

Ana Filipa Marinho Coelho

Otimização do consumo de água no pré-tratamento de
RSU para a digestão anaeróbia - Caso de Estudo
ERSUC, Aveiro



Ana Filipa Marinho Coelho

Otimização do consumo de água no pré-tratamento de
RSU para a digestão anaeróbia - Caso de Estudo
ERSUC, Aveiro

Relatório de Estágio
Mestrado em Tecnologias Ambientais

Professor Doutor Artur Manuel Bordalo Machado Figueirinha
Professor Doutor Pedro Agostinho da S. Baila Madeira Antunes



Aos meus país, ao Tiago Dunas e aos meus Professores Artur Figueirinha e Pedro Baila

RESUMO

O presente relatório corresponde ao estágio curricular, integrado no âmbito da unidade curricular de Estágio do curso de Mestrado em Tecnologias Ambientais da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, foi realizado na secção de Tratamento Biológico da Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) do Centro Integrado de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) de Aveiro da ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro S.A., durante o período compreendido entre os meses de dezembro de 2013 e junho de 2014.

A Unidade de TMB compreende uma digestão anaeróbia (DA) realizada por via húmida que requer normalmente elevados consumos de água no seu pré-tratamento por forma a obter uma significativa degradação da matéria orgânica e produção de biogás. Como tal torna-se necessário realizar testes de minimização dos consumos de água no pré-tratamento e investigar os impactes da redução do consumo de água nos digestores anaeróbios, assim como de outras intervenções realizadas aos mesmos.

Para atingir os objetivos propostos realizou-se inicialmente uma caracterização da situação de referência do processo, estudando os seus consumos de água, e realizando balanços mássicos (BMs) ao mesmo, verificando-se um consumo de 78,2 Kg de água para tratar 21,8 Kg de fração orgânica de RSU (FORSU) dos quais 70,7% da água foi adicionada no *pulper* à FORSU. Verificou-se ainda que 49,5 % do teor de ST existente na suspensão da FORSU são removidos durante o tratamento mecânico húmido (TMH). Numa segunda fase, foram testados 5 cenários com diferentes reduções no consumo de água no TMH, e monitorizadas as diferentes variáveis do mesmo, sendo com o 5º cenário que se obteve a maior redução do consumo de água no processo.

Avaliaram-se ainda os impactos da redução do consumo de água na DA, analisando comparativamente os parâmetros de conceção e operação dos digestores e os dados de controlo recolhidos da sua operação, nomeadamente o tempo de retenção hidráulico, o pH, a temperatura, a eficiência de remoção, o biogás gerado tonelada de FORSU, assim como a produção diária de eletricidade e biogás, antes e após a redução da hidratação da suspensão afluyente bem como as intervenções de operação-manutenção realizadas nos digestores.

Concluiu-se que a eficiência dos mesmos é muito mais sensível às mudanças operacionais que se verificaram no sistema de aquecimento e agitação do que à redução de consumo de água que ocorreu paralelamente.

ABSTRACT

This report corresponds to the traineeship, integrated within the Master course in Environmental Technology of *Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu*, realized in the Biological Treatment section of the Mechanical and Biological Treatment unit (MBT) of the Center of Integrated Municipal Solid Waste Treatment (MSW) of *Aveiro, ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro S.A.*, between December 2013 and June 2014.

The MBT unit comprises an anaerobic digestion (AD) performed by wet which usually requires high consumption of water in their pre-treatment in order to obtain a significant degradation of organic matter and biogas production. As such it becomes necessary to conduct tests to minimize water consumption in pretreatment and investigate the impacts of water consumption reduction in anaerobic digesters, as well as other interventions to them.

To achieve the proposed objectives was initially held a characterization of the system baseline, studying their water consumption, and performing mass balances (MBs) to those, verifying a consumption of 78,2 Kg of water to treat 21,8 Kg of organic fractions of municipal solid waste (OFMSW) of which 70.7% water was added in the pulper to the OFMSW. It was also found that 49,5% of the TS content existing in the OFMSW suspension are removed during the wet mechanical treatment (WMT). In a second phase, 5 scenarios were tested with different reductions in water consumption in WMT and the different variables were monitored in the same one, being with the 5th scenario that had the highest reduction of water consumption in the process.

There were also evaluated the impacts of water consumption reduction in AD comparing the parameters of design and operation of the digesters and the control data collected in its operation, including hydraulic retention time, pH, temperature, removal efficiency, biogas generated ton of OFMSW, as well as the daily production of biogas and electricity, before and after reduction of the hydration of the influent suspension as well as the and maintenance operations and interventions made in the digesters.

