo do retorno do investimento (*Payback* simples), foi considerado um tempo de impregna o do PBB-13J de 7700 horas, ou seja, o número de horas de um ano produtivo.

$$t_{\text{retorno}} = \frac{\text{Custo total}_{\text{investimento}}}{\text{Ganho energético}} = \frac{30.350\text{é}}{7,07 \frac{\text{é}}{\text{h}}} = 4293\text{h}$$

$$t_{\text{retorno}} = \frac{4293\text{h}}{7700 \frac{\text{h}}{\text{ano}}} = 0,558\text{ano} \times \frac{12\text{meses}}{\text{ano}} \cong 7\text{meses}$$

Através dos resultados obtidos, pode-se verificar que se pode reduzir os gastos de gás da impregna o do produto PBB-13J. Essa redu o, na ordem dos 214 kW, representa uma poupança de 7,07  /h.

Para a quantifica o desses gastos, foram comparados os resultados teóricos com os resultados práticos calculados para as condi es da manhã do dia 22 de Abril de 2009. As diferenças (erro) entre os resultados teóricos e práticos foram de 5,5%, 5,2% e 4,7% para as temperaturas ambiente anotadas pelo termógrafo de 23,6 C; 25,2 C e 29,1 C, respectivamente.

O erro cometido entre os resultados teóricos e os resultados práticos indica que o cálculo teórico difere ligeiramente do real (prático), logo pode-se considerar viável usar o valor calculado teoricamente.

Relativamente à concretiza o do projecto de optimiza o,   necessário um investimento de 30.350  , e o seu período de retorno   de aproximadamente 8 meses.

Com base neste estudo, pode-se dizer que   viável a aplica o dos painéis de isolamento para aquecer o ar ambiente uma vez que o tempo de retorno do investimento é curto.

### 4.3. Aumento da temperatura da Solução 1

A partir da auditoria energética podemos concluir que a potência que a solução 1 possui é de 12,52 kW, uma vez que a sua temperatura era de 21°C.

Pretende-se com este estudo mostrar, o impacto que o aumento do caudal térmico da solução 1 presente na figura 31 representa a nível energético, e posteriormente a nível económico.

#### 4.3.1. Análise energética

Este estudo baseia-se essencialmente em aumentar a temperatura da solução 1 dos 21 para os 30°C. A temperatura da solução não deve ser superior a 30°C por informação da ITA.

Para tal, vai-se utilizar uma corrente quente de água a 40°C que irá trocar caudal térmico com a solução 1 de forma a aumentar a temperatura para 30°C.

Escolheu-se um permutador de placas, uma vez que o seu preço é relativamente reduzido face a outros permutadores (carcaça e tubos) e também devido à sua versatilidade (facilmente desmontável para lavagens; aplicação de mais placas, caso se queira aumentar a área de transferência de calor) e reduzidas dimensões.

#### 4.3.2. Análise económica

De acordo com as equações 23 da auditoria energética, a potência da solução 1 é maior, quanto maior for a sua temperatura. Admitindo que o somatório das potências de entrada é 4411 kW e que o caudal térmico do ar de combustão, do ar de aquecimento e da solução 2 não alteram, a potência térmica de combustível (gás natural) é calculada por diferença, como se pode ver na equação 30. Calculou-se então o consumo de gás natural, para as diferentes temperaturas da solução 1 que está indicado na tabela 27 juntamente com os seus custos horários, considerando que o preço do gás natural é 0,0331 €/kWh.

Tabela 27 – Valores referentes aos gastos de combustível

| $T_{\text{solução 1}}$<br>(°C) | $q_{\text{combustível}}$<br>(kW) | $\Delta q_{\text{combustível}}$<br>(kW) | $\%_{\text{combustível}}$ | $\Delta\%_{\text{combustível}}$ | Gasto<br>(€/h) | $\Delta$ Gasto<br>(€/h) |
|--------------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|
| 21                             | 3874,82                          |   | 87,8%                     |                                 | 128,26         |                         |
|                                |                                  | 5,37                                    |                           | 0,1%                            |                | 0,18                    |
| 30                             | 3869,45                          |   | 87,7%                     |                                 | 128,08         |                         |

A distribuição das energias de entrada está indicada na figura 49 agora com a solução 1 a 30 C

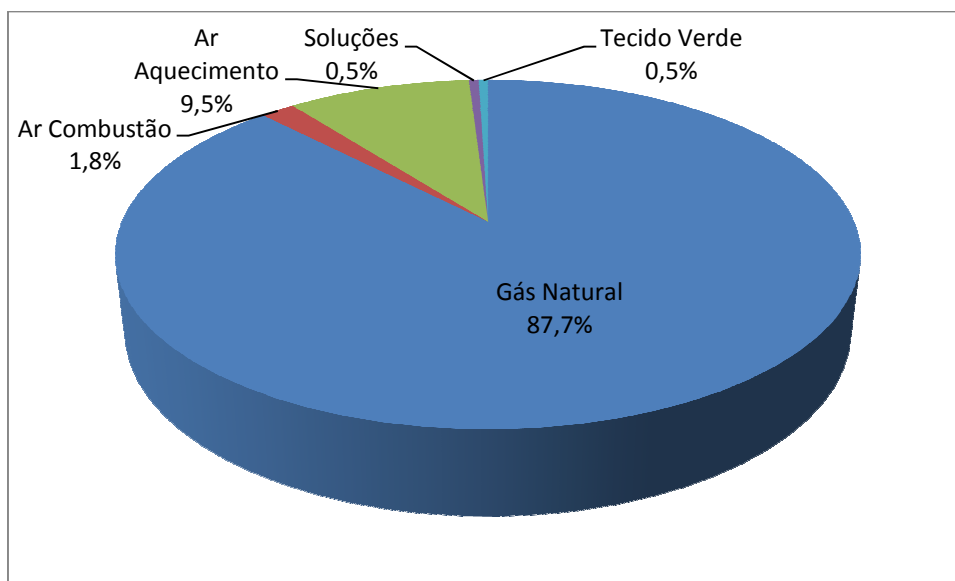


Figura 49 – Distribuição das potências de entrada da máquina de impregnação com a temperatura da solução 1 a 30 C

Uma das hipóteses para reduzir 0,18  /h é manter a temperatura da solução 1 alta (30,0 C). Para tal será necessário aquecer a solução com permuta de caudal térmico com uma corrente de água quente.

Na fábrica, existe uma corrente de 100 m<sup>3</sup>/h (27,6 kg/s) de água a 40 C capaz de permutar calor e aquecer a solução até 30 C.

O caudal de água quente foi calculado de acordo com a equação 33, considerando que o permutador esquematizado na figura 50   adiabático e que a temperatura final da corrente quente   30 C.

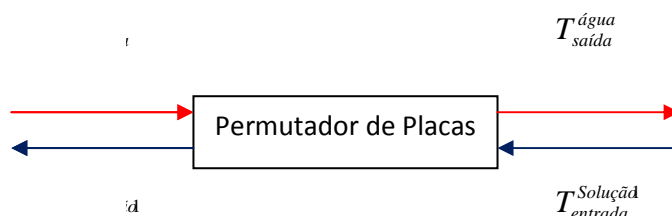


Figura 50 – Esquema do permutador de calor de placas

$$\dot{m}_{\text{água quente}} \times C_p_{\text{água}} \times (T_{\text{entrada}}^{\text{água}} - T_{\text{saída}}^{\text{água}}) = \dot{m}_{\text{Solução1}} \times C_p_{\text{solução1}} \times (T_{\text{saída}}^{\text{Solução1}} - T_{\text{entrada}}^{\text{Solução1}}) \quad (33)$$

O caudal de água quente vai ser:

$$\dot{m}_{\text{água quente}} = \frac{0,145 \times 4,11 \times (30 - 21)}{4,18 \times (40 - 30)} = 0,128 \text{ kg/s}$$

Para dimensionar a área de transferência de calor do permutador de placas, recorre-se à equação 34<sup>[2]</sup>.

$$q = UA\Delta T_{lm} \quad (34)$$

O U é o coeficiente global de transferência de calor, o A é a área de transferência de calor e o  $\Delta T_{lm}$  é a diferença de temperaturas média logaritmica que é calculada de acordo com a equação 35.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{\text{entrada}}^{\text{água}} - T_{\text{saída}}^{\text{solução1}}) - (T_{\text{saída}}^{\text{água}} - T_{\text{entrada}}^{\text{solução1}})}{\ln\left(\frac{T_{\text{entrada}}^{\text{água}} - T_{\text{saída}}^{\text{solução1}}}{T_{\text{saída}}^{\text{água}} - T_{\text{entrada}}^{\text{solução1}}}\right)} \quad (35)$$

O permutador de placas escolhido foi o modelo FH00-HJ, da marca *Arsopi-Thermal* (anexo D-D.2). As placas de transferência de calor têm 0,07 m<sup>2</sup> de área e um U de 4,64 kW/(m<sup>2</sup> °C). O  $\Delta T_{lm}$  é 9,49 °C. O número de placas do permutador de calor é:

$$n^{\circ} \text{ placas} = \frac{5,37}{4,64 \times 0,07 \times 9,49} = 1,73 \approx 2 \text{ placas}$$

O transporte de fluidos tem de ser feito por tubos. Para efeitos de projecto, considera-se que a velocidade nas tubagens deve ser cerca de 1 m/s.

Para o cálculo do diâmetro da tubagem, quer para a água, quer para a solução 1 é calculada com base nas equa es 2 e 3. Na tabela 28 tem os resultados para as tubagens necessárias para a aplicação do permutador de calor.

Tabela 28-Valores necessários para a determinação do diâmetro interno das tubagens

| Fluido      | $\dot{m}(kg/s)$ | $T_{média}( C)$ | $\rho(kg/m^3)$ | $Q(m^3/s)$ | $A(m^2)$ | $\Phi(in)^{[1]}$ |
|-------------|-----------------|-----------------|----------------|------------|----------|------------------|
|  gua Quente | 0,128           | 35,0            | 995,1          | 1,29E-04   | 1,29E-04 | 1/2              |
| Solução 1   | 0,145           | 25,5            | 996,6          | 1,45E-04   | 1,45E-04 | 1/2              |

Os custos associados ao investimento deste projecto envolvem a aquisição de um permutador de placas cujo orçamento foi dado pela *Arsopi-Thermal* no valor de 246  . As tubagens foram orçamentadas pela *Semtor* cujo preç o ronda os 1000 . Concluindo, o custo total deste investimento ronda os 1246 é.

O retorno do investimento (*Payback* simples), é calculado admitindo um ano de 7700 horas.

$$t_{\text{retorno}} = \frac{\text{Custototal}_{\text{investimento}}}{\text{Ganhoenerg tico}} = \frac{1.246\text{é}}{0,18\frac{\text{é}}{h}} = 6922h$$

$$t_{\text{retorno}} = \frac{6922h}{7700\frac{h}{\text{ano}}} = 0,899\text{ano} \times \frac{12\text{meses}}{\text{ano}} \cong 11\text{meses}$$

Através dos resultados obtidos, pode-se verificar que se pode reduzir os gastos de gás da impregnação do produto PBB-13J. Essa redução, na ordem dos 5,37 kW, representa uma poupança de 0,18  /h. Considerando que o PBB-13J é um bom modelo da média dos consumos de gás natural, considerou-se um período de um ano. Admitindo essa base de cálculo, conclui-se que o retorno do investimento é de 11 meses.

Uma vez que o investimento não é elevado e que o tempo de retorno   de aproximadamente 11 meses, pode-se dizer que é bastante viável a aplicação deste investimento na unidade fabril.

#### 4.4. Aquecimento do ar de combustão através do aproveitamento dos gases de combustão e exaustão

A auditoria energética efectuada permitiu apurar que o caudal térmico do ar de combustão correspondia a 1,8% da potência total de entrada, como indica a figura 31 (capítulo 3). O ar de combustão possui um caudal térmico de 79 kW, uma vez que entra nas estufas a temperaturas compreendidas entre 25 e 36°C.

O caudal de ar de combustão é controlado por um sistema automático, que tem como objectivo minimizar as perdas de energia nos gases de combustão e exaustão, e ao mesmo tempo evitar que parte do gás deixe de queimar.

Pretende-se com este estudo, mostrar uma tecnologia que permita aumentar o caudal térmico do ar de combustão, aumentando apenas a sua temperatura.

##### 4.4.1. Análise Energética

O caudal térmico libertado pelos gases de combustão e exaustão para o exterior das estufas corresponde a 3333 kW. Este estudo baseia-se na permuta de calor entre os gases de combustão e exaustão com o ar de combustão de forma a aumentar a temperatura deste para valores da ordem dos 60°C, uma vez que é a temperatura máxima recomendada pelos ventiladores dos queimadores.

De acordo com a equação 20, a potência do ar de combustão passa a apresentar os valores da tabela 29, estando os caudais mássicos presentes na secção 2.1.1.2.

Tabela 29 – Caudais térmicos de ar seco do ar de combustão à temperatura de 60°C

| Estufa            | $\dot{m}_{ar\ seco}^{ar\ combust\ao}$<br>(kg/s) | $C_p$<br>(kJ/kgK) | $q$ (kW)     |
|-------------------|---|-------------------|--------------|
| 1                 | 0,304   | 1,009             | 18,4         |
| 2                 | 0,209   |                   | 12,7         |
| 3                 | 0,369   |                   | 22,3         |
| 4                 | 0,137   |                   | 8,3          |
| 5                 | 0,184   |                   | 11,1         |
| 6                 | 0,274   |                   | 16,6         |
| 7                 | 0,233   |                   | 14,1         |
| <b>TOTAL (kW)</b> |   |                   | <b>103,5</b> |

O caudal térmico da água foi calculado com base na equação 21 e os seus respectivos valores estão representados na tabela 30.

Tabela 30 – Caudais térmicos de água do ar de combustão   temperatura de 60 C

| Estufa            | $\dot{m}_{\text{água}}^{\text{ar combustão}}$<br>(kg/s) | $C_p$<br>(kJ/kgK) | $\lambda$<br>(kJ/kg) | $q$ (kW)    |
|-------------------|---|-------------------|----------------------|-------------|
| 1                 | 1,76E-03  |                   |                      | 4,6         |
| 2                 | 1,15E-03  |                   |                      | 3,0         |
| 3                 | 2,03E-03  |                   |                      | 5,3         |
| 4                 | 8,23E-04  | 1,85              | 2500                 | 2,1         |
| 5                 | 1,07E-03  |                   |                      | 2,8         |
| 6                 | 1,59E-03  |                   |                      | 4,2         |
| 7                 | 1,33E-03  |                   |                      | 3,5         |
| <b>TOTAL (kW)</b> |   |                   |                      | <b>25,5</b> |

A potência correspondente ao caudal térmico do ar de combustão   temperatura de 60 C passa a ser de 129 kW. Assim o caudal térmico de combustível calculado por diferenç a a partir da equação 30 passa a ser de 3825 kW, admitindo-se que os 4411 kW de potência total necessária para que ocorra a impregnação e que os caudais térmicos do ar de aquecimento, soluções e tecido verde se mantenham iguais aos da tabela 19.

#### 4.4.2. Análise Econ mica

A redução do caudal térmico de combustível na ordem dos 50 kW, traduz-se numa poupança de 1,65 /h. A figura 51 apresenta os gastos de combustível para as diferentes temperaturas do ar de combustão.