It was concluded that their efficiency is much more sensitive to operational changes that have occurred in the heating and stirring system than the reduction of water consumption that occurred in parallel.

PALAVRAS CHAVE

Tratamento Mecânico e Biológico

Digestão anaeróbia

Resíduos Sólidos Urbanos

Balanço Mássico

Digestor anaeróbio

KEY WORDS

Mechanical and Biological Treatment

Anaerobic Digestion,

Urban Solid Waste

Mass Balance

Anaerobic Digester

AGRADECIMENTOS

À Doutora Catarina Pereira e à Engenheira Sandra Gouveia, pela oportunidade de realizar o estágio na secção do Tratamento Biológico da Unidade de TMB de Aveiro da ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro S.A., por toda a dedicação e disponibilidade manifestada ao longo do mesmo, pelos meios criados para que fosse possível a realização do presente trabalho e por todo o apoio e amizade.

À Dra. Renata Fonseca, ao Engenheiro Ricardo Almeida, ao Engenheiro Patrick Vaz e à Engenheira Andreia Martins, pelo ambiente criado e pela amizade.

Aos colaboradores da secção de Tratamento Biológico, pela colaboração e amabilidade ao longo do estágio.

Ao meu Orientador, Professor Doutor Artur Figueirinha, pelo apoio e paciência demonstrado ao longo do trabalho.

Ao meu Co-orientador Professor Doutor Pedro Baila Antunes, pela disponibilidade para me auxiliar com as minhas dúvidas e por todo o apoio.

Aos meus pais, por me proporcionarem todas as condições para eu poder ser a pessoa que sou hoje, e por todo o apoio e incentivo mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao Tiago Dunas, pelo apoio, compreensão, pela energia positiva, pela amizade, e por todo o tempo disponibilizado.

Ao Hugo Cunha, pelo tempo que me disponibilizou, pelo apoio e pela amizade.

À minha companheira de aventuras Filipa Pinto, por toda a amizade, por todos os momentos fantásticos, pelas opiniões e troca de ideias. Sem ti era muito mais difícil.

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|-------|
| ÍNDICE GERAL | xiii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xvii |
| ÍNDICE DE TABELAS..... | xxi |
| ABREVIATURAS E SIGLAS | xxiii |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Enquadramento..... | 1 |
| 1.2 Plano de Trabalhos do Estágio..... | 2 |
| 1.3 Organização do Relatório | 4 |
| 2. Digestão Anaeróbia..... | 7 |
| 2.1 Bioquímica da Digestão Anaeróbia..... | 7 |
| 2.2 Digestão Anaeróbia da FORSU..... | 10 |
| 3. Principais Processos de Digestão Anaeróbia Aplicados ao Tratamento da FORSU..... | 13 |
| 3.1.1 Processo de uma só Fase | 15 |
| 3.1.2 Processo em múltiplas fases | 18 |
| 3.1.3 Processo Descontínuo..... | 20 |
| 4. Pré-Tratamentos da FORSU | 23 |
| 4.1 Pré-Tratamentos Físicos..... | 23 |
| 4.1.1 Pré-Tratamentos Mecânicos..... | 24 |
| 4.2 Pré-Tratamentos Biológicos..... | 25 |
| 4.3 Pré-Tratamentos Químicos..... | 25 |
| 5. Parâmetros de Controlo do Processo de Digestão Anaeróbia..... | 27 |
| 5.1 pH..... | 27 |
| 5.2 Temperatura | 28 |
| 5.3 Humidade | 29 |
| 5.4 Ácidos Orgânicos Voláteis | 30 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.5 | Tempo de Retenção | 30 |
| 5.6 | Eficácia de Remoção do Substrato | 31 |
| 5.7 | Produção de Biogás | 32 |
| 5.8 | Balanço de Mássico..... | 32 |
| 6. | Caso de estudo: CITV de RSU - Aveiro | 35 |
| 6.1 | Caracterização da ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro S.A..... | 35 |
| 6.2 | Descrição da Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico de RSU de Aveiro | 39 |
| 6.2.1 | Tratamento Mecânico | 39 |
| 6.2.2 | Tratamento Biológico..... | 51 |
| 6.2.3 | Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais | 59 |
| 7. | Material e Métodos..... | 63 |
| 7.1 | Amostragem | 63 |
| 7.1.1 | Localização dos Pontos de Amostragem | 64 |
| 7.1.2 | Amostragem e Parâmetros a Analisar | 69 |
| 7.1.3 | Amostragem para a Determinação dos Caudais de Saída de Leves e Pesados no TMH da FORSU..... | 75 |
| 7.1.4 | Recolha das Amostras Pontuais | 85 |
| 7.2 | Métodos..... | 86 |
| 7.2.1 | Caracterização da FORSU | 86 |
| 7.2.2 | Determinação do Teor de ST..... | 87 |
| 7.2.3 | Determinação do Teor de SV | 88 |
| 7.2.4 | Determinação da Massa Volúmica | 88 |
| 7.2.5 | Estimativa das entradas de Água no Processo de TMH da FORSU – Teorema de <i>Bernoulli</i> | 89 |
| 7.2.6 | Balanços de Massa | 93 |
| 8. | Otimização do Consumo de Água do Processo de TMH da FORSU | 97 |
| 8.1 | Caraterização do Processo de TMH da FORSU | 98 |
| 8.1.1 | Avalização do TMH da FORSU relativamente a sólidos e a água..... | 98 |
| 8.1.2 | Balanços Mássicos Realizados ao Processo de TMH da FORSU | 114 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 8.1.3 | Conclusões..... | 127 |
| 8.2 | Redução dos Fluxos de Água no Processo de TMH da FORSU..... | 129 |
| 8.2.1 | Conclusões..... | 145 |
| 9. | Impacto da redução do consumo de água nos Digestores Anaeróbios e outras intervenções | 147 |
| 9.1 | Operação da DA prévia à redução do consumo de água..... | 149 |
| 9.2 | Operação da DA após redução do consumo de água e outras intervenções | 155 |
| 9.3 | Benefícios da redução do consumo de água e mudanças operacionais nos digestores anaeróbios..... | 160 |
| 10. | Desenvolvimentos Futuros | 161 |
| 11. | Atividades Desenvolvidas Durante o Estágio | 163 |
| 12. | Conclusão | 165 |
| | Referências | 167 |
| | Anexo I – Folhas de registos..... | 171 |
| | Anexo II – Resultados experimentais das campanhas de amostragem do período de caracterização do TMH..... | 179 |
| | Anexo VI – Resultados experimentais das campanhas de amostragem no período redução do consumo de água do TMH da FORSU..... | 209 |
| | Anexo V – Critérios e dados de operação e controlo fornecidos pela ERSUC | 229 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2-1 Esquema do processo de DA (Adaptado de: Ribeiro, 1999) | 8 |
| Figura 3-1 Esquema simplificado de um processo de um digestor anaeróbio da FORSU (Adaptado de: Verma, 2002)..... | 15 |
| Figura 3-2 Exemplo de um esquema de um processo de DA da FORSU de uma fase (Adaptado de: Wtert, 2009)..... | 15 |
| Figura 3-3 – Exemplo de um esquema do processo DA da FORSU em múltiplas fases (Adaptado de: Wtert, 2009)..... | 19 |
| Figura 3-4 – Esquema do sistema descontínuo de digestão anaeróbia | 21 |
| Figura 6-1 Mapa da área geográfica de atuação do SMTV de RSU do Litoral Centro atribuído à ERSUC | 38 |
| Figura 6-2 TMS de RSU: Linha de alimentação | 41 |
| Figura 6-3 TMS de RSU: linhas dos resíduos orgânicos..... | 42 |
| Figura 6-4 TMS de RSU: linha dos recicláveis | 44 |
| Figura 6-5 TMS de RSU: linha do CDR | 45 |
| Figura 6-6 Fluxograma geral do TMS de RSU quando estes chegam ao CITV de RSU | 46 |
| Figura 6-7 TMH da FORSU | 51 |
| Figura 6-8 Tratamento Biológico | 55 |
| Figura 6-9 Processo de compostagem da fração sólida do produto digerido | 57 |
| Figura 6-10 Fluxograma geral do TMH e do tratamento biológico..... | 58 |
| Figura 6-11 Fluxograma da ETARI | 61 |
| Figura 7-1 Fluxograma do TMH com os diferentes pontos de amostragem assinalados..... | 64 |
| Figura 7-2 Local de amostragem do ponto P1 | 65 |
| Figura 7-3 Local de amostragem dos pontos P2 (A), P4 (B), P5 (C), P8 (D) e P13 (E) | 66 |
| Figura 7-4 Local de amostragem do ponto P6 | 67 |
| Figura 7-5 Local de amostragem dos pontos P3 (A), P7 (B) e P9 (C) | 67 |
| Figura 7-6 - Local de amostragem do ponto P10 | 68 |
| Figura 7-7 - Local de amostragem dos pontos P11 (A) e P12 (B) | 68 |
| Figura 7-8 - Pontos de amostragem P14 (A) e P15 (B)..... | 69 |
| Figura 7-9 Raspador utilizado no auxílio da recolha de amostras de massa nos pontos P2, P4, P5, P6, P8 e P13. | 75 |
| Figura 7-10 Estrutura onde se realizou a recolha das amostras no Ponto P2 relativos ao <i>pulper</i> | 77 |
| Figura 7-11 Peças construídas para a recolha das amostras no ponto P2..... | 77 |