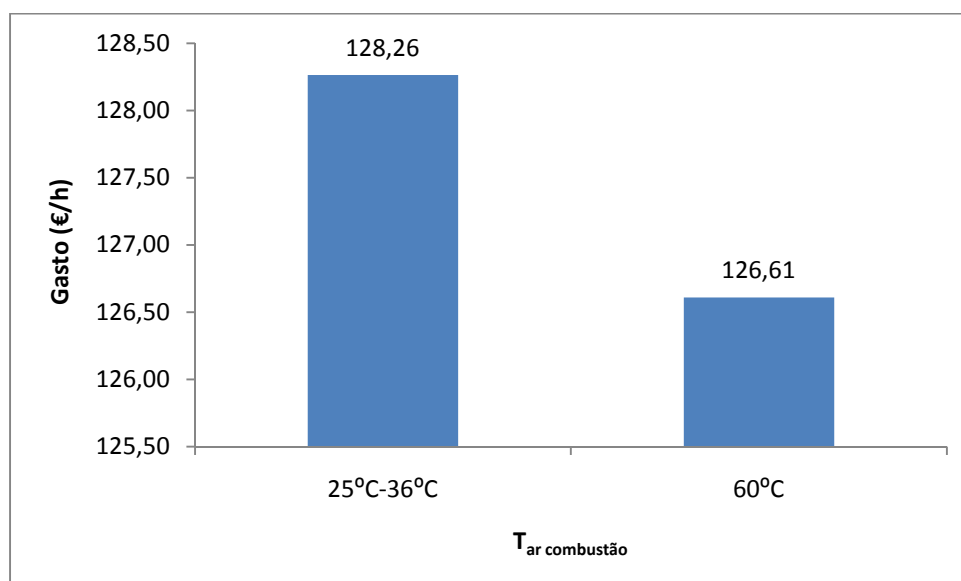


Figura 51 – Gastos de combustível para as diferentes temperaturas do ar de combustão

A hipótese estudada para reduzir 1,3% do consumo de gás passa pela instalação de duas unidades de permuta de calor, uma de ar-água e outra de água-ar, como indica a figura 52.

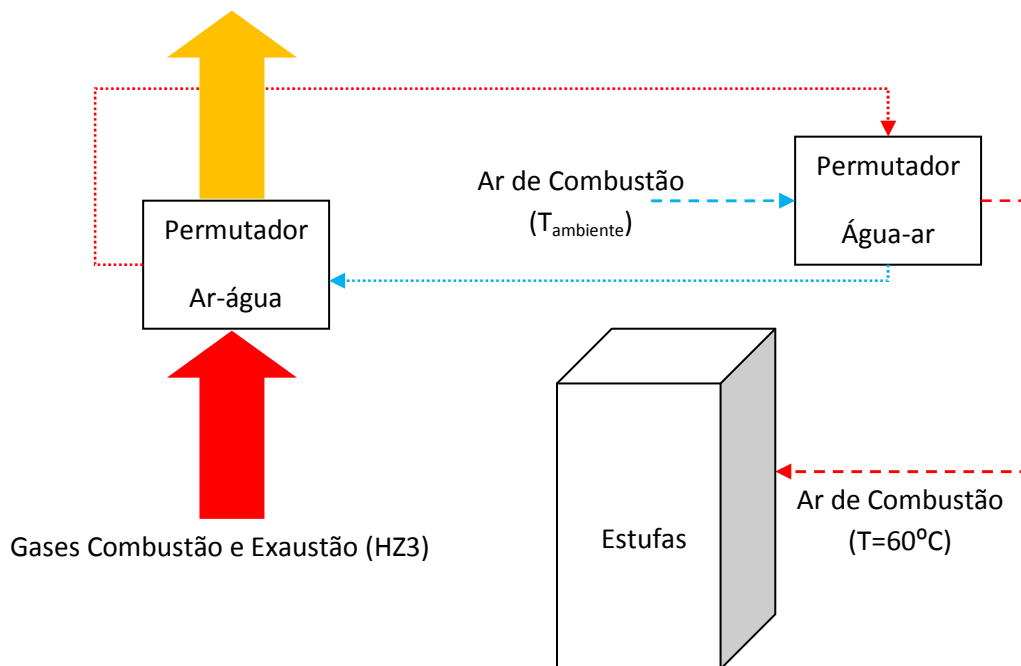


Figura 52 – Projecto de aplicação de duas unidades de permuta de calor

O permutador ar-água aproveita os 728 kW “secos” do caudal térmico dos gases de combustão e exaustão da estufa 3 (tabela 14) para aquecer 14 m<sup>3</sup>/h de água de 70°C até 75°C. Por sua vez, a água quente vai ser utilizada para aquecer 1,45 m<sup>3</sup>/s de ar de combustão (tabela 2) desde 25°C até 60°C através do permutador água-ar.

O permutador de calor ar-água, cuja ficha técnica se encontra no anexo D-D.4 é construído em aço inox AISI 316 e é constituído por uma conduta quadrada de 500x500 mm de espessura de 3 mm onde circulam os gases de combustão e exaustão. Esta secção quadrada é circundada por um tubo em meia cana 4”. O orçamento dado para o permutador pela empresa *Maia Vapor* é de 11.830€ e já estão incluídos os encargos inerentes á sua montagem.

O permutador de calor água-ar cuja ficha técnica se encontra no anexo D-D.5 é constituído por uma bateria de arrefecimento de água (permutador compacto), um filtro e o ventilador com transmissão regulável de 1,1 kW de potência eléctrica. Segundo a empresa *EVAC*, o custo desta unidade é de 3.178€, no entanto pode ser incluído como extra na unidade, um sistema completo de comando e controlo que custa 1.763€.

Neste projecto ainda se tem de incluir o custo dos 125 m de tubagens e a mão-de-obra que ronda os 910 .

A bomba escolhida para fazer circular a água quente foi a Grundfos-Magna D40-120F. O seu consumo eléctrico   0,5 kW e o seu preço   de 150 .

Somando todos os custos, o investimento ronda os 17.831  e os custos eléctricos rondam os 0,10 /h. Desta forma, a poupança líquida que se pode tirar por hora   de 1,55 /h.

Para o cálculo do retorno do investimento (*Payback* simples), foi considerado um tempo de impregnação do PBB-13J de 7700 horas, ou seja, o número de horas de um ano produtivo.

$$t_{\text{retorno}} = \frac{\text{Custo total investimento}}{\text{Ganho energético}} = \frac{17.831\text{é}}{1,55\frac{\text{é}}{\text{h}}} = 11504\text{h}$$

$$t_{\text{retorno}} = \frac{11504\text{h}}{7700\frac{\text{h}}{\text{ano}}} = 1,5\text{ ano} \times \frac{12\text{ meses}}{\text{ano}} \cong 18\text{ meses}$$

Através dos resultados obtidos, pode-se verificar que se pode reduzir o gasto de gás da impregnação do produto PBB-13J aumentando a temperatura do ar de combustão. Essa redução, na ordem dos 50 kW, representa uma poupança de 1,65  /h.

No entanto, nessa poupança   necessário subtrair o consumo dos motores eléctricos uma vez que o ventilador do módulo e da bomba rondam os 1,6 kW cujo custo é de 0,10 /h.

Relativamente à concretização do projecto de optimização,   necessário um investimento de 17.831 , e o seu período de retorno   de aproximadamente 18 meses.

Com base neste estudo, pode-se dizer que o tempo de retorno do investimento não é muito curto, mas no entanto pode ser aplicado numa indústria como a ITA uma vez que o retorno do investimento é inferior a 2 anos.

## 5. Conclusões e propostas para trabalhos futuros

A auditoria energética  Máquina de Impregnar Zell da secção de impregnao da fábrica ITA permitiu concluir que:

- A potência necessária para ocorrer uma impregnao  cerca de 4411 kW.
- A maior percentagem das potências de entrada é a do gás natural, que representa 87,8% da potência total. O seu custo energético é de 128,26 €/h.
- A potência do ar de aquecimento  cerca de 419 kW e corresponde a 9,5% da potência de entrada total. É um valor que pode ser variado, como as outras correntes de entrada devido a vários factores (principalmente a temperatura).
- Os gases de combustão e exaustão correspondem a 75,5% da energia resultante do processo da impregnao. O seu custo é de 110,31 €/h.
- A percentagem das perdas na globalidade  de 23,8%, o que representa 34,82 €/h.

Em que:

- O caudal térmico perdido pelas paredes das estufas por radiao e convecção correspondem a 5,04 €/h;
- As perdas processuais na totalidade correspondem a 14,46 €/h;
- Os restantes 15,33 €/h correspondem às perdas que são impossíveis de medir.

Relativamente à optimizao energética  secção de impregnao da fábrica, permitiu concluir que:

- A redução dos caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão permitem reduzir o consumo de gás natural em 4,83 €/h;
- O aumento da temperatura do ar de aquecimento para 35°C permite uma redução dos consumos de gás natural na ordem dos 7,07 €/h. Relativamente à concretização do projecto de optimização  necessário um investimento de 30.350€. O seu período de retorno  de aproximadamente 8 meses
- O aumento da temperatura da solução 1 para 30°C permite reduzir os consumos de gás natural em 0,18 €/h sendo necessário um investimento de 1.246€. O seu período de retorno  de aproximadamente 11 meses.
- O aumento da temperatura do ar de combustão para 60°C permite reduzir de forma líquida os consumos de energia na ordem dos 1,65 €/h. O projecto necessita de um investimento de 17.831€/h e o seu tempo de retorno  de aproximadamente 18 meses.

## 6. Bibliografia

- [1] Geankoplis, C.J., "Transport Processes and Unit Operations", Prentice-Hall International Editions, 3rd Edition, 1993;
- [2] Coulson, J.M., Richardson, J.F., "Tecnologia Química-Volume VI-Uma Introdução ao Projecto em Tecnologia Química", Fundação Caloust Gulbenkian, 2ª Edição, Lisboa, 1968
- [3] [http://www.maxxissp.com.br/html/themes/Zaja-X/sobrepneu/tire\\_sidewall-pt.gif](http://www.maxxissp.com.br/html/themes/Zaja-X/sobrepneu/tire_sidewall-pt.gif)  
(consultado a 16/06/2008)
- [4] <http://www.braziltires.com.br/tudosobrepneus/pneus.html> (consultado a 28/05/2008)
- [5] Goyanes S., Lopez C.C., Rubiolo G.H., Quasso F., Marzocca A.J., "Thermal properties in cured natural rubber/styrene butadiene rubber blends", European Polymer Journal, 44 (2008), 1525-1534.
- [6] <http://www.matweb.com> (01/06/2009)
- [7] Filipan V., Budin R., Mihelic-Bogdanic A., "The possibilities of energy saving in textile industry", Magic world of textiles, book of proceeding, 2002, 682-687.
- [8] Incropera, F.P., DeWitt, D. P., "Transferência de calor e massa", LTC Editora, 5ª edição, 2002.
- [9] Holman, J. P. "Transferência de calor", McGraw-Hill, S.Paulo, 1983.

# ANEXOS

## Anexo A. Dados fornecidos pela empresa

Os valores da produção de artigos impregnados aqui mencionados foram fornecidos pela empresa.

Os valores referentes à produção mensal dos artigos mais representativos a nível produtivo de Setembro de 2008 a Março de 2009 encontram-se na tabela A.1. Na tabela A.2 encontram-se os valores referentes à produção mensal.

Tabela A.1 – Produção mássica dos artigos mais impregnados desde Setembro de 2008 até Março de 2009

| <b>ARTIGO</b>           | <b>Produção<br/>(kg)</b> | <b>Produção/<br/>Total</b> |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| NCA-60T 6<br>Picks      | 304 453                  | 4,84%                      |
| NDA-01U                 | 101 573                  | 1,62%                      |
| NCH00W                  | 306 998                  | 4,88%                      |
| NCH02W (6P)             | 234 615                  | 3,73%                      |
| PBB09P                  | 424 947                  | 6,76%                      |
| PBB30P                  | 287 186                  | 4,57%                      |
| PBB13J                  | 784 066                  | 12,47%                     |
| PBB-09J                 | 126 172                  | 2,01%                      |
| PDB12D(S)               | 146 721                  | 2,33%                      |
| PDB08D                  | 550 121                  | 8,75%                      |
| PEA-70T                 | 324 340                  | 5,16%                      |
| RHB-13T<br>(Textilcord) | 145 904                  | 2,32%                      |
| N58<br>(1400x4x3)       | 27 023                   | 0,43%                      |
| NRI-96T 6<br>Picks      | 49 737                   | 0,79%                      |
| NRI-96T                 | 10 707                   | 0,17%                      |
| NDA-01Y                 | 150 478                  | 2,39%                      |
| NE-61T                  | 10 206                   | 0,16%                      |
| PBB03F                  | 240 539                  | 3,83%                      |
| PBB18J                  | 110 381                  | 1,76%                      |
| PFB00F                  | 10 862                   | 0,17%                      |
| PEB-00B                 | 71 335                   | 1,13%                      |
| RBA02D                  | 265 334                  | 4,22%                      |
| EP-250K 1,40            | 24 509                   | 0,39%                      |

Tabela A.2 – Produção mássica total dos produtos impregnados

| <b>Mês</b>               | <b>Setembro<br/>2008</b> | <b>Outubro<br/>2008</b> | <b>Novembro<br/>2008</b> | <b>Dezembro<br/>2008</b> | <b>Janeiro<br/>2009</b> | <b>Fevereiro<br/>2009</b> | <b>Março<br/>2009</b> |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>Produção<br/>(kg)</b> | 935.803                  | 1.173.855               | 1.092.128                | 556.970                  | 724.039                 | 771.974                   | 1.031.991             |

## Anexo B. Propriedades físicas <sup>[1]</sup>

### B.1. Propriedades físicas do ar

Os valores aqui presentes foram retirados da referência bibliográfica <sup>[1]</sup>. As capacidades caloríficas aqui presentes são à temperatura de referência, ou seja, a 0°C. Para cálculos em que foi necessário saber qual a massa volúmica a temperaturas entre 121,1°C e 260,0°C recorreu-se ao ajuste da figura B.1.1.

Tabela B.1.1 – Valores das massas volúmicas e valores das capacidades caloríficas do ar

| T (°C) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Cp (kJ/kg.K) |
|--------|-----------------------------|--------------|
| -17,8  | 1,379                       | 1,0048       |
| 0      | 1,293                       | 1,0048       |
| 10,0   | 1,246                       | 1,0048       |
| 37,8   | 1,137                       | 1,0048       |
| 65,6   | 1,043                       | 1,0090       |
| 93,3   | 0,964                       | 1,0090       |
| 121,1  | 0,895                       | 1,0132       |
| 148,9  | 0,838                       | 1,0174       |
| 176,7  | 0,785                       | 1,0216       |
| 204,4  | 0,740                       | 1,0258       |
| 232,2  | 0,700                       | 1,0300       |
| 260,0  | 0,662                       | 1,0341       |

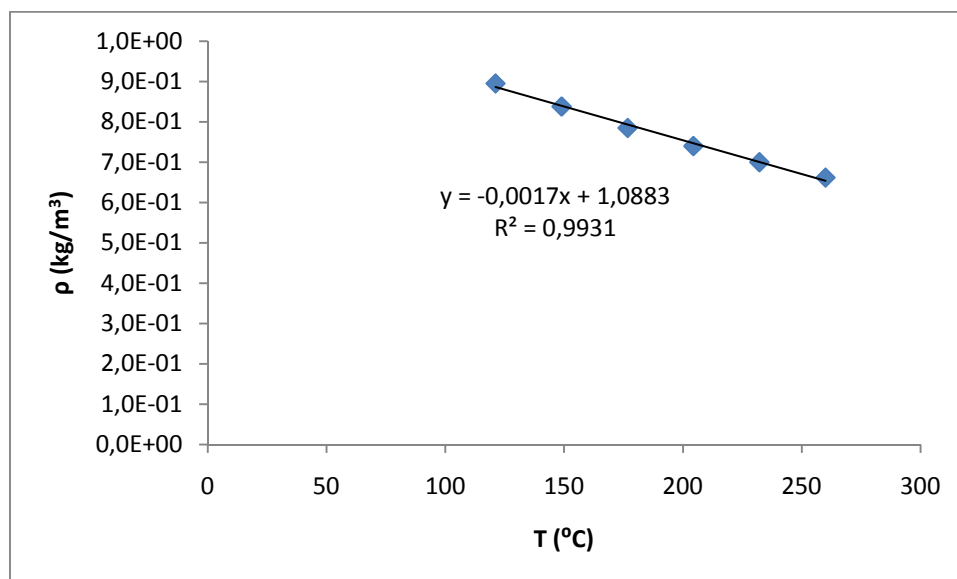


Figura B.1.1 – Curva dos valores de massa volúmica do ar para temperaturas elevadas e respectiva equação

Para determinar os valores da capacidade calorífica para temperaturas compreendidas entre 121,1 C e 260,0 C recorreu-se ao ajuste da figura B.1.2.