| | |
|--|-----|
| Figura 7-12 Vista de cima das peças colocadas no Ponto P2 para ser iniciada a recolha de amostras..... | 79 |
| Figura 7-13 Peça de recolha dos pesados do fundo do DS e a mesma aplicada na esturra de recolha dos mesmos..... | 80 |
| Figura 7-14 Peça de aparo dos pesados após ser cortada e soldadas chapas metálicas.... | 81 |
| Figura 7-15 – Alterações da estrutura no local de recolha dos pesados do crivo rotativo húmido Legenda: A - Estrutura do sem-fim sem a peça de amparo dos pesados, por forma possibilitar a recolha dos mesmos; B - Peça encaixada na estrutura do sem-fim de forma a amparar os pesados do CRH..... | 82 |
| Figura 7-16 – Peça de recolha dos pesados provenientes do crivo rotativo húmido e a mesma devidamente instalada no local de recolha das amostras..... | 82 |
| Figura 7-17 Peça devidamente instalada no local de recolha das amostras de pesados do CRH..... | 83 |
| Figura 7-18 – Aplicação da peça de recolha de amostras de pesados dos HC1 e HC2..... | 84 |
| Figura 7-19 HC1 (A) e HC2 (B) com a peça devidamente instalada antes de se iniciar a recolha das amostras de pesados | 85 |
| Figura 7-20 Peça utilizada na recolha de amostras pontuais no local de descarga do sem-fim dos pesados do <i>pulper</i> | 86 |
| Figura 7-21 Fluxograma do TMH com os diferentes pontos de entrada de água | 90 |
| Figura 7-22 Ábaco da curva característica do sistema de bombagem instalado. | 92 |
| Figura 7-23 Fluxograma das fronteiras, das entradas e das saídas consideradas para realização do BM global ao TMH | 94 |
| Figura 8-1 Resultados obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU (finos $X < 20\text{mm}$). 99 | |
| Figura 8-2 Resultados obtidos nas caracterização realizada à FORSU (finos $X < 10\text{mm}$) ... | 101 |
| Figura 8-3 Variação do teor de ST nas amostras totais da FORSU (ponto P1)..... | 102 |
| Figura 8-4 Variação do teor de ST na suspensão ao longo do TMH | 103 |
| Figura 8-5 Variação do teor de ST nos pesados removidos no fundo do <i>pulper</i> (ponto P2)104 | |
| Figura 8-6 Variação do teor de ST nos pesados do CRH (ponto P4), do HC1 (ponto P8) e dos leves (ponto P6) e dos pesados do DS (ponto P5)..... | 105 |
| Figura 8-7 Variação do teor de ST nos pesados do HC1 com (P8´) e sem (P8´´) a realização da lavagem dos mesmos | 106 |
| Figura 8-8 Variação do teor de ST na suspensão à entrada (P7) e à saída (P9) do HC1 .. | 108 |
| Figura 8-9 Variação do teor de ST na suspensão no seu trajeto entre a saída DS e a entrada no HC2 | 109 |
| Figura 8-10 Variação do teor de ST nos pesados removidos pelo HC2 (ponto P13)..... | 111 |