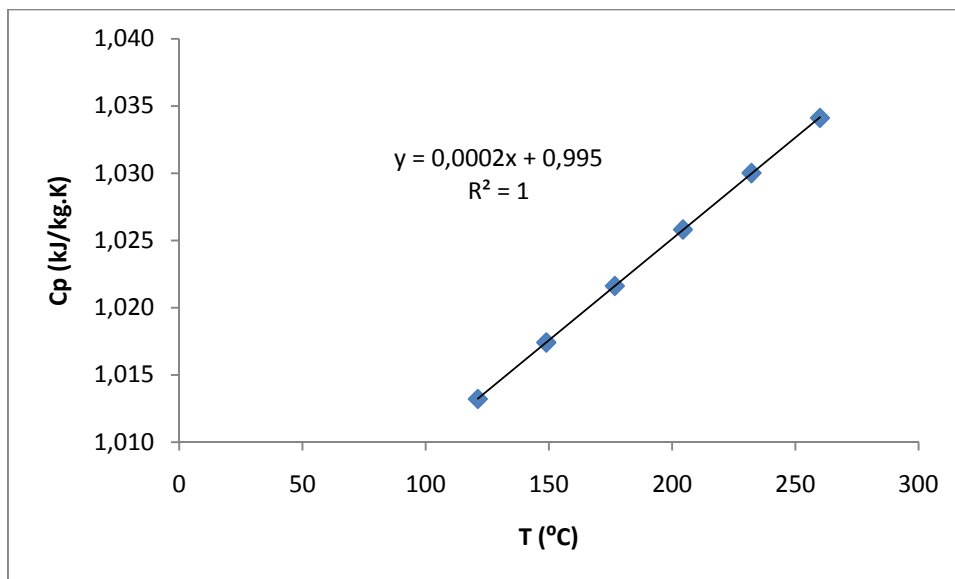


Figura B.1.2 – Curva dos valores da capacidade calorífica do ar para temperaturas elevadas e respectiva equa o

Para temperaturas entre -17,8 C e 37,8 C a massa volúmica do ar é obtida através da curva de calibra o da figura B.1.3.

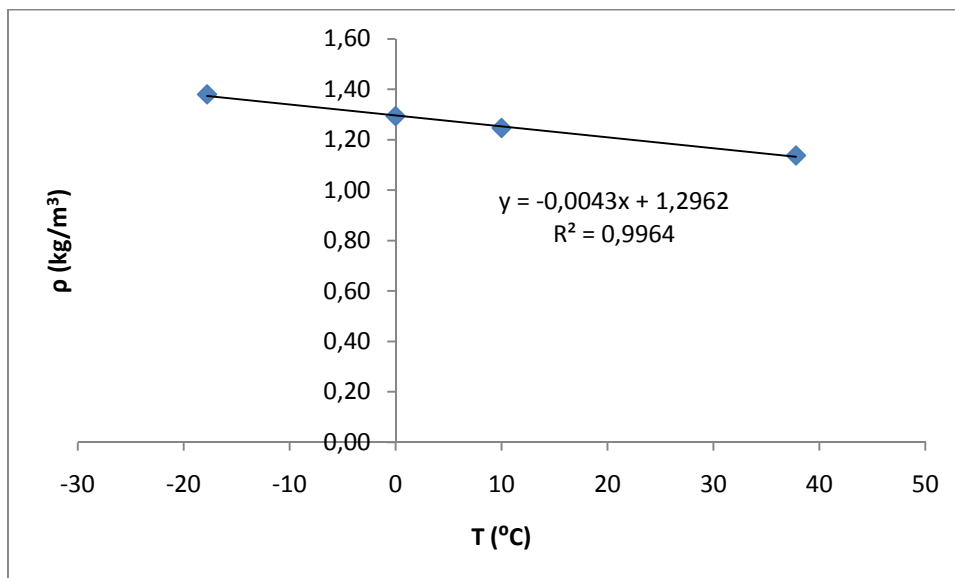


Figura B.1.3 – Curva dos valores de massa volúmica do ar para temperaturas baixas e respectiva equa o

Para o mesmo intervalo de temperaturas entre -17,8 C e 37,8 C a capacidade calorífica do ar é sempre a mesma, como se pode ver na tabela B.1.1, que é 1,0048 kJ/(kg.K).

## B.2. Propriedades físicas dos gases de combustão e exaustão

Os valores aqui presentes na tabela B.2 foram retirados da referência bibliografia <sup>[1]</sup> e contribuíram para a determinação das capacidades caloríficas dos gases de combustão e exaustão. Na curva B.3, encontram-se os ajustes para a determinação das capacidades caloríficas dos diversos constituintes dos gases de combustão e exaustão entre as temperaturas 93,3°C e 260,0°C.

Tabela B.2 – Valores das capacidades caloríficas dos gases de combustão e exaustão <sup>[1]</sup>

| Cp (kJ/kg.K) |                |                |                |       |                 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-------|-----------------|
| T (°C)       | H <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CO    | CO <sub>2</sub> |
| -17,8        | 14,07          | 0,909          | 1,034          | 1,034 | 0,800           |
| 0            | 14,19          | 0,913          | 1,038          | 1,038 | 0,816           |
| 10           | 14,19          | 0,917          | 1,038          | 1,038 | 0,825           |
| 37,8         | 14,32          | 0,921          | 1,038          | 1,043 | 0,854           |
| 65,6         | 14,36          | 0,925          | 1,038          | 1,043 | 0,883           |
| 93,3         | 14,4           | 0,929          | 1,043          | 1,047 | 0,904           |
| 121,1        | 14,44          | 0,938          | 1,043          | 1,047 | 0,929           |
| 148,9        | 14,49          | 0,946          | 1,047          | 1,051 | 0,950           |
| 176,7        | 14,49          | 0,955          | 1,047          | 1,055 | 0,976           |
| 204,4        | 14,49          | 0,963          | 1,051          | 1,059 | 0,996           |
| 232,2        | 14,52          | 0,971          | 1,055          | 1,063 | 1,010           |
| 260          | 14,52          | 0,976          | 1,059          | 1,068 | 1,030           |

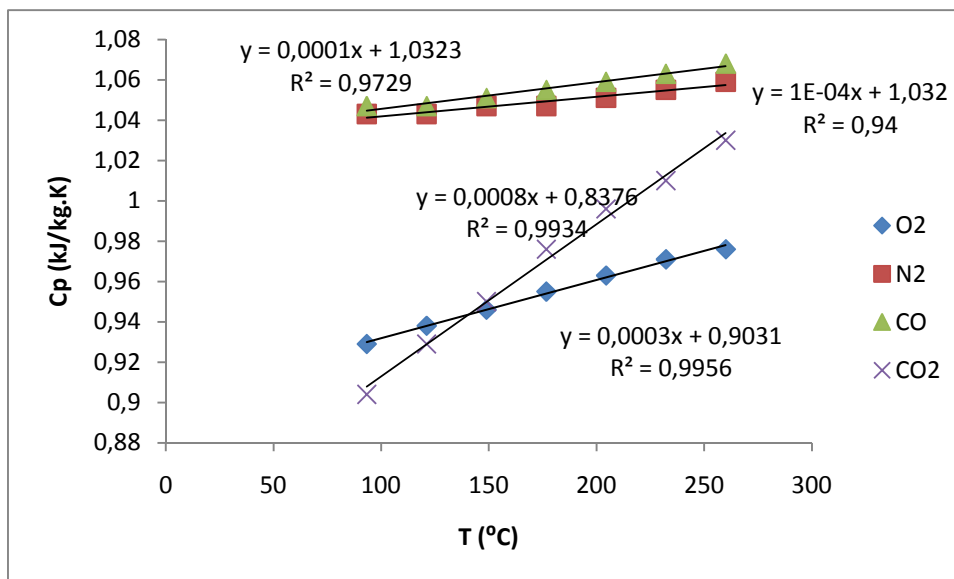


Figura B.2 – Curvas dos valores da capacidade calorífica dos gases de exaustão e combustão para temperaturas baixas e respectivas equações

B.3. Carta Psicométrica

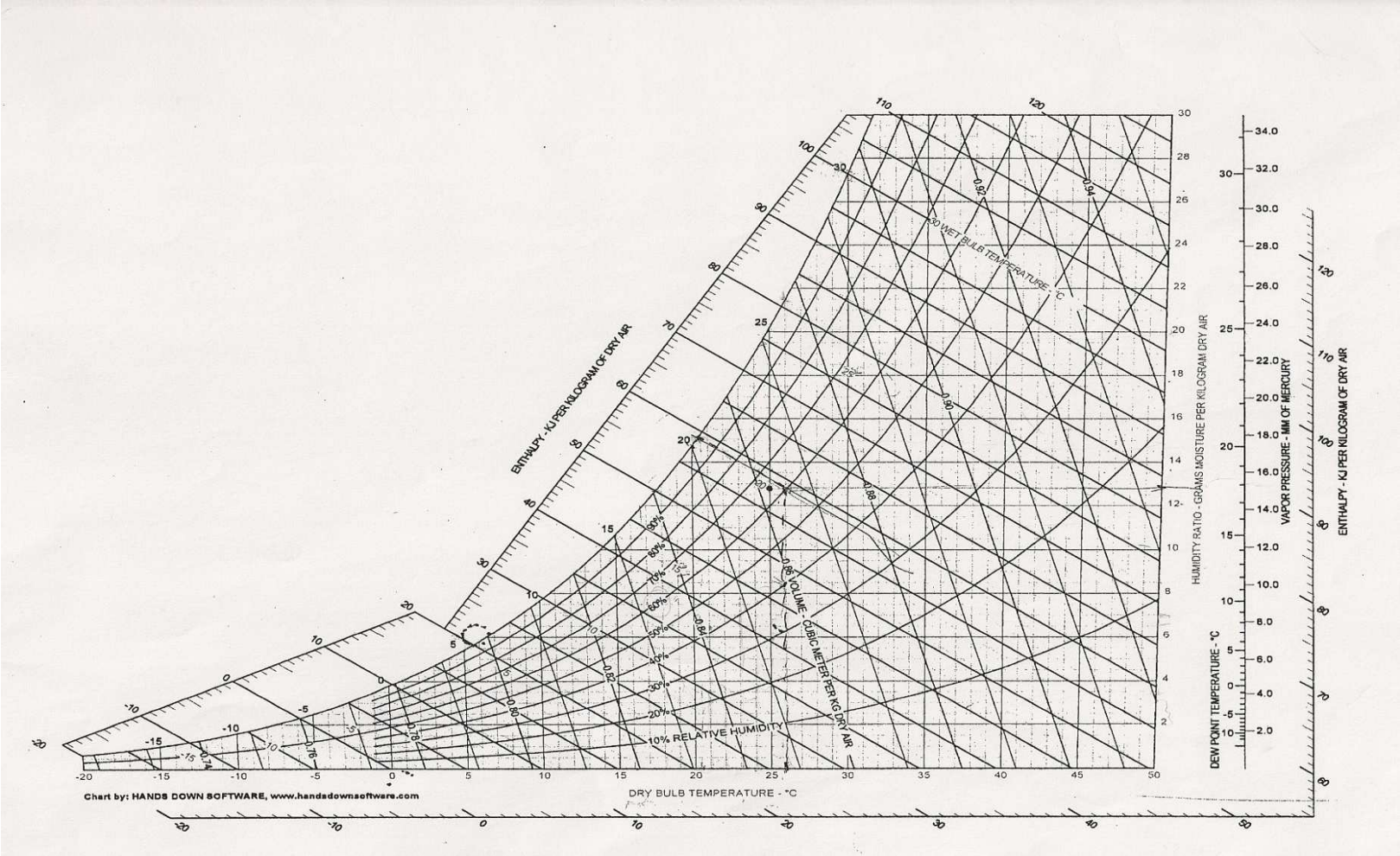


Figura B.3 – Carta psicométrica

#### B.4. Parâmetros do gás natural

As informações que se seguem foram fornecidas pela Rede Energética Nacional (REN).

##### Composição e características

Duas composições médias são fornecidas apenas como informação de suporte para eventuais cálculos.

a)

| Componentes                           | mol %  |
|---------------------------------------|--------|
| Metano                                | 87,885 |
| Etano                                 | 8,056  |
| Propano                               | 1,378  |
| i-Butano                              | 0,108  |
| n-Butano                              | 0,158  |
| i-Pentano                             | 0,022  |
| n-Pentano                             | 0,018  |
| n-Hexano                              | 0,020  |
| Azoto (Nitrogénio)                    | 1,088  |
| Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) | 1,266  |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| Peso Molecular (kg/kmol)          | 18,192 |
| Densidade (kg/m <sup>3</sup> (n)) | 0,8141 |
| Densidade Relativa                | 0,6297 |

|   | kWh/m <sup>3</sup> (n) |
|---|------------------------|
| Poder Calorífico Superior [25 °C; (0°C; 1,01325 | 11.80                  |
| Poder Calorífico Inferior [25 °C; (0°C; 1,01325 | 10.66                  |
| Índice de Wobbe                                 | 14.87                  |

b)

| Componentes                           | mol %  |
|---------------------------------------|--------|
| Metano                                | 92,215 |
| Etano                                 | 4,841  |
| Propano                               | 2,111  |
| i-Butano                              | 0,360  |
| n-Butano                              | 0,381  |
| i-Pentano                             | 0,018  |
| n-Pentano                             | 0,003  |
| n-Hexano                              | 0,000  |
| Azoto (Nitrogénio)                    | 0,071  |
| Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) | 0,000  |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| Peso Molecular (kg/kmol)          | 17,646 |
| Densidade (kg/m <sup>3</sup> (n)) | 0,7897 |
| Densidade Relativa                | 0,6107 |

|   |                        |
|---|------------------------|
|   | kWh/m <sup>3</sup> (n) |
| Poder Calorífico Superior [25  C; (0 C; 1,01325 | 11.73                  |
| Poder Calorífico Inferior [25  C; (0 C; 1,01325 | 11.85                  |
|  ndice de Wobbe                                 | 15.36                  |

Nota: As presentes propriedades físicas foram calculadas de acordo com a ISO 6976:1995 (E). Second edition 95.12.01. Corrected and reprinted 96.02.01. Natural gas - Calculation of calorific value, density, relative density and Wobbe index from composition.

### Condições de Referência

Os parâmetros e condições de referência usadas na SNGN - Sistema Nacional de Gás Natural estão de acordo com o referenciado no EASEE-gas, CBP 2003-001/01 e o regulamentado pela ERSE (RQS - Regulamento da Qualidade de Serviço).

- Temperatura de combustão: 25  C.
- Condições de medição: 0  C and 1,01325 bar(a).

### Capacidade calorífica

| Pressão [bar(a)]  | (kJ/(kmol.K)) | (kJ/(kg.K)) | (kJ/(kmol.K)) | (kJ/(kg.K)) |
|-------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| Condições normais | 36,76         | 2,02        | 36,81         | 2,09        |

As presentes propriedades foram calculadas de acordo com a equação de estado Peng-Robinson, considerando uma temperatura média do gás de processo de 15  C (288,15 K).

### Teor de água do Gás Natural

|           |                | Minimum | Maximum |
|-----------|----------------|---------|---------|
| Dew Point |  C @ 84 bar(g) |         | < - 5   |

Conteúdo de H<sub>2</sub>O equivalente (max): 88 ppm(v)/NG.

### B.5. Capacidade calorífica específica das soluções

As soluções são misturas de vários componentes. Como tal, as capacidades caloríficas das soluções são calculadas de acordo com a média mássica das capacidades caloríficas dos componentes.

A capacidade calorífica da solução foi determinada a partir da equação abaixo

$$C_{p_{solução1}} = (0,977 \times 4,18) + (0,0240 \times 1,21) = 4,11 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

A capacidade calorífica do butadieno-estireno foi determinada de acordo com o gráfico da figura B.4.

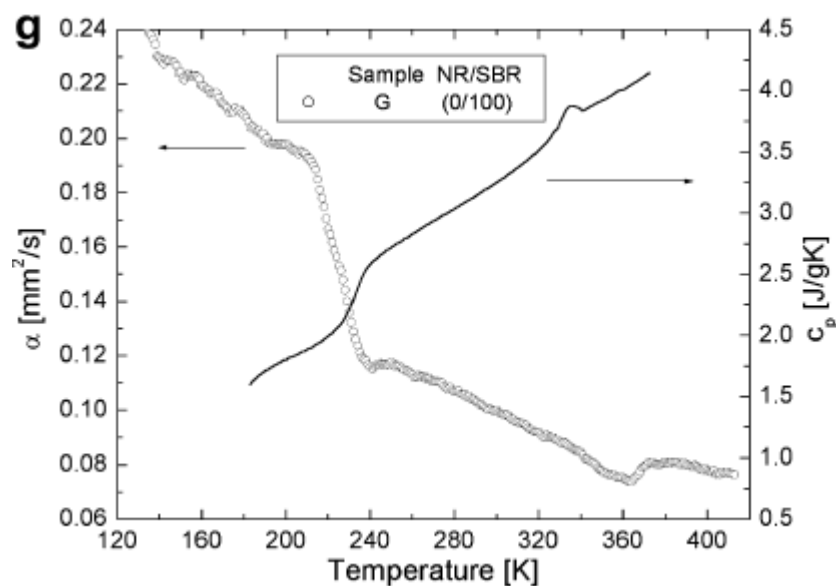


Figura B.4 – Capacidade calorífica do butadieno-estireno <sup>[5]</sup>

As capacidades caloríficas dos componentes (excepto água) foram tiradas da referência <sup>[6]</sup>.

A capacidade calorífica da solução 2 foi calculada a partir da equação

$$C_{p_{solução2}} = (0,709 \times 4,18) + (0,246 \times 3,0) + (0,003 \times 2,19) = 3,71 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

## Anexo C. Cálculos auxiliares

### C.1. Ar de Combustão

####  reas de sec o recta dos ventiladores dos queimadores

Para medir o diâmetro do ventilador, o lado dos quadrados livres e a espessura da rede recorreu-se a uma craveira (resolu o 0,01mm; *Mitutoyo, Japão*)

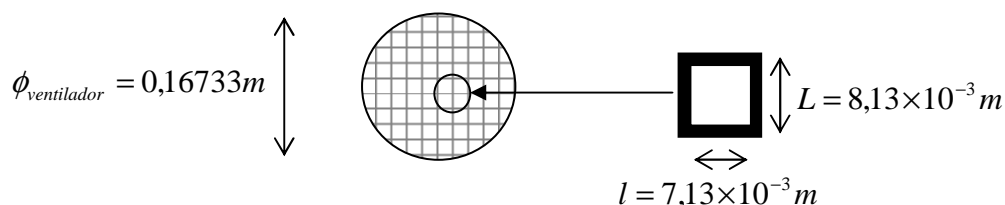


Figura C.1.1-Esquema de um dos ventiladores dos queimadores da 1<sup>a</sup> estufa

$$A_{livre} = n^{\circ} \text{ quadrados} \times l^2$$

$$n^{\circ} \text{ quadrados} = \frac{\pi \times \left( \frac{\phi_{ventilador}}{2} \right)^2}{(l + 5 \times 10^{-4})^2} = \frac{\pi \times \left( \frac{0,16733}{2} \right)^2}{(7,13 \times 10^{-3} + 5 \times 10^{-4})^2} = \frac{0,022}{5,82 \times 10^{-5}} \cong 378 \text{ quadrados}$$

$$A_{livre} = 378 \times (7,13 \times 10^{-3})^2 = 0,0192 m^2$$

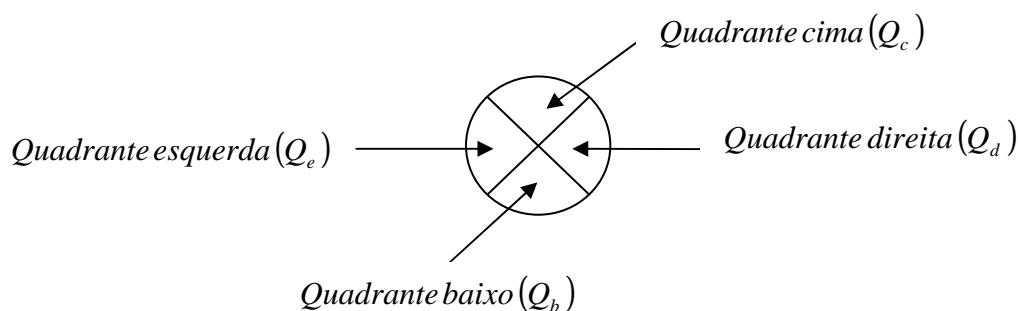


Figura C.1.2-Esquema dos ventiladores dos queimadores das estufas 2 a 7.

## Velocidades de ar nos ventiladores dos queimadores

Tabela C.1.1-Velocidades do ar dos ventiladores dos queimadores da 1ª estufa

| Queimador | 1    | 2    |
|-----------|------|------|
| v (m/s)   | 7,64 | 5,79 |

Tabela C.1.2-Velocidades do ar dos ventiladores dos queimadores das 2ª,3ª,4ª,5ª,6ª e 7ª estufa

| Estufa                   | 2    | 3     | 4    | 5    | 6    | 7    |
|--------------------------|------|-------|------|------|------|------|
| v <sub>Qc</sub> (m/s)    | 3,42 | 6,16  | 3,52 | 2,87 | 8,99 | 9,39 |
| v <sub>Qb</sub> (m/s)    | 4,35 | 13,33 | 2,66 | 4,64 | 10,2 | 6,37 |
| v <sub>Qd</sub> (m/s)    | 9,15 | 12,25 | 4,53 | 9,79 | 4,44 | 5,87 |
| v <sub>Qe</sub> (m/s)    | 4,55 | 6,06  | 3,51 | 1,5  | 4,62 | 2,39 |
| v <sub>média</sub> (m/s) | 5,37 | 9,45  | 3,56 | 4,70 | 7,06 | 6,01 |

## C.2. Gases de combustão e exaustão

### Temperatura dos gases de combustão e exaustão

A temperatura dos gases de combustão e exaustão foi determinada com o auxílio de uma PT100 ligada a um multímetro (resolução 0,0001Ω; *Fluke 8060 true rms, U.S.A.*). O valor das temperaturas foi determinado pelo método iterativo com o auxílio de uma tabela (Anexo D)

Tabela C.2.1 – Valores das temperaturas dos gases de combustão e exaustão das estufas

| Estufa | R1 (Ω) | R2 (Ω) | R (Ω)  | T <sub>gases</sub> (°C) |
|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
| 1      | 0,1557 | 0,0019 | 0,1538 | 141,1                   |
| 2      | 0,1645 | 0,0027 | 0,1618 | 162,3                   |
| 3      | 0,1838 | 0,0024 | 0,1814 | 214,5                   |
| 4      | 0,1903 | 0,0024 | 0,1879 | 233,4                   |
| 5      | 0,154  | 0,0025 | 0,1515 | 135,0                   |
| 6      | 0,1878 | 0,0025 | 0,1853 | 226,2                   |
| 7      | 0,1891 | 0,0024 | 0,1867 | 229,0                   |

### Composição dos gases de combustão e exaustão

Tabela C.2.2 – Valores da análise feita aos gases de combustão e exaustão no dia 19/05/2009

| Componente                           | Estufa 1 | Estufa 2 | Estufa 3 | Estufa 4 | Estufa 5 | Estufa 6 | Estufa 7 |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| O <sub>2</sub> (%)                   | 18,9     | 18,9     | 18,9     | 18,9     | 19,1     | 18,8     | 18,7     |
| CO <sub>2</sub> (%)                  | 1,24     | 1,21E+00 | 1,21E+00 | 1,20E+00 | 1,13E+00 | 1,28E+00 | 1,32E+00 |
| CO (kg/m <sup>3</sup> )              | 1,00E-06 | 5,00E-07 | 1,68E-06 | 1,00E-07 | 0,00E+00 | 2,67E-06 | 4,00E-07 |
| NO (kg/m <sup>3</sup> )              | 4,00E-06 | 2,88E-06 | 9,00E-06 | 6,70E-06 | 9,60E-06 | 6,67E-06 | 1,26E-05 |
| NO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | 5,60E-06 | 3,55E-06 | 2,15E-06 | 5,00E-07 | 6,00E-07 | 1,00E-06 | 0,00E+00 |
| NO <sub>x</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | 1,20E-05 | 8,05E-06 | 1,48E-05 | 1,09E-05 | 1,52E-05 | 1,13E-05 | 1,92E-05 |
| SO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | 0        | 7,50E-07 | 1,10E-06 | 6,00E-07 | 8,00E-07 | 7,33E-07 | 1,80E-06 |

Tabela C.2.3 – Valores dos caudais molares calculados a partir do volume específico e da massa molar

| Componente               | Estufa 1 | Estufa 2 | Estufa 3 | Estufa 4 | Estufa 5 | Estufa 6 | Estufa 7 |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Q (kmol/s)               | 0,0294   | 0,0280   | 0,0250   | 0,0240   | 0,0299   | 0,0244   | 0,0243   |
| O <sub>2</sub> (kmol/s)  | 0,0056   | 0,0053   | 0,0047   | 0,0045   | 0,0057   | 0,0046   | 0,0045   |
| CO <sub>2</sub> (kmol/s) | 3,65E-04 | 3,39E-04 | 3,02E-04 | 2,89E-04 | 3,36E-04 | 3,13E-04 | 3,19E-04 |
| CO (kmol/s)              | 3,57E-08 | 1,79E-08 | 5,98E-08 | 3,57E-09 | 0,00E+00 | 9,52E-08 | 1,43E-08 |
| NO (kmol/s)              | 1,33E-07 | 9,58E-08 | 3,00E-07 | 2,23E-07 | 3,20E-07 | 2,22E-07 | 4,20E-07 |
| NO <sub>2</sub> (kmol/s) | 2,58E-04 | 1,63E-04 | 9,89E-05 | 2,30E-05 | 2,76E-05 | 4,60E-05 | 0,00E+00 |
| NO <sub>x</sub> (kmol/s) | 4,00E-07 | 2,68E-07 | 4,93E-07 | 3,62E-07 | 5,07E-07 | 3,78E-07 | 6,40E-07 |
| SO <sub>2</sub> (kmol/s) | 0        | 1,17E-08 | 1,72E-08 | 9,38E-09 | 1,25E-08 | 1,15E-08 | 2,81E-08 |

Exemplo de cálculo para O<sub>2</sub> analisado na chaminé da estufa 1:

Considerando que a fracção molar é igual à volumétrica, o caudal molar de O<sub>2</sub> é:

$$0,189 \times Q = 0,189Q \frac{m^3}{s}$$

Sabendo o volume específico, determina-se o caudal molar que é:

$$\dot{n}_{O_2} = 0,189Q \frac{m^3}{s} \times \frac{1 kmol}{33,998 m^3} = 0,0056Q \frac{kmol}{s}$$

Exemplo de calculo para CO analisado na chaminé da estufa 1:

O caudal mássico é calculado da seguinte maneira:

$$\dot{m}_{CO} = Q \times C = 1,00 \times 10^{-6} Q \frac{kg}{s}$$

Sabendo a massa molar, determina-se o caudal molar da seguinte forma:

$$\dot{n}_{CO} = 1,00 \times 10^{-6} Q \frac{kg}{s} \times \frac{1 kmol}{28 kg} = 3,57 \times 10^{-8} Q \frac{kmol}{s}$$

Tabela C.2.4 – Valores molares do azoto

| Componente                     | Estufa 1 | Estufa 2 | Estufa 3 | Estufa 4 | Estufa 5 | Estufa 6 | Estufa 7 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>N<sub>2</sub> (kmol/s)</b>  | 0,0232   | 0,0222   | 0,0199   | 0,0192   | 0,0238   | 0,0195   | 0,0194   |
| <b>% N<sub>2</sub> (molar)</b> | 79,0%    | 79,3%    | 79,5%    | 79,8%    | 79,7%    | 79,7%    | 80,0%    |
| <b>Soma (kmol/s)</b>           | 0,0294   | 0,0280   | 0,0250   | 0,0240   | 0,0299   | 0,0244   | 0,0243   |

O azoto foi calculado por diferença (exemplo de calculo para HZ1):

$$\dot{n}_{N_2} = \frac{Q}{33,998} - Q \times (0,0056 + 0,000365 + 3,57 \times 10^{-8} + 1,33 \times 10^{-7} + 2,58 \times 10^{-4} + 4,00 \times 10^{-7})$$

$$\dot{n}_{N_2} = Q \times (0,0294 - 0,0062) = 0,0232Q \frac{kmol}{s}$$

A percentagem molar é calculada da seguinte maneira

$$\%_{N_2} = \frac{0,0232}{0,0294} = 79\%$$

Tabela C.2.5 – Valores dos caudais mássicos calculados a partir da massa molar

| Componente             | Estufa 1 | Estufa 2 | Estufa 3 | Estufa 4 | Estufa 5 | Estufa 6 | Estufa 7     |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| O <sub>2</sub> (kg/s)  | 0,178    | 0,169    | 0,151    | 0,146    | 0,182    | 0,147    | 0,146        |
| CO <sub>2</sub> (kg/s) | 0,0160   | 0,0149   | 0,0133   | 0,0127   | 0,0148   | 0,0138   | 0,0140       |
| CO (kg/s)              | 1,00E-06 | 5,00E-07 | 1,68E-06 | 1,00E-07 | 0        | 2,67E-06 | 4,00E-07     |
| NO (kg/s)              | 1,20E-04 | 8,63E-05 | 2,70E-04 | 2,01E-04 | 2,88E-04 | 2,00E-04 | 3,78E-04     |
| NO <sub>2</sub> (kg/s) | 1,18E-02 | 7,51E-03 | 4,55E-03 | 1,06E-03 | 1,27E-03 | 2,12E-03 | 0,00E+0<br>0 |
| NO <sub>x</sub> (kg/s) | 1,20E-05 | 8,05E-06 | 1,48E-05 | 1,09E-05 | 1,52E-05 | 1,13E-05 | 1,92E-05     |
| SO <sub>2</sub> (kg/s) | 0        | 7,5E-07  | 1,1E-06  | 6E-07    | 8E-07    | 7,33E-07 | 1,8E-06      |
| N <sub>2</sub> (kg/s)  | 0,651    | 0,621    | 0,556    | 0,537    | 0,666    | 0,545    | 0,54         |
| Soma (kg/s)            | 0,856    | 0,813    | 0,725    | 0,697    | 0,865    | 0,708    | 0,703        |

Tabela C.2.6 – Valores das massas molares calculadas a partir da equa o 9

| Componente      | Estufa 1 | Estufa 2 | Estufa 3 | Estufa 4 | Estufa 5 | Estufa 6 | Estufa 7 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| MM<br>(kg/kmol) | 29,12    | 29,06    | 29,03    | 28,97    | 28,97    | 29,0     | 28,97    |

Exemplo de calculo para HZ1:

$$MM_{\text{gases combustão exaustão}} = \frac{\sum_{\text{componentes}} \dot{m}}{\dot{n}_{\text{Total}}} = \frac{0,8564 \text{ Q kg}}{0,0294 \text{ Q kmol}} = 29,12 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

### Massa volúmica dos gases de combustão e exaustão

Tabela C.2.7 – Valores das massas volúmicas calculadas a partir da equa o 10

| Componente                  | Estufa 1 | Estufa 2 | Estufa 3 | Estufa 4 | Estufa 5 | Estufa 6 | Estufa 7 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 0,857    | 0,814    | 0,726    | 0,697    | 0,865    | 0,708    | 0,703    |

### Velocidade dos gases de combustão e exaustão

A média das quedas de pressão medidas pelo tubo de Pitot teve em conta as áreas de secção recta das condutas de exaustão. A figura C.2 é um exemplo representativo.