| | |
|---|-----|
| Figura 8-11 Variação do teor de ST nos pesados HC2 com e sem a realização da lavagem dos mesmos | 112 |
| Figura 8-12 Variação do teor de ST na suspensão à saída do HC2 (Ponto P14) e à saída do TI (Ponto P15) | 113 |
| Figura 8-13 Fluxograma com as fronteiras do TMH e os dados utilizados para a realização do BM aos fluxos de água | 116 |
| Figura 8-14 Fluxograma das fronteiras do TMH com os resultados obtidos para entradas e saídas do BM aos fluxos de água | 117 |
| Figura 8-15 Fluxograma com as fronteiras do TMH e os dados utilizados para a realização do BM aos ST | 121 |
| Figura 8-16 Fluxograma das fronteiras do TMH com os resultados obtidos para as entradas e saídas do BM aos ST | 122 |
| Figura 8-17 Fluxograma das fronteiras do TMH com os resultados das entradas e saídas para o BM global..... | 125 |
| Figura 8-18 Resultados obtidos nas caracterização realizada à FORSU (finos X<20 mm) | 129 |
| Figura 8-19 Resultados obtidos nas caracterização realizada à FORSU (finos X<10 mm) | 130 |
| Figura 8-20 Variação do teor de ST na suspensão ao longo do TMH antes e durante as reduções do consumo de água no mesmo | 139 |
| Figura 8-21 Variação do teor de ST nos pesados e leves removidos ao longo do TMH antes e durante as reduções do consumo de água no mesmo..... | 140 |
| Figura 9-1 Variação do TRH nos digestores 1 e 2 para o 1º período | 149 |
| Figura 9-2 Variação da temperatura média nos digestores 1 e 2 para o 1º período | 150 |
| Figura 9-3 Taxa de crescimento das bactérias metanogénicas psicrófilas, mesófilas e termófilas em função da temperatura (Fonte: Gonçalves, 2008)..... | 151 |
| Figura 9-4 Variação do pH nos digestores 1 e 2 para o 1º período | 152 |
| Figura 9-5 Eficiência de remoção do substrato nos digestores 1 e 2 para o 1º período | 153 |
| Figura 9-6 Biogás gerado por tonelada de FORSU no 1º Período | 154 |
| Figura 9-7 Produção diária de energia elétrica e biogás no 1º Período..... | 155 |
| Figura 9-8 Variação do TRH nos digestores 1 e 2 para o 2º período | 156 |
| Figura 9-9 Variação da temperatura média nos digestores 1 e 2 para o 2º período | 157 |
| Figura 9-10 Variação do pH nos digestores 1 e 2 para o 2º período | 158 |
| Figura 9-11 Eficiência de degradação do substrato nos digestores 1 e 2 para o 1º período | 158 |
| Figura 9-12 Biogás gerado por Kg de FORSU no 2º Período | 159 |
| Figura 9-13 Produção diária de energia elétrica e biogás no 2º Período..... | 160 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1-1 - Plano de Trabalhos do Estágio | 3 |
| Tabela 1-2 - Cronograma de Trabalhos | 4 |
| Tabela 3-1 Vantagens e desvantagens dos processos de DA por processos de uma fase em termos técnicos, biológicos, económicos e ambientais para processos por via líquida e semilíquida (Adaptado de: Vandevivere, 2002; Reichert, n.d.)..... | 16 |
| Tabela 3-2 Vantagens e desvantagens dos sistemas de DA por processos de uma fase em termos técnicos, biológicos, económicos e ambientais para processos por via húmida (Adaptado de: Vandevivere, 2002; Reichert, n.d.)..... | 17 |
| Tabela 3-3 Vantagens e desvantagens dos processos de DA da FORSU de múltiplas fases (Adaptado de: Vandevivere, 2002)..... | 20 |
| Tabela 3-4 Vantagens e desvantagens dos processos de DA da FORSU por processos descontínuos (Reichert, n.d.; Picanço, 2004)..... | 22 |
| Tabela 6-1 Concelhos servidos por cada uma das estações de transferência da ERSUC e a respetiva central de destino dos RSU | 36 |
| Tabela 7-1 Campanhas de amostragem..... | 70 |
| Tabela 7-2 Plano de amostragem para o controlo analítico do TMH..... | 71 |
| Tabela 7-3 Grupos e categorias dos componentes da FORSU e exemplos dos componentes típicos dessas categorias..... | 87 |
| Tabela 7-4 – Localização, finalidade e parâmetros a determinar nos diferentes pontos de amostragem..... | 91 |
| Tabela 8-1 Tabela das médias, máximos e mínimos obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU (finos $X < 20\text{mm}$) | 100 |
| Tabela 8-2 Médias, máximos e mínimos obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU (finos $X < 10\text{mm}$) | 101 |
| Tabela 8-3 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nas amostras totais da FORSU (ponto P1) | 102 |
| Tabela 8-4 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nas amostras da suspensão ao longo do TMH | 103 |
| Tabela 8-5 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados removidos no fundo do <i>pulper</i> (ponto P2) | 104 |
| Tabela 8-6 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados do CRH (ponto P4), do HC1 (ponto P8) e dos leves (ponto P6) e dos pesados do DS (ponto p5) .. | 106 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 8-7 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados do HC1 com (P8´) e sem (P8´´) a realização da lavagem dos mesmos..... | 107 |
| Tabela 8-8 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST na suspensão à entrada (P7) e à saída (P9) do HC1..... | 108 |
| Tabela 8-9 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST na suspensão no interior do THC2 (ponto p11) e à entrada do HC2 (ponto P12)..... | 109 |
| Tabela 8-10 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados removidos pelo HC2 (ponto P13)..... | 111 |
| Tabela 8-11 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados do HC1 com (P8´) e sem (P8´´) a realização da lavagem dos mesmos..... | 112 |
| Tabela 8-12 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST na suspensão à saída do HC2 (Ponto P14) e à saída do TI (Ponto P15)..... | 113 |
| Tabela 8-13 BM aos fluxos de água do TMH..... | 118 |
| Tabela 8-14 Balanço mássico aos ST do TMH..... | 123 |
| Tabela 8-15 BM global ao TMH..... | 126 |
| Tabela 8-16 Médias, máximos e mínimos dos resultados obtidos para as caracterizações da FORSU à entrada no <i>pulper</i> , com os peneiros de 20 e 10 mm, da situação de referência do TMH, e da fase de redução dos consumos de água no mesmo, antes e após a troca das malhas do crivo de malha elástica..... | 131 |
| Tabela 8-17 Reduções das entradas de água no TMH..... | 133 |
| Tabela 8-18 Média da razão água/FORSU no <i>pulper</i> durante os diferentes períodos de redução de água..... | 138 |

ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------------|--|
| AGV | Ácidos Gordos Voltáteis |
| AOV | Ácidos Orgânicos Voláteis |
| BM | Balanço Mássico |
| CaCO ₃ | Carbonato de Cálcio |
| CDR | Composto Derivado de Resíduos |
| CER | Redução Certificada de Emissões |
| CITV | Centro Integrado de Tratamento e Valorização |
| CQO | Carência Química de Oxigênio |
| CRH | Crivo Rotativo Húmido |
| DA | Digestão anaeróbia |
| DS | Desarenador |
| ECAL | Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos |
| ETARI | Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais |
| FORSU | Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos |
| HC1 | Hidrociclone 1 |
| HC2 | Hidrociclone 2 |
| MDL | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo |
| MO | Matéria Orgânica |
| OI | Osmose Inversa |
| PEAD | Poliétileno de Alta Densidade |
| PEBD | Poliétileno de Baixa Densidade |
| PET | Politereftalato de Etileno |
| RSU | Resíduos sólidos urbanos |
| SMTV | Sistema Multimunicipal de Tratamento e Valorização |
| ST | Sólidos Totais |
| SV | Sólidos Voláteis |
| THC2 | Tanque do Hidrociclone 2 |
| TI | Tanque Intermédio |
| TMB | Tratamento Mecânico e Biológico |
| TMH | Pré-tratamento Mecânico Húmido |
| TMS | Tratamento Mecânico Seco |
| TP | Tanque Pulmão |

| | |
|-----|------------------------------|
| TRC | Tempo de Retenção Celular |
| TRH | Tempo de Retenção Hidráulica |
| UF | Ultrafiltração |

1. Introdução

1.1 Enquadramento

O presente relatório realizou-se no âmbito do estágio curricular do curso de Mestrado de Tecnologias Ambientais da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, que decorreu durante o período de 2 de dezembro de 2013 a 31 de maio de 2014, na unidade industrial de tratamento mecânico e biológico (TMB) de resíduos sólidos urbanos (RSU) do Centro Integrado de Tratamento e Valorização (CITV) de RSU da ERSUC – Resíduos do Centro S.A. de Aveiro, Eirol, que integra o Sistema Multimunicipal de Tratamento e Valorização (SMTV) de RSU do Litoral Centro.

O referido estágio inseriu-se na área do tratamento de resíduos, e enquadrou-se na questão do TMB de RSU, tendo tido especial enfoque no TMB realizado à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU), designadamente a digestão anaeróbia (DA) e o pré-tratamento mecânico húmido (TMH) da FORSU, doravante apenas designado por TMH, que precede a DA.

O processo da DA é ainda uma tecnologia em desenvolvimento no nosso país, contudo a nível Europeu é um método já bastante difundido em alguns países, sendo que na última década tem-se vindo a registar um grande desenvolvimento e aperfeiçoamento nesta área, em muito devido às políticas de gestão de resíduos aprovadas para se reduzirem problemas ambientais e sanitários da deposição em aterro.