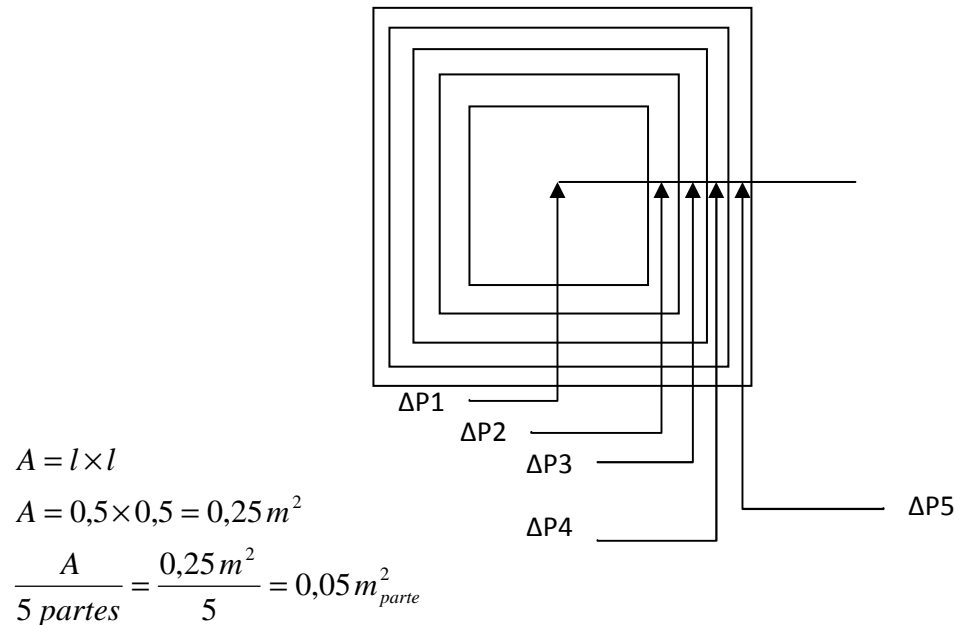


Figura C.2 – Esquema representativo das medidas efectuadas com o tubo de Pitot

$$A_4 = 0,25 - 0,05 = 0,20 \text{ m}^2 \Rightarrow l_4 = \sqrt{0,20} = 0,447 \text{ m}$$

$$A_3 = 0,20 - 0,05 = 0,15 \text{ m}^2 \Rightarrow l_3 = \sqrt{0,15} = 0,387 \text{ m}$$

$$A_2 = 0,15 - 0,05 = 0,10 \text{ m}^2 \Rightarrow l_2 = \sqrt{0,10} = 0,316 \text{ m}$$

$$A_1 = 0,10 - 0,05 = 0,05 \text{ m}^2 \Rightarrow l_1 = \sqrt{0,05} = 0,224 \text{ m}$$

Tabela C.2.8 – Quedas de pressão medidas pelo tubo de Pitot

| Estufa | % Exaustão | ΔP 1 (Pa) | ΔP 2 (Pa) | ΔP 3 (Pa) | ΔP 4 (Pa) | ΔP 5 (Pa) | ΔP <sub>médio</sub> (Pa) |
|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| 1      | 10         | 5,5       | 6,5       | 7,5       | 6,5       | 6,5       | 6,5                      |
| 2      | 32         | 20        | 21        | 20        | 17        | 14        | 18,4                     |
| 3      | 100        | 115       | 127       | 128       | 115       | 117       | 120,4                    |
| 4      | 20         | 4         | 5         | 6         | 5         | 4         | 4,8                      |
| 5      | 32         | 16        | 17        | 18        | 16        | 20        | 17,4                     |
| 6      | 40         | 25        | 26        | 27        | 29        | 30        | 27,4                     |
| 7      | 10         | 6,5       | 11,5      | 9         | 7         | 6,5       | 8,1                      |

Tabela C.2.9 – Caudais mássicos dos gases de combustão e exaustão

| Estufa | T <sub>gás</sub> ( C) | ρ <sub>gás</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | A <sub>secção</sub> (m <sup>2</sup> ) | v <sub>gás</sub> (m/s) | $\dot{m}_{\text{gases combustão exaustão}}$<br>(kg/s) |
|--------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---|
| 1      | 141,1                 | 0,857                                 | 0,79                                  | 3,90                   | 2,64  |
| 2      | 162,3                 | 0,814                                 | 0,16                                  | 6,73                   | 0,875   |
| 3      | 214,5                 | 0,726                                 | 0,25                                  | 18,21                  | 3,31  |
| 4      | 233,4                 | 0,697                                 | 0,25                                  | 3,71                   | 0,647   |
| 5      | 135,0                 | 0,865                                 | 0,25                                  | 6,34                   | 1,37  |
| 6      | 226,2                 | 0,708                                 | 0,25                                  | 8,80                   | 1,56  |
| 7      | 229,0                 | 0,703                                 | 0,25                                  | 4,80                   | 0,844   |

Exemplo de cáculo para HZ1:

A velocidade é calculada com base na equa o 6

$$v = \sqrt{\frac{2 \times P_{\text{dinâmica}}}{\rho_{\text{Gás}}}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,5}{0,856}} = 3,895 \text{ m/s}$$

Seguidamente aplica-se a equa o 2 e depois a 3.

###  gua dos gases de combustão e exaustão

Uma vez que não se sabe a composi o de água em cada uma das chaminés, foi calculada a água total que sai em todo o processo, ou seja, a água que sai nas três chaminés. Para o cáculo do calor da água, foi considerada uma temperatura média tendo em conta as massas dos gases de exaustão e combustão de cada uma das estufas.

$$\bar{T} = \frac{\sum_{\text{estufas}} (\dot{m} \times T_{\text{estufas}})}{\sum_{\text{estufas}} \dot{m}}$$

Tabela C.2.10 – Calor da água dos gases de combustão e exaustão

|                              | HZ1   | HZ2   | HZ3   | HZ4   | HZ5    | HZ6   | HZ7   |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| <b>T (°C)</b>                | 141,1 | 162,3 | 214,5 | 233,4 | 135,0  | 226,2 | 229,0 |
| <b>m/mtotal</b>              | 23,5% | 7,8%  | 29,4% | 5,8%  | 12,28% | 13,9% | 7,5%  |
| <b>T média (°C)</b>          | 187   |       |       |       |        |       |       |
| <b>Entalpia (kJ/kg)</b>      | 2846  |       |       |       |        |       |       |
| <b>q<sub>água</sub> (kW)</b> | 1177  |       |       |       |        |       |       |

### C.3. Ar de aquecimento

#### Quantidade de água no ar de aquecimento

Para se determinar a quantidade do ar de aquecimento durante a auditoria, efectuaram-se várias medidas de temperatura e humidade para se determinar o caudal de massa de água do ar de aquecimento.

Tabela C.3.1 – Temperatura média e humidade média do ar de aquecimento para cálculo da massa de água

|   | HZ1      | HZ2 | HZ3  | HZ4 | HZ5  | HZ6  | HZ7 |
|---|----------|-----|------|-----|------|------|-----|
| T (°C)  | 25       |     | 32   |     | 36   |      |     |
| H (%)   | 26,6     |     | 18,3 |     | 16,7 |      |     |
| % massa                                       | 23,5     | 7,8 | 29,4 | 5,8 | 12,2 | 13,9 | 7,5 |
|   | 31,3     |     | 35,2 |     | 33,6 |      |     |
| T <sub>média</sub> (°C)                       | 31,2     |     |      |     |      |      |     |
| H <sub>média</sub> (%)                        | 20,4     |     |      |     |      |      |     |
| w(kg <sub>água</sub> /kg <sub>ar seco</sub> ) | 5,60E-03 |     |      |     |      |      |     |
| ω(kg <sub>água</sub> /kg <sub>ar</sub> )      | 5,57E-03 |     |      |     |      |      |     |
| $\dot{m}_{N_2}$ (kg/s)                        | 7,26     |     |      |     |      |      |     |
| $\dot{m}_{ar\ seco}$ (kg/s)                   | 9,19     |     |      |     |      |      |     |
| $\dot{m}_{água}$ (kg/s)                       | 5,15E-02 |     |      |     |      |      |     |

#### C.4. Tecido

##### Quantidade de tecido na impregnação

A ITA forneceu as massas e os comprimentos dos rolos que foram impregnados no dia em que se realizou a auditoria. O tempo de impregnação foi calculado a partir da velocidade que foi de 70 m/min. Com estes dados obtiveram-se os caudais mássicos do tecido verde e do tecido impregnado.

Tabela C.4.1-Valores relativos ao tecido verde e impregnado

| Verde (kg) | Impregnado (kg) | Comprimento (m) | $t_{\text{impregnação}}$ (s) | $\dot{m}_{\text{tecido verde}}$ (kg/s) | $\dot{m}_{\text{tecido impregnado}}$ (kg/s) |
|------------|-----------------|-----------------|------------------------------|--|---|
| 1099       | 1117            | 2189            | 1876                         |  |   |
| 1099       | 1118            | 2187            | 1875                         |  |   |
| 1096       | 1118            | 2189            | 1876                         |  |   |
| 1097       | 1119            | 2186            | 1874                         | 0,586                                  | 0,597                                       |
| 1101       | 1121            | 2187            | 1875                         |  |   |
| 1100       | 1121            | 2187            | 1875                         |  |   |
| 1099       | 1119            | 2187            | 1875                         |  |   |

#### C.5. Soluções

##### Quantidade das Soluções

No dia em que se realizou a auditoria, efectuaram-se leituras no controlador de soluções. As leituras efectuadas foram de tempo e de massa existente nos tanques das soluções. Os caudais mássicos das soluções 1 e 2 foram determinadas pelo rácio entre a variação de massa e a respectiva variação de tempo. As temperaturas da tina 1 foram obtidas pelo termopar l  existente, enquanto que a temperatura da solução 2 foi medida com o auxílio do term metro (resolução 1 C; Comark, Reino Unido).

Tabela C.5.1 – Valores relativos à solução 1

| <b>Hora</b> | <b>t (s)</b> | <b>T<sub>s1</sub>(°C)</b> | <b>S<sub>1</sub> (kg)</b> | <b><math>\dot{m}_{solução1}</math> (kg/s)</b> |
|-------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---|
| 15:12:34    | 54754        | 21                        | 5413                      | 0,1451  |
| 16:02:40    | 57760        | 21                        | 4975                      |   |
| 16:24:04    | 59044        | 21                        | 4791                      |   |
| 16:53:03    | 60783        | 21                        | 4542                      |   |
| 17:23:13    | 62593        | 21                        | 4276                      |   |
| 18:04:21    | 65061        | 21                        | 4917                      |   |
| 18:41:40    | 67300        | 21                        | 3593                      |   |

Tabela C.5.2 – Valores relativos à solução 2

| <b>Hora</b> | <b>t (s)</b> | <b>T<sub>s2</sub>(°C)</b> | <b>T<sub>méd</sub> (°C)</b> | <b>S<sub>2</sub> (kg)</b> | <b><math>\dot{m}_{solução2}</math> (kg/s)</b> |
|-------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|
| 15:12:34    | 54754        | 19,5                      | 19                          | 2917,3                    | 0,0617  |
| 16:02:40    | 57760        | 19                        |                             | 2747,9                    |   |
| 16:24:04    | 59044        | 18                        |                             | 2673,4                    |   |
| 16:53:03    | 60783        | 19                        |                             | 2573,9                    |   |
| 17:23:13    | 62593        | 19,5                      |                             | 2463,9                    |   |
| 18:04:21    | 65061        | 19                        |                             | 2325,3                    |   |
| 18:41:40    | 67300        | 19                        |                             | 2142,6                    |   |

## C.6. Combustível

### Quantidade de combustível usado na impregnação

No dia em que se realizou a auditoria energética, foram efectuadas leituras no contador do volume de gás e do factor de correcção. Efectuaram-se leituras de tempo para que se obtivessem os valores dos caudais mássicos e volumétricos.

Tabela C.6.1 – Valores relativos ao combustível

| Hora     | t (s) | Gás (m <sup>3</sup> ) | Factor Correção | Q (m <sup>3</sup> /s) | Q (m <sup>3</sup> /h) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\dot{m}_{combustível}$ (kg/s) |
|----------|-------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 14:47:57 | 53277 | 9349                  | 1,8493          |                       |                       |                             |                                |
| 16:04:42 | 57882 | 9576                  | 1,8511          |                       |                       |                             |                                |
| 16:29:03 | 59343 | 9648                  | 1,8486          |                       |                       |                             |                                |
| 16:47:32 | 60452 | 9703                  | 1,8502          | 0,09130               | 328,7                 | 0,7897                      | 0,0721                         |
| 17:18:16 | 62296 | 9794                  | 1,8473          |                       |                       |                             |                                |
| 18:07:58 | 65278 | 9942                  | 1,8411          |                       |                       |                             |                                |
| 18:26:52 | 66412 | 9998                  | 1,8466          |                       |                       |                             |                                |

O valor da massa volúmica ( $\rho$ ) foi retirado do anexo B.4.

### C.7. Perdas térmicas nas paredes das estufas

As perdas térmicas, totais, nas paredes das estufas foram calculadas pela soma das perdas por convecção (equação 26) com as perdas por radiação (equação 29). No dia em que se realizou a auditoria, efectuaram-se leituras às temperaturas ambiente e às temperatura superficiais das estufas. As temperaturas ambiente foram obtidas com o auxílio do termómetro (resolução 1°C; *Comark, Reino Unido*). As temperaturas superficiais foram obtidas com um termómetro de contacto (resolução 0,1°C; *Testo 925, Espanha*). De acordo com a referência bibliográfica <sup>[1]</sup>, a emissividade das paredes das estufas (chapa zincada) é de 0,85. Para o cálculo do calor perdido por convecção, foi considerado um coeficiente convectivo de 6 W/m<sup>2</sup>°C <sup>[9]</sup>.

Tabela C.7.1 – Resultados das perdas térmicas na estufa 1

| Piso       | Parede | T <sub>ambiente</sub> (°C) | T <sub>superfície</sub> (°C) | A <sub>superfície</sub> (m <sup>2</sup> ) | q <sub>conv</sub> (W) | q <sub>rad</sub> (W) | q <sub>total</sub> (kW) |
|------------|--------|----------------------------|------------------------------|---|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| 2º         | A      | 23                         | 31,8                         | 9,35                                      | 493,6                 | 430,0                | 0,92                    |
|            | B      | 23                         | 33,5                         | 9,89                                      | 623,0                 | 547,4                | 1,17                    |
|            | C      | 23                         | 31,3                         | 9,35                                      | 465,5                 | 404,5                | 0,87                    |
|            | D      | 23                         | 34,6                         | 9,89                                      | 688,3                 | 608,2                | 1,30                    |
| 3º         | A      |                            |                              |   |                       |                      |                         |
|            | B      | 24                         | 35,5                         | 18,36                                     | 1266,6                | 1129,7               | 2,40                    |
|            | C      | 24                         | 33,9                         | 17,35                                     | 1030,7                | 911,9                | 1,94                    |
|            | D      | 24                         | 34,8                         | 18,36                                     | 1189,5                | 1057,2               | 2,25                    |
| 4º         | A      | 30,5                       | 49                           | 17,35                                     | 1926,0                | 1894,7               | 3,82                    |
|            | B      | 30,5                       | 39,1                         | 18,36                                     | 947,2                 | 887,6                | 1,83                    |
|            | C      | 30,5                       | 35,5                         | 17,35                                     | 520,5                 | 479,2                | 1,00                    |
|            | D      | 30,5                       | 34,5                         | 18,36                                     | 440,6                 | 403,6                | 0,84                    |
| 5º         | A      | 32                         | 46,7                         | 20,63                                     | 1819,7                | 1782,7               | 3,60                    |
|            | B      | 32                         | 46,7                         | 21,83                                     | 1925,1                | 1885,9               | 3,81                    |
|            | C      | 32                         | 46,7                         | 20,63                                     | 1819,7                | 1782,7               | 3,60                    |
|            | D      | 32                         | 46,7                         | 21,83                                     | 1925,1                | 1885,9               | 3,81                    |
| Topo       |        | 32                         | 46,7                         | 2,50                                      | 220,5                 | 216,0                | 0,44                    |
| Total (kW) |        |                            |                              |   | 17,3                  | 16,3                 | 33,61                   |

Tabela C.7.2 – Resultados das perdas térmicas na estufa 2

| Piso       | Parede | T <sub>ambiente</sub><br>(°C) | T <sub>superfície</sub><br>(°C) | A <sub>superfície</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | q <sub>conv</sub> (W) | q <sub>rad</sub> (W) | q <sub>total</sub> (kW) |
|------------|--------|-------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| 2º         | A      | 23                            | 33,9                            | 9,49   | 620,7                 | 546,5                | 1,17                    |
|            | B      | 23                            | 36,5                            | 9,23   | 748,0                 | 667,2                | 1,42                    |
|            | C      | 23                            | 40                              | 9,49   | 968,0                 | 878,8                | 1,85                    |
|            | D      | 23                            | 34,9                            | 9,23   | 659,3                 | 583,4                | 1,24                    |
| 3º         | A      | 24                            | 38                              | 11,69  | 981,8                 | 886,7                | 1,87                    |
|            | B      | 24                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 24                            | 41,9                            | 11,69  | 1255,3                | 1156,1               | 2,41                    |
|            | D      | 24                            | 37,7                            | 11,37  | 934,8                 | 843,0                | 1,78                    |
| 4º         | A      | 29                            | 39,9                            | 8,98   | 587,0                 | 548,3                | 1,14                    |
|            | B      | 29                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 29                            | 38,2                            | 9,06   | 500,0                 | 463,1                | 0,96                    |
|            | D      | 29                            | 37,2                            | 8,81   | 433,6                 | 399,6                | 0,83                    |
| 5º         | A      | 30                            | 51,3                            | 18,32  | 2340,7                | 2323,2               | 4,66                    |
|            | B      | 30                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 30                            | 41,3                            | 18,32  | 1241,8                | 1173,5               | 2,42                    |
|            | D      | 30                            | 38,9                            | 17,82  | 951,6                 | 888,7                | 1,84                    |
| 6º         | A      | 31                            | 45,8                            | 10,99  | 975,8                 | 947,3                | 1,92                    |
|            | B      | 31                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 31                            | 41,4                            | 10,99  | 685,7                 | 651,5                | 1,34                    |
|            | D      | 31                            | 39,8                            | 10,69  | 564,5                 | 532,2                | 1,10                    |
| 7º         | A      | 33                            | 50,4                            | 1,88   | 195,8                 | 196,2                | 0,39                    |
|            | B      | 33                            | 49,1                            | 3,00   | 289,8                 | 288,6                | 0,58                    |
|            | C      | 33                            | 48,0                            | 1,88   | 168,8                 | 167,2                | 0,34                    |
|            | D      | 33                            | 45,0                            | 3,00   | 216,0                 | 210,9                | 0,43                    |
| Topo       |        | 33                            | 42,9                            | 2,50   | 148,5                 | 143,5                | 0,29                    |
| Total (kW) |        |                               |                                 |  | 15,5                  | 14,5                 | 29,96                   |

Tabela C.7.3 – Resultados das perdas térmicas na estufa 3

| Piso       | Parede | T <sub>ambiente</sub> (°C) | T <sub>superfície</sub> (°C) | A <sub>superfície</sub> (m <sup>2</sup> ) | q <sub>conv</sub> (W) | q <sub>rad</sub> (W) | q <sub>total</sub> (kW) |
|------------|--------|----------------------------|------------------------------|---|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| 3°         | A      | 24                         | 34,4                         | 10,92                                     | 681,2                 | 604,2                | 1,29                    |
|            | B      | 24                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 24                         | 42,2                         | 10,92                                     | 1192,0                | 1099,4               | 2,29                    |
|            | D      | 24                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 4°         | A      | 29                         | 43,5                         | 8,46                                      | 736,0                 | 699,7                | 1,44                    |
|            | B      | 29                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 29                         | 41,1                         | 8,46                                      | 614,1                 | 577,0                | 1,19                    |
|            | D      | 29                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 5°         | A      | 30                         | 43,8                         | 10,89                                     | 901,3                 | 862,3                | 1,76                    |
|            | B      | 30                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 30                         | 38,3                         | 10,89                                     | 542,1                 | 504,8                | 1,05                    |
|            | D      | 30                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 6°         | A      | 31                         | 44,1                         | 10,26                                     | 806,7                 | 776,6                | 1,58                    |
|            | B      | 31                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 31                         | 43,7                         | 10,26                                     | 782,0                 | 751,4                | 1,53                    |
|            | D      | 31                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 7°         | A      | 33                         | 51,8                         | 1,88                                      | 211,5                 | 213,4                | 0,42                    |
|            | B      | 33                         | 54,5                         | 3,00                                      | 387,0                 | 395,6                | 0,78                    |
|            | C      | 33                         | 48                           | 1,88                                      | 168,8                 | 167,2                | 0,34                    |
|            | D      | 33                         | 56,9                         | 3,00                                      | 430,2                 | 444,9                | 0,88                    |
| Topo       |        | 33                         | 62,3                         | 2,50                                      | 439,5                 | 466,5                | 0,91                    |
| Total (kW) |        |                            |                              |   | 7,9                   | 7,6                  | 15,46                   |

Tabela C.7.4 – Resultados das perdas térmicas na estufa 4

| Piso       | Parede | T <sub>ambiente</sub><br>(°C) | T <sub>superfície</sub><br>(°C) | A <sub>superfície</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | q <sub>conv</sub> (W) | q <sub>rad</sub> (W) | q <sub>total</sub> (kW) |
|------------|--------|-------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| 3°         | A      | 24                            | 43,2                            | 9,58   | 1103,9                | 1023,2               | 2,13                    |
|            | B      | 24                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 24                            | 47,2                            | 9,58   | 1333,9                | 1261,3               | 2,60                    |
|            | D      | 24                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 4°         | A      | 29                            | 42                              | 7,43   | 579,2                 | 546,6                | 1,13                    |
|            | B      | 29                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 29                            | 51,8                            | 7,43   | 1015,8                | 1006,0               | 2,02                    |
|            | D      | 29                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 5°         | A      | 30                            | 60,3                            | 15,02  | 2729,7                | 2830,8               | 5,56                    |
|            | B      | 30                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 30                            | 32,3                            | 15,02  | 207,2                 | 187,3                | 0,39                    |
|            | D      | 30                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 6°         | A      | 31                            | 48,5                            | 9,01   | 945,9                 | 930,5                | 1,88                    |
|            | B      | 31                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 31                            | 37,6                            | 9,01   | 356,8                 | 332,7                | 0,69                    |
|            | D      | 31                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 7°         | A      | 33                            | 56,8                            | 1,88   | 267,8                 | 276,8                | 0,54                    |
|            | B      | 33                            | 51,9                            | 3,00   | 340,2                 | 343,4                | 0,68                    |
|            | C      | 33                            | 54,4                            | 1,88   | 240,8                 | 246,0                | 0,49                    |
|            | D      | 33                            | 53,6                            | 3,00   | 370,8                 | 377,4                | 0,75                    |
| Topo       |        | 33                            | 48                              | 2,50   | 225,0                 | 222,9                | 0,45                    |
| Total (kW) |        |                               |                                 |  | 9,7                   | 9,6                  | 19,30                   |

Tabela C.7.5 – Resultados das perdas térmicas na estufa 5

| Piso       | Parede | T <sub>ambiente</sub><br>(°C) | T <sub>superfície</sub><br>(°C) | A <sub>superfície</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | q <sub>conv</sub> (W) | q <sub>rad</sub> (W) | q <sub>total</sub> (kW) |
|------------|--------|-------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| 3°         | A      | 24                            | 32,4                            | 10,5   | 530,7                 | 466,0                | 1,00                    |
|            | B      | 24                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 24                            | 32,5                            | 10,5   | 537,0                 | 471,8                | 1,01                    |
|            | D      | 24                            | 30,8                            | 11,4   | 464,0                 | 404,2                | 0,87                    |
| 4°         | A      | 29                            | 36,6                            | 8,2  | 372,1                 | 341,9                | 0,71                    |
|            | B      | 29                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 29                            | 38,6                            | 8,2  | 470,0                 | 436,2                | 0,91                    |
|            | D      | 29                            | 33,6                            | 8,8  | 243,2                 | 220,2                | 0,46                    |
| 5°         | A      | 30                            | 36,8                            | 16,5   | 673,2                 | 622,3                | 1,30                    |
|            | B      | 30                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 30                            | 34,8                            | 16,5   | 475,2                 | 434,9                | 0,91                    |
|            | D      | 30                            | 35,6                            | 17,8   | 598,8                 | 550,2                | 1,15                    |
| 6°         | A      | 31                            | 48,8                            | 9,9  | 1057,3                | 1041,6               | 2,10                    |
|            | B      | 31                            | 37,2                            | 10,7   | 397,7                 | 370,2                | 0,77                    |
|            | C      | 31                            | 40,8                            | 9,9  | 582,1                 | 551,4                | 1,13                    |
|            | D      | 31                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| Total (kW) |        |                               |                                 |  | 6,4                   | 5,9                  | 12,31                   |

Tabela C.7.6 – Resultados das perdas térmicas na estufa 6

| Piso       | Parede | T <sub>ambiente</sub><br>(°C) | T <sub>superfície</sub><br>(°C) | A <sub>superfície</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | q <sub>conv</sub> (W) | q <sub>rad</sub> (W) | q <sub>total</sub> (kW) |
|------------|--------|-------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| 3°         | A      | 24                            | 35,7                            | 11,2   | 788,5                 | 704,0                | 1,49                    |
|            | B      | 24                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 24                            | 34,6                            | 11,2   | 714,4                 | 634,3                | 1,35                    |
|            | D      | 24                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 4°         | A      | 29                            | 47,8                            | 8,7  | 981,8                 | 953,4                | 1,94                    |
|            | B      | 29                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 29                            | 37,6                            | 8,7  | 449,1                 | 414,8                | 0,86                    |
|            | D      | 29                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 5°         | A      | 30                            | 40,4                            | 17,6   | 1098,2                | 1033,3               | 2,13                    |
|            | B      | 30                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 30                            | 41,7                            | 17,6   | 1235,5                | 1169,9               | 2,41                    |
|            | D      | 30                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 6°         | A      | 31                            | 48,1                            | 10,6   | 1083,5                | 1063,7               | 2,15                    |
|            | B      | 31                            |                                 |  |                       |                      |                         |
|            | C      | 31                            | 48,7                            | 10,6   | 1121,5                | 1104,2               | 2,23                    |
|            | D      | 31                            |                                 |  |                       |                      |                         |
| 7°         | A      | 33                            | 67,4                            | 1,9  | 387,0                 | 421,0                | 0,81                    |
|            | B      | 33                            | 64,1                            | 3,0  | 559,8                 | 599,4                | 1,16                    |
|            | C      | 33                            | 61,5                            | 1,9  | 320,6                 | 339,0                | 0,66                    |
|            | D      | 33                            | 61,5                            | 3,0  | 513,0                 | 542,4                | 1,06                    |
| Topo       |        | 33                            | 53,8                            | 2,5  | 312,0                 | 317,9                | 0,63                    |
| Total (kW) |        |                               |                                 |  | 9,6                   | 9,3                  | 18,86                   |

Tabela C.7.7 – Resultados das perdas térmicas na estufa 7

| Piso       | Parede | T <sub>ambiente</sub> (°C) | T <sub>superfície</sub> (°C) | A <sub>superfície</sub> (m <sup>2</sup> ) | q <sub>conv</sub> (W) | q <sub>rad</sub> (W) | q <sub>total</sub> (kW) |
|------------|--------|----------------------------|------------------------------|---|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| 3°         | A      | 24                         | 38,5                         | 11,0                                      | 958,9                 | 868,2                | 1,83                    |
|            | B      | 24                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 24                         | 37,4                         | 11,0                                      | 886,1                 | 797,9                | 1,68                    |
|            | D      | 24                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 4°         | A      | 29                         | 42,6                         | 8,5                                       | 696,9                 | 659,7                | 1,36                    |
|            | B      | 29                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 29                         | 56,4                         | 8,5                                       | 1404,1                | 1422,2               | 2,83                    |
|            | D      | 29                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 5°         | A      | 30                         | 53,9                         | 17,3                                      | 2476,5                | 2489,4               | 4,97                    |
|            | B      | 30                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 30                         | 40                           | 17,3                                      | 1036,2                | 973,0                | 2,01                    |
|            | D      | 30                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 6°         | A      | 31                         | 41                           | 10,4                                      | 621,7                 | 589,5                | 1,21                    |
|            | B      | 31                         |                              |   |                       |                      |                         |
|            | C      | 31                         | 46,7                         | 10,4                                      | 976,1                 | 951,7                | 1,93                    |
|            | D      | 31                         |                              |   |                       |                      |                         |
| 7°         | A      | 33                         | 69,7                         | 1,9                                       | 412,9                 | 454,1                | 0,87                    |
|            | B      | 33                         | 61,7                         | 3,0                                       | 516,6                 | 546,8                | 1,06                    |
|            | C      | 33                         | 71                           | 1,9                                       | 427,5                 | 473,1                | 0,90                    |
|            | D      | 33                         | 68,3                         | 3,0                                       | 635,4                 | 694,2                | 1,33                    |
| Topo       |        | 33                         | 55,6                         | 2,5                                       | 339,0                 | 348,4                | 0,69                    |
| Total (kW) |        |                            |                              |   | 11,4                  | 11,3                 | 22,66                   |