O fomento para implementação deste tipo de tecnologia no nosso país deve-se à Diretiva Europeia 1999/31/EC relativa à deposição de resíduos em aterro, transposta para o direito nacional pelo DL nº 152/2002 de 23 de maio, a qual demarca que até ao ano de 2016 deverá ser realizada uma redução de resíduos biodegradáveis depositados em aterro em 35% relativamente à quantidade produzida em 1995. Para tal, as principais soluções para a gestão da FORSU é a recuperação de fluxos de resíduos orgânicos e a implementação de tratamentos biológicos (Monte, 2010).

A produção de biogás como um dos subprodutos da DA, é também um demais interesse, pois este pode ser utilizado como uma fonte de energia renovável contribuindo para obter a

redução certificada de emissões (CER) e créditos por mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto (Garcia, 2011).

O presente relatório tem como objetivos:

- Caracterização genérica do CITV de RSU e mais detalhadamente da sua unidade de TMB;
- Caracterização do processo de DA, incluindo o seu pré-tratamento e valorização energética a jusante;
- Estudo dos fluxos de água no TMH e realização de balanços mássicos (BMs), incluindo a realização de análises físico-químicas;
- Investigação dos impactes no desempenho do processo de DA, provocados pelos reajustes no consumo de água em alguns pontos do processo, e de outras intervenções de operação e manutenção realizadas nos digestores anaeróbios.

Com este estudo pretende-se investigar a possibilidade de minimizar os consumos de água no TMH sem comprometer o desempenho dos digestores anaeróbios, através do estudo dos fluxos de água e da realização de BMs ao processo. Para tal foi necessária a recolha de dados, a realização de estimativas de caudais e de análises físico-químicas. Foram ainda realizados testes de redução do consumo de água no TMH em diferentes pontos do mesmo, com vista à redução do consumo de água em alguns pontos do processo.

1.2 Plano de Trabalhos do Estágio

Como referido anteriormente, o estágio realizado na ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro S.A. teve a duração de 26 semanas, compreendidas entre dezembro de 2013 e junho de 2014, e previa a realização do plano de trabalho apresentado na Tabela 1-1, associado ao cronograma representado na Tabela 1-2.

Tabela 1-1 - Plano de Trabalhos do Estágio

| Tarefa | Título | Descrição |
|--------|--|---|
| T1 | Pesquisa bibliográfica | Pesquisa bibliográfica do processo de DA da FORSU por via húmida, incluindo o seu pré-tratamento e valorização energética. |
| T2 | Caracterização do processo em estudo | Caracterização do CITV de RSU e da TMB, particularizando o processo de DA. |
| T3 | Estudo dos consumos de água e realização de BMs ao processo em estudo | <p>Estimativa das entradas de água no TMH.</p> <p>Realização de medições dos caudais de saída de pesados e leves no TMH.</p> <p>Análises físico-químicas, na suspensão da FORSU, nos pesados e nos leves do TMH.</p> <p>Realização de BMs ao TMH, e identificação dos locais passíveis de se reduzir o consumo de água.</p> |
| T4 | Realização de medições, de análises físico-químicas e recolha de dados | Análises físico-químicas, na suspensão da FORSU, nos pesados e nos leves do TMH, para monitorização do processo durante a redução do consumo de água do mesmo. |
| T5 | Investigação dos impactos na performance do processo de DA, provocadas por reajustes das entradas de água no TMH, e das intervenções de operação e manutenção do mesmo | Recolha de dados ao nível dos parâmetros de operação no digestor, na matéria orgânica efluente e no biogás produzido. |
| T6 | Elaboração do Relatório de Estágio | |

Tabela 1-2 - Cronograma de Trabalhos

| Tarefa | Dez. 2012 | Jan. 2013 | Fev. 2013 | Mar. 2013 | Abr. 2013 | Mai. 2013 | Jun. 2013 |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T1 | | | | | | | |
| T2 | | | | | | | |
| T3 | | | | | | | |
| T4 | | | | | | | |
| T5 | | | | | | | |
| T6 | | | | | | | |

1.3 Organização do Relatório

O presente relatório é composto por doze capítulos e cinco anexos. Este pode ser dividido em duas partes, uma primeira, composta pelos capítulos 1, 2, 3, 4 e 5 onde é realizado um enquadramento teórico do tema em questão. E uma segunda parte, onde é apresentado o caso de estudo relativo à Unidade de TMB da ERSUC.