Anexo D. Fichas técnicas de equipamentos

D.1.PT100



Temperature Measurement

Technical Data Sheet

TD-TV/PT1A

PT100 Resistance Table

| °C      | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | °C      |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| -200.00 | 18.52  |        |        |        |        |        |        |        |        |        | -200.00 |
| -190.00 | 22.83  | 22.40  | 21.97  | 21.54  | 21.11  | 20.68  | 20.25  | 19.82  | 19.38  | 18.95  | -190.00 |
| -180.00 | 27.10  | 26.67  | 26.24  | 25.82  | 25.39  | 24.97  | 24.54  | 24.11  | 23.68  | 23.25  | -180.00 |
| -170.00 | 31.34  | 30.91  | 30.49  | 30.07  | 29.64  | 29.22  | 28.80  | 28.37  | 27.95  | 27.52  | -170.00 |
| -160.00 | 35.54  | 35.12  | 34.70  | 34.28  | 33.86  | 33.44  | 33.02  | 32.60  | 32.18  | 31.76  | -160.00 |
| -150.00 | 39.72  | 39.31  | 38.89  | 38.47  | 38.05  | 37.64  | 37.22  | 36.80  | 36.38  | 35.96  | -150.00 |
| -140.00 | 43.88  | 43.46  | 43.05  | 42.63  | 42.22  | 41.80  | 41.39  | 40.97  | 40.56  | 40.14  | -140.00 |
| -130.00 | 48.00  | 47.59  | 47.18  | 46.77  | 46.36  | 45.94  | 45.53  | 45.12  | 44.70  | 44.29  | -130.00 |
| -120.00 | 52.11  | 51.70  | 51.29  | 50.88  | 50.47  | 50.06  | 49.65  | 49.24  | 48.83  | 48.42  | -120.00 |
| -110.00 | 56.19  | 55.79  | 55.38  | 54.97  | 54.56  | 54.15  | 53.75  | 53.34  | 52.93  | 52.52  | -110.00 |
| -100.00 | 60.26  | 59.85  | 59.44  | 59.04  | 58.63  | 58.23  | 57.82  | 57.41  | 57.01  | 56.60  | -100.00 |
| -90.00  | 64.30  | 63.90  | 63.49  | 63.09  | 62.68  | 62.28  | 61.88  | 61.47  | 61.07  | 60.66  | -90.00  |
| -80.00  | 68.33  | 67.92  | 67.52  | 67.12  | 66.72  | 66.31  | 65.91  | 65.51  | 65.11  | 64.70  | -80.00  |
| -70.00  | 72.33  | 71.93  | 71.53  | 71.13  | 70.73  | 70.33  | 69.93  | 69.53  | 69.13  | 68.73  | -70.00  |
| -60.00  | 76.33  | 75.93  | 75.53  | 75.13  | 74.73  | 74.33  | 73.93  | 73.53  | 73.13  | 72.73  | -60.00  |
| -50.00  | 80.31  | 79.91  | 79.51  | 79.11  | 78.72  | 78.32  | 77.92  | 77.52  | 77.12  | 76.73  | -50.00  |
| -40.00  | 84.27  | 83.87  | 83.48  | 83.08  | 82.69  | 82.29  | 81.89  | 81.50  | 81.10  | 80.70  | -40.00  |
| -30.00  | 88.22  | 87.83  | 87.43  | 87.04  | 86.64  | 86.25  | 85.85  | 85.46  | 85.06  | 84.67  | -30.00  |
| -20.00  | 92.16  | 91.77  | 91.37  | 90.98  | 90.59  | 90.19  | 89.80  | 89.40  | 89.01  | 88.62  | -20.00  |
| -10.00  | 96.09  | 95.69  | 95.30  | 94.91  | 94.52  | 94.12  | 93.73  | 93.34  | 92.95  | 92.55  | -10.00  |
| 0.00    | 100.00 | 99.61  | 99.22  | 98.83  | 98.44  | 98.04  | 97.65  | 97.26  | 96.87  | 96.48  | 0.00    |
| 10.00   | 103.90 | 104.29 | 104.68 | 105.07 | 105.46 | 105.85 | 106.24 | 106.63 | 107.02 | 107.40 | 10.00   |
| 20.00   | 107.79 | 108.18 | 108.57 | 108.96 | 109.35 | 109.73 | 110.12 | 110.51 | 110.90 | 111.29 | 20.00   |
| 30.00   | 111.67 | 112.06 | 112.45 | 112.83 | 113.22 | 113.61 | 114.00 | 114.38 | 114.77 | 115.15 | 30.00   |
| 40.00   | 115.54 | 115.93 | 116.31 | 116.70 | 117.08 | 117.47 | 117.86 | 118.24 | 118.63 | 119.01 | 40.00   |
| 50.00   | 119.40 | 119.78 | 120.17 | 120.55 | 120.94 | 121.32 | 121.71 | 122.09 | 122.47 | 122.86 | 50.00   |
| 60.00   | 123.24 | 123.63 | 124.01 | 124.39 | 124.78 | 125.16 | 125.54 | 125.93 | 126.31 | 126.69 | 60.00   |
| 70.00   | 127.08 | 127.46 | 127.84 | 128.22 | 128.61 | 128.99 | 129.37 | 129.75 | 130.13 | 130.52 | 70.00   |
| 80.00   | 130.90 | 131.28 | 131.66 | 132.04 | 132.42 | 132.80 | 133.18 | 133.57 | 133.95 | 134.33 | 80.00   |
| 90.00   | 134.71 | 135.09 | 135.47 | 135.85 | 136.23 | 136.61 | 136.99 | 137.37 | 137.75 | 138.13 | 90.00   |
| 100.00  | 138.51 | 138.88 | 139.26 | 139.64 | 140.02 | 140.40 | 140.78 | 141.16 | 141.54 | 141.91 | 100.00  |
| 110.00  | 142.29 | 142.67 | 143.05 | 143.43 | 143.80 | 144.18 | 144.56 | 144.94 | 145.31 | 145.69 | 110.00  |
| 120.00  | 146.07 | 146.44 | 146.82 | 147.20 | 147.57 | 147.95 | 148.33 | 148.70 | 149.08 | 149.46 | 120.00  |
| 130.00  | 149.83 | 150.21 | 150.58 | 150.96 | 151.33 | 151.71 | 152.08 | 152.46 | 152.83 | 153.21 | 130.00  |
| 140.00  | 153.58 | 153.96 | 154.33 | 154.71 | 155.08 | 155.46 | 155.83 | 156.20 | 156.58 | 156.95 | 140.00  |
| 150.00  | 157.33 | 157.70 | 158.07 | 158.45 | 158.82 | 159.19 | 159.56 | 159.94 | 160.31 | 160.68 | 150.00  |
| 160.00  | 161.05 | 161.43 | 161.80 | 162.17 | 162.54 | 162.91 | 163.29 | 163.66 | 164.03 | 164.40 | 160.00  |
| 170.00  | 164.77 | 165.14 | 165.51 | 165.89 | 166.26 | 166.63 | 167.00 | 167.37 | 167.74 | 168.11 | 170.00  |
| 180.00  | 168.48 | 168.85 | 169.22 | 169.59 | 169.96 | 170.33 | 170.70 | 171.07 | 171.43 | 171.80 | 180.00  |
| 190.00  | 172.17 | 172.54 | 172.91 | 173.28 | 173.65 | 174.02 | 174.38 | 174.75 | 175.12 | 175.49 | 190.00  |
| 200.00  | 175.86 | 176.22 | 176.59 | 176.96 | 177.33 | 177.69 | 178.06 | 178.43 | 178.79 | 179.16 | 200.00  |
| 210.00  | 179.53 | 179.89 | 180.26 | 180.63 | 180.99 | 181.36 | 181.72 | 182.09 | 182.46 | 182.82 | 210.00  |
| 220.00  | 183.19 | 183.55 | 183.92 | 184.28 | 184.65 | 185.01 | 185.38 | 185.74 | 186.11 | 186.47 | 220.00  |
| 230.00  | 186.84 | 187.20 | 187.56 | 187.93 | 188.29 | 188.66 | 189.02 | 189.38 | 189.75 | 190.11 | 230.00  |
| 240.00  | 190.47 | 190.84 | 191.20 | 191.56 | 191.92 | 192.29 | 192.65 | 193.01 | 193.37 | 193.74 | 240.00  |
| 250.00  | 194.10 | 194.46 | 194.82 | 195.18 | 195.55 | 195.91 | 196.27 | 196.63 | 196.99 | 197.35 | 250.00  |
| 260.00  | 197.71 | 198.07 | 198.43 | 198.79 | 199.15 | 199.51 | 199.87 | 200.23 | 200.59 | 200.95 | 260.00  |
| 270.00  | 201.31 | 201.67 | 202.03 | 202.39 | 202.75 | 203.11 | 203.47 | 203.83 | 204.19 | 204.55 | 270.00  |
| 280.00  | 204.90 | 205.26 | 205.62 | 205.98 | 206.34 | 206.70 | 207.05 | 207.41 | 207.77 | 208.13 | 280.00  |
| 290.00  | 208.48 | 208.84 | 209.20 | 209.56 | 209.91 | 210.27 | 210.63 | 210.98 | 211.34 | 211.70 | 290.00  |
| 300.00  | 212.05 | 212.41 | 212.76 | 213.12 | 213.48 | 213.83 | 214.19 | 214.54 | 214.90 | 215.25 | 300.00  |
| 310.00  | 215.61 | 215.96 | 216.32 | 216.67 | 217.03 | 217.38 | 217.74 | 218.09 | 218.44 | 218.80 | 310.00  |
| 320.00  | 219.15 | 219.51 | 219.86 | 220.21 | 220.57 | 220.92 | 221.27 | 221.63 | 221.98 | 222.33 | 320.00  |

## D.2. Permutador de placas

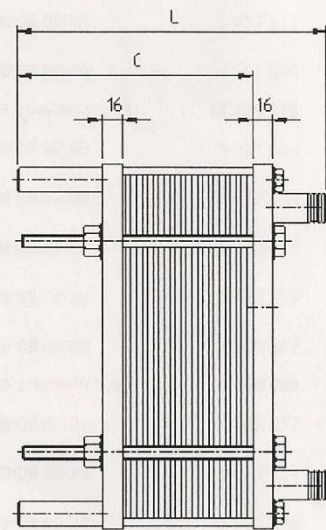
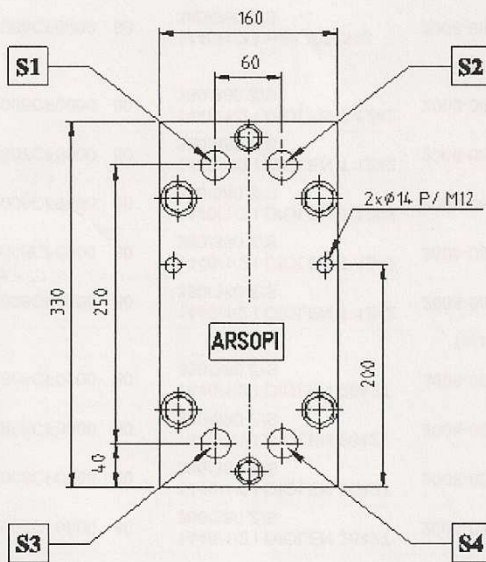
### Desenho do permutador de placas para o aquecimento da solução 1

INDUSTRIA TEXTIL DO AVE

MODELO: FH00 - HJ - 6

| Dimensões (mm) |     | MASSA (kgs) |    |
|----------------|-----|-------------|----|
| C:             | 120 | Vazio:      | 20 |
| P:             | 0   | Cheio:      | 20 |

| Nº PLACAS PLATES | L   |
|------------------|-----|
| ATE UP TO 24     | 190 |
| 25 - 48          | 270 |



Orientação Entrada/Saídas

Lado Quente: S4 → S2

Lado Frio: S3 → S1

## Ficha técnica do permutador de placas para o aquecimento da solução 1

PERMUTADOR DE PLACAS (PHE) ARSOPI-THERMAL

Data: 2009-06-02

Cliente :  
 Destino :  
 Local :  
 Item No. :  
 V. Ref. No. : INDUSTRIA TEXTIL DO AVE  
 N. Ref. No. :

Serviço  
 Tipo FH00 -HJ -6 Número de PHE 1 Unid(s)  
 Superfície 0.07 [m2/unid] Número de Placas 6 [pcs/unid]

(Performance por PHE) Lado Quente Lado Frio

| Fluido                 | Água             |  | Água             |  |
|------------------------|------------------|--|------------------|--|
| Caudal                 | 0.09 [m3/h]      |  | 0.06 [m3/h]      |  |
| Peso Específico        | 0.990 [-]        |  | 1.017 [-]        |  |
| Calor Específico       | 4.180 [kJ/(kgC)] |  | 4.183 [kJ/(kgC)] |  |
| Conductividade Térmica | 0.634 [W/(mC)]   |  | 0.601 [W/(mC)]   |  |
| Viscosidade            | 0.600 [mPas]     |  | 0.950 [mPas]     |  |
| Temperat. de Entrada   | 50.00 [C]        |  | 15.00 [C]        |  |
| Temperat. de Saída     | 40.00 [C]        |  | 30.00 [C]        |  |
| Perda de Carga         | 0.000 [MPa]      |  | 0.000 [MPa]      |  |
| Pressão de Trabalho    | - [MPa G]        |  | - [MPa G]        |  |
| Pot. Calorífica        | 1.06 [kW]        |  |                  |  |
| Circulação             | Paralelo         |  |                  |  |

(Construção)

| Arranjo das Placas | 3 x 1             |  | 2 x 1                  |  |
|--------------------|-------------------|--|------------------------|--|
| Max. Pressão       | 1.00 [MPa G]      |  | 1.00 [MPa G]           |  |
| Pressão de Ensaio  | 1.30 [MPa G]      |  | 1.30 [MPa G]           |  |
| Max. Temperatura   | 100.00 [C]        |  | 100.00 [C]             |  |
| Peso Vazio/Cheio   | 20 / 20 [kg]      |  |                        |  |
| Dimensões Aprox.   | C 200 x L 160 x A |  | 330 [mm] (C= 120 P= 0) |  |
| Entradas/Saídas    | Roscadas 1" Gás   |  | Roscadas 1" Gás        |  |

(Material)

|                    |  |  |          |
|--------------------|--|--|----------|
| Placas             | AISI 316L                                  |  |          |
| Juntas             | NBR-SI                                     |  | NBR-SI   |
| Entradas/Saídas    | AISI 316                                   |  | AISI 316 |
| Estrutura/Tirantes | Aço Carbono, Pintada / Aço Carbono Zincado |  |          |

(Notas)

Falte saber o  $\Delta T$ !

$U = 1000 - 6000 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$

**D.3. Ficha técnica da matéria-prima do PBB-13J**

 Performance  Fibers

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**
**Polyester Fiber and Resin**
**1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION**

**PRODUCT NAME** Standard PET, DSP®, 1X30, 1X40, 1X50, 1X90, 1X98, 1W60, 1W70, 1W72, 1W76, 1W77, 1W78, 1Y85, 1Y86, 1Y87, 1Q72S, 1Q86 (Non Adhesion Activated)  
**OTHER/GENERIC NAMES:** Polyester Fiber and Resin  
**PRODUCT USE:** Industrial fiber and resin. This fiber is not intended for uses other than industrial, e.g., in the food handling industry, or in the medical or surgical sector. Please contact Performance Fibers, Inc. if there is uncertainty about the suitability of the intended use.  
  
**MANUFACTURER:** Performance Fibers, Inc.  
 707 East Main Street, Suite 1800  
 Richmond, VA 23219  
  
**FOR MORE INFORMATION CALL:** (Monday-Friday, 8:00 a.m. – 5:00 p.m.)  
 Product Stewardship  
 919-545-3724  
  
**IN CASE OF EMERGENCY CALL:**  
 (24 Hours/Day, 7 Days/Week)  
 919-542-2200

**2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS**

| <u>INGREDIENT NAME</u>     | <u>CAS NUMBER</u> | <u>WEIGHT %</u> |
|----------------------------|-------------------|-----------------|
| Polyethylene terephthalate | 25038-59-9        | > 98            |

Trace impurities and additional material names not listed above may also appear in Section 15 toward the end of the MSDS. These materials may be listed for local "Right-To-Know" compliance and for other reasons.

**3. HAZARDS IDENTIFICATION**

**EMERGENCY OVERVIEW:** Solid off-white or delustered yarn or fiber. Chips have clear to greenish tint. There are no hazards associated with the product for which first aid is required.

**POTENTIAL HEALTH HAZARDS**

**SKIN:** May cause mechanical irritation.  
**EYES:** May cause mechanical irritation.  
**INHALATION:** Not respirable in this form. Thermal processing of fiber may generate fumes and vapors which may cause irritation to the nose and throat. Dust should be considered as a nuisance dust (see Section 8).  
**INGESTION:** Not a probable route of exposure.  
**DELAYED EFFECTS:** None known.

Ingredients found on one of the OSHA designated carcinogen lists are listed below.

| <u>INGREDIENT NAME</u>                 | <u>NTP STATUS</u> | <u>IARC STATUS</u> | <u>OSHA LIST</u> |
|--|-------------------|--------------------|------------------|
| No ingredients listed in this section. |                   |                    |                  |

## Polyester Fiber and Resin

### 4. FIRST AID MEASURES

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>SKIN:</b>                | If irritation develops, wash affected area with soap and water. If discomfort continues, seek medical attention.                |
| <b>EYES:</b>                | If irritation develops, flush eyes with running water for 15 minutes. If discomfort continues, seek medical attention.          |
| <b>INHALATION:</b>          | If processing vapor occurs and irritation develops, remove person to fresh air. If discomfort persists, seek medical attention. |
| <b>INGESTION:</b>           | Not a probable route of exposure.   |
| <b>ADVICE TO PHYSICIAN:</b> | No specific advice. Treat symptomatically.  |

### 5. FIRE FIGHTING MEASURES

#### FLAMMABLE PROPERTIES

|   |   |
|---|---|
| <b>FLASH POINT:</b>                         | Not applicable                                  |
| <b>FLASH POINT METHOD:</b>                  | Not applicable                                  |
| <b>AUTOIGNITION TEMPERATURE:</b>            | 500 <sup>o</sup> C (Layer Ignition Temperature) |
| <b>UPPER FLAME LIMIT (volume % in air):</b> | Not applicable                                  |
| <b>LOWER FLAME LIMIT (volume % in air):</b> | Not applicable                                  |
| <b>FLAME PROPAGATION RATE (solids):</b>     | Not determined                                  |
| <b>OSHA FLAMMABILITY CLASS:</b>             | Not applicable                                  |

**EXTINGUISHING MEDIA:**  
All standard agents may be used.

**UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS:**  
None.

**SPECIAL FIRE FIGHTING PRECAUTIONS/INSTRUCTIONS:**  
Wear self-contained breathing apparatus meeting NIOSH standards. Avoid excessive inhalation of smoke or potential thermal decomposition products.

### 6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

**IN CASES OF SPILL OR OTHER RELEASE:** (Always wear recommended personal protective equipment.)  
Sweep or vacuum and place in containers for disposal to an approved landfill or reuse.

Spills and releases may have to be reported to Federal and/or local authorities. See Section 15 regarding reporting requirements.

### 7. HANDLING AND STORAGE

**NORMAL HANDLING:** (Always wear recommended personal protective equipment.)  
No special handling requirements.

**STORAGE RECOMMENDATIONS:**  
No special storage requirements.

**Polyester Fiber and Resin**


---

**8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION**


---

**ENGINEERING CONTROLS:**

Mechanical ventilation should be used during processing to remove any dusts, mists, or vapors which may be generated.

**PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT**
**SKIN PROTECTION:**

Protect against potential physical hazards such as contact with yarn moving at high speed, etc.

**EYE PROTECTION:**

Safety glasses are recommended during processing.

**RESPIRATORY PROTECTION:**

None normally required. An approved dust respirator meeting 42 CFR Part 84 standards should be worn if dusty conditions exist.

**ADDITIONAL RECOMMENDATIONS:**

None required.

**EXPOSURE GUIDELINES** (Guidelines exist for the following ingredients.)

| <u>INGREDIENT NAME</u> | <u>ACGIH TLV</u> | <u>OSHA PEL</u> | <u>OTHER LIMIT</u> |
|------------------------|------------------|-----------------|--------------------|
|------------------------|------------------|-----------------|--------------------|

\* No ingredients listed in this section \*

\* = Limit established by Performance Fibers, Inc.

\*\* = Workplace Environmental Exposure Level (AIHA).

\*\*\* = Biological Exposure Index (ACGIH).

**OTHER EXPOSURE LIMITS FOR POTENTIAL DECOMPOSITION PRODUCTS:**

Dust should be considered a nuisance dust:  
 ACGIH TLV: 10 mg/m<sup>3</sup> total dust  
 OSHA PEL: 15 mg/m<sup>3</sup> total dust; 5 mg/m<sup>3</sup> respirable dust

See Section 16 regarding finish mists.

---

**9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**


---

|  |  |
|--|--|
| <b>APPEARANCE:</b>                     | Off-white solid or delustered fiber or clear to greenish resin |
| <b>PHYSICAL STATE:</b>                 | Solid  |
| <b>MOLECULAR WEIGHT:</b>               | >30,000  |
| <b>CHEMICAL FORMULA:</b>               | (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>x</sub>  |
| <b>ODOR:</b>                           | No specific odor.  |
| <b>SPECIFIC GRAVITY (water = 1.0):</b> | 1.3 - 1.4 g/cm <sup>3</sup>                                    |
| <b>SOLUBILITY IN WATER (weight %):</b> | Insoluble  |

MSDS Number: PF0002  
 Current Issue Date: June, 2006

Page 3 of 6



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

**Polyester Fiber and Resin**

|                                   |                |                                    |
|-----------------------------------|----------------|------------------------------------|
| <b>pH:</b>                        | Not applicable |                                    |
| <b>BOILING POINT:</b>             | Not determined |                                    |
| <b>MELTING POINT:</b>             | 260 °C         |                                    |
| <b>VAPOR PRESSURE:</b>            | Not applicable |                                    |
| <b>VAPOR DENSITY (air = 1.0):</b> | Not applicable |                                    |
| <b>EVAPORATION RATE:</b>          | Not applicable | <b>COMPARED TO:</b> Not applicable |
| <b>% VOLATILES:</b>               | Not applicable |                                    |
| <b>FLASH POINT:</b>               | Not determined |                                    |

(Flash point method and additional flammability data are found in Section 5.)

**10. STABILITY AND REACTIVITY**

**NORMALLY STABLE? (CONDITIONS TO AVOID):**  
Normally stable.

**INCOMPATIBILITIES:**  
Tends to dissolve in caustic materials.

**HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS:**  
Thermal decomposition products may include CO, ethylene glycol, aldehydes and other C, H, and O compounds varying in chemical structure and molecular weights.

**HAZARDOUS POLYMERIZATION:**  
Will not occur.

**11. TOXICOLOGICAL INFORMATION**

**IMMEDIATE (ACUTE) EFFECTS:**  
Not considered to cause irritant or allergic contact dermatitis based on testing results for skin irritation (rabbit), skin sensitization (guinea pig), and clinic evaluation using repeated insult patch test.

**DELAYED (SUBCHRONIC AND CHRONIC) EFFECTS:**  
Not available

**OTHER DATA:**  
None.

**12. ECOLOGICAL INFORMATION**

No data available.

**13. DISPOSAL CONSIDERATIONS**

**RCRA**

|  |                |
|--|----------------|
| Is the unused product a RCRA hazardous waste if discarded? | No             |
| If yes, the RCRA ID number is:                             | Not applicable |

**Polyester Fiber and Resin**

**OTHER DISPOSAL CONSIDERATIONS:** Dispose of as non-hazardous waste in accordance with local, state and federal regulations.

The information offered here is for the product as shipped. Use and/or alterations to the product, such as mixing with other materials, may significantly change the characteristics of the material and alter the RCRA classification and the proper disposal method.

---

**14. TRANSPORT INFORMATION**

---

**US DOT PROPER SHIPPING NAME:**

**US DOT HAZARD CLASS:**

**US DOT ID NUMBER:**

**IATA:**

**IMDG:**

Not regulated

Not applicable

Not regulated

Not regulated

**RID/ADR/AND:** Not classified

**UN Classification:** Not classified

For additional information on shipping regulations affecting this material, contact the information number found in Section 1.

---

**15. REGULATORY INFORMATION**

---

**TOXIC SUBSTANCES CONTROL ACT (TSCA)**

**TSCA INVENTORY STATUS:** Polymer is listed on the TSCA Inventory.

**OTHER TSCA ISSUES:** None

**SARA TITLE III / CERCLA**

"Reportable Quantities" (RQs) and/or "Threshold Planning Quantities" (TPQs) exist for the following ingredients.

**INGREDIENT NAME**

No ingredients listed in this section.

**SARA/CERCLA RQ (lb.)****SARA EHS TPQ (lb.)**

Spills or releases resulting in the loss of any ingredient at or above its RQ require immediate notification to the National Response Center [(800) 424-8802] and to your Local Emergency Planning Committee.

**SECTION 311 HAZARD CLASS:**

No ingredients listed in this section.

**SARA 313 TOXIC CHEMICALS:**

The following ingredients are SARA 313 "Toxic Chemicals." CAS numbers and weight percents are found in Section 2.

**INGREDIENT NAME**

No ingredients listed in this section

**COMMENT****STATE RIGHT-TO-KNOW**

In addition to the ingredients found in Section 2, the following are listed for state right-to-know purposes.



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

**Polyester Fiber and Resin**

**INGREDIENT NAME**

No ingredients listed in this section

**WEIGHT %    COMMENT**

**ADDITIONAL REGULATORY INFORMATION:**

None.

**WHMIS CLASSIFICATION (CANADA):**

Not a controlled product.

**FOREIGN INVENTORY STATUS:**

|                                 |  |                      |     |
|---------------------------------|--|----------------------|-----|
| <b>Australia (AICS):</b>        | Yes  | <b>Japan (ENCS):</b> | Yes |
| <b>Canada (DSL):</b>            | Yes  | <b>Korea (KECI)</b>  | Yes |
| <b>China (IECSC):</b>           | Yes  | <b>New Zealand</b>   | Yes |
| <b>Philippines (PICCS):</b>     | Yes  |                      |     |
| <b>EU (EINECS/ELINCS/NLPL):</b> | Polyester fiber is not classified as a hazardous substance under EU regulations. The polymer is exempted from listing on EINECS. |                      |     |

---

**16. OTHER INFORMATION**

---

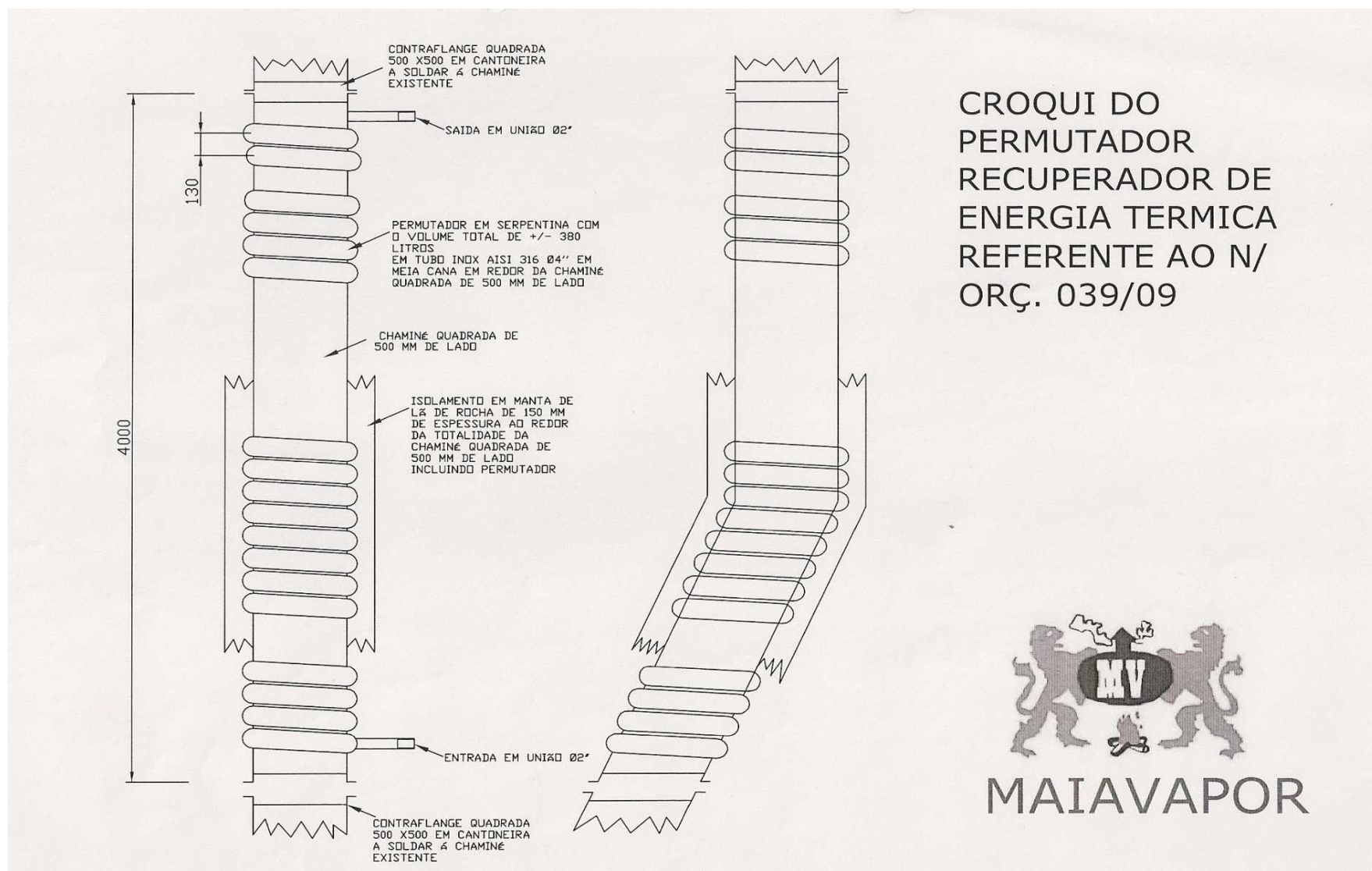
**CURRENT ISSUE DATE:** June, 2006

**PREVIOUS ISSUE DATE:** April, 2006

**CHANGES TO MSDS FROM PREVIOUS ISSUE DATE ARE DUE TO THE FOLLOWING:**

Change in format to match other PF information sheets.

**OTHER INFORMATION:** Polyester fibers are coated with minor quantities of finish oils. Textile processes may volatilize portions of these finishes and produce visible misting in the workplace. Ventilation is recommended to minimize exposure to such finish mists which should not exceed a concentration of 5 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH TLV for mineral oil).

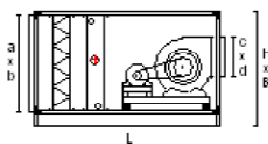
**D.4. Ficha técnica do permutador de calor ar-água**


## D.5. Ficha técnica do permutador de calor água-ar



**EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILA O E AR CONDICIONADO S.A.**

|      |                              |           |                |
|------|------------------------------|-----------|----------------|
| DE   | EVAC S.A. - Daniela Monteiro | MODELO    | UTA 40 plus 50 |
| PARA |                              | REF.      | UTV            |
| OBRA | Cota o                       | COD. OBRA |                |



|                      |         |
|----------------------|---------|
| H = 1.222 + 100      |         |
| B = 1.017            |         |
| L = 1.800            |         |
| a = 1.122            | b = 917 |
| c = 518              | d = 470 |
| Ext. : Cinza         |         |
| Int. : Galv.         |         |
| Fundo : Galv.        |         |
| Estrutura : 50.50 PU |         |
| N  Módulos : 1       |         |

| CONDI OES DO AR |                   |        |          | MÓDULO FILTRAGEM [Pa] |       |                      |                    |                      |            |
|-----------------|-------------------|--------|----------|-----------------------|-------|----------------------|--------------------|----------------------|------------|
|                 | CAUDAL INVERNO    | VERA O | P. DISP. | TIPO                  | REND. | $\Delta P_{INICIAL}$ | $\Delta P_{FINAL}$ | $\Delta P_{CONSID.}$ | Man metros |
|                 | m <sup>3</sup> /h |  C / % |  C / %   |                       |       |                      |                    |                      |            |
| Insufla o       | 6.084             |        |          | Pré-Filtro            | EU 4  | 46                   | 76                 | 61                   | -          |
| Retorno         | -                 | -      | -        | Filtro Saco           | -     | -                    | -                  | -                    | -          |
| Novo            | 6.084             | 25 / - | -        | Filtro Saco           | -     | -                    | -                  | -                    | -          |
|                 |                   |        |          | Filtro Absoluto       | -     | -                    | -                  | -                    | -          |

| Vel. Ar Bat.<br>2,22 m/s | MÓDULO TÉRMICO  |          |            |       |                   |               |            |            |                     |  |  |
|--------------------------|-----------------|----------|------------|-------|-------------------|---------------|------------|------------|---------------------|--|--|
|                          | CONDI OES DO AR |          |            |       | CONDI OES DA ÁGUA |               |            |            | CAR.                |  |  |
| TIPO                     | ENTRADA         | SAÍDA    | Qsens.     | Qtot. | TEMP. [ C]        | CAUDAL GLICOL | $\Delta P$ | F/C/D/Tipo |                     |  |  |
|                          |  C / %          |  C / %   | kW         | kW    | ENT./SA .         | L/h           | %          | kPa        | -                   |  |  |
| Pr -Bateria              | - / -           | - / -    | -          | -     | - / -             | -             | -          | -          | - / - / - / -       |  |  |
| Arrefecimento            | - / -           | - / -    | -          | -     | - / -             | -             | -          | -          | - / - / - / -       |  |  |
| Aquecimento              | 25 / -          | 64,6 / - | 79,75      | 79,75 | 75 / 70           | 14.035        | 0          | 33,7       | 4 / 17 / 2" / Alum. |  |  |
|                          | TIPO            | REND.    | ÁGUA EVAP. |       |                   | -----         |            |            |                     |  |  |
|                          | -               | %        | Kg/h       |       |                   | -----         |            |            |                     |  |  |
| Humidificador            | -               | -        | -          |       |                   | -----         |            |            |                     |  |  |

| MÓDULO VENTILA O    |          |           |           |               |      |      |            |                       |                             |
|---------------------|----------|-----------|-----------|---------------|------|------|------------|-----------------------|-----------------------------|
| VENTILADOR (Normal) |          |           |           |               |      |      |            | MOTOR                 |                             |
| TIPO                | $\eta_t$ | VEL. ROT. | POT. VEIO | PRESSA O [Pa] |      |      | Man metros | POT. ABS.             |                             |
|                     | %        | rpm       | kW (*)    | EST.          | DIN. | TOT. |            | kW(N)/V/A/kW/rpm/tipo |                             |
| INSUFLA O           | 18.13    | 71,7      | 598       | 0,79 (1/C)    | 294  | 41   | 335        | -                     | 1,1/380/2,55/1,21/1415/1-N. |
| RETORNO             | -        | -         | -         | -             | -    | -    | -          | -                     | - / - / - / - / -           |

\* SFP (Specific Fan Power) / EUROVENT - AHU Energy Efficiency Class

|               | NÍVEL DE R IDO (dB) |       |        |        |        |       |       |       |       | ATENUADORES |        |
|---------------|---------------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------|
|               | LPS                 | 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 KHz | 2 KHz | 4 KHz | 8 KHz | TIPO        | ATENU. |
|               | dB(A)               |       |        |        |        |       |       |       |       | -           | dB(A)  |
| INSUFLA O     | 69,4                | 66,7  | 69     | 63,5   | 64     | 62,7  | 64    | 59,9  | 52,3  | -           | -      |
| RETORNO       | 65,6                | 70,7  | 70,1   | 62,2   | 61,8   | 59,5  | 59,3  | 54,1  | 43,3  | -           | -      |
| EXTERIOR (2m) | 41,7                | 50,8  | 50,2   | 36,3   | 36,9   | 35,6  | 35,4  | 16,2  | 5,4   | -----       |        |