De seguida apresenta-se uma descrição do conteúdo de cada um dos capítulos do presente relatório de estágio.

No primeiro capítulo é realizada uma introdução de contextualização do tema em questão, o plano de trabalhos do estágio e a organização do presente relatório.

No segundo capítulo é realizada uma descrição genérica da bioquímica da DA, e focados alguns aspetos importantes relativamente à DA da FORSU.

O capítulo seguinte refere os principais processos de DA aplicados no tratamento da FORSU, assim como algumas das suas principais vantagens e desvantagens.

No quarto capítulo são abordados os três tipos de pré-tratamentos que podem ser realizados aos resíduos orgânicos, nomeadamente os pré-tratamentos físicos, biológicos e químicos.

No quinto capítulo apresenta alguns dos parâmetros de operação e controlo do processo de DA, nomeadamente o pH, a temperatura, humidade, os ácidos orgânicos voláteis (AOV),

tempo de retenção, características e a eficiência de remoção do substrato, a produção de biogás e os balanços mássicos.

O sexto capítulo é dedicado à caracterização genérica do CITV de RSU e mais detalhadamente da sua unidade de TMB, sendo realizada a caracterização do processo de DA, incluindo o seu pré-tratamento e valorização energética a jusante.

No capítulo sete são descritos os locais de amostragem, as amostragens realizadas e quais os parâmetros analisados para as mesmas, o procedimento usado na recolha de amostras para o cálculo dos caudais de pesados e leves que são removidos durante o TMH e como foram recolhidas as amostras pontuais no mesmo. São ainda descritas as metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos das diferentes amostras, a metodologia utilizada na determinação das entradas de água no processo, e a metodologia utilizada na realização dos BMs ao TMH.

No oitavo capítulo é apresentada a caracterização realizada à operação do TMH, os resultados dos BMs realizados ao mesmo, e a avaliação da operação do TMH no decorrer dos períodos de redução das entradas de água em cinco cenários experimentados no mesmo.

Neste capítulo são analisados os possíveis impactos que a redução do consumo de água no TMH poderá ter tido na DA. São analisados os parâmetros de conceção e operação dos digestores anaeróbios e os dados de controlo recolhidos da sua operação, antes e após a redução da hidratação da suspensão, sendo efetuada uma análise comparativa sistematizada.

No décimo capítulo são descritos alguns trabalhos que poderão vir a ser desenvolvidos futuramente.

No capítulo seguinte é ainda realizada uma descrição das atividades desenvolvidas durante o estágio paralelamente ao estágio realizado.

No décimo segundo capítulo apresentam-se as conclusões gerais retiradas do trabalho realizado, bem como algumas sugestões para trabalho futuro.

Quanto aos anexos, estes estão organizados do seguinte modo:

- Anexo I – Folhas de registos
- Anexo II - Resultados experimentais das campanhas de amostragem do período de caracterização do TMH

- Anexo III - Resultados obtidos na estimativa das entradas de água no TMH
- Anexo IV – Resultados experimentais das campanhas de amostragem no período redução do consumo de água do TMH
- Anexo V - Critérios e dados de operação e controlo fornecidos pela ERSUC

2. Digestão Anaeróbia

A aplicação da DA no tratamento da FORSU apresenta como vantagem o aumento do tempo de vida útil dos aterros sanitários. O desvio da FORSU para DA evita maus odores e a geração de lixiviados, e tem como um dos produtos o biogás, que pode ser aplicado para valorização energética. A DA apresenta um baixo consumo de energia ao nível do processo, não sendo os produtos resultantes do aproveitamento do gás metano a nível energético, tão prejudiciais para o ambiente como os processos convencionais que utilizam petróleo ou carvão como matéria-prima para a produção de energia elétrica. A DA possibilita ainda a despoluição de efluentes muito concentrados (Ferreira, 2010; Reichert, n.d.).

A DA tem como principal desvantagem, o facto de composição da FORSU poder ser bastante variável, dependendo da zona de geração do RSU e da estação do ano.

A nível de processo, as maiores desvantagens são a possível existência de incrustações e obstruções nas tubagens do mesmo por parte de resíduos com maiores dimensões, especialmente no que respeita a processos contínuos (Reichert, n.d.).

2.1 Bioquímica da Digestão Anaeróbia

A DA é um processo que ocorre na ausência de oxigénio, sendo realizada por bactérias que decompõem a matéria orgânica (MO), e por vezes também a matéria inorgânica, formando uma mistura gasosa composta maioritariamente por metano e dióxido de carbono (Teixeira, 2009).

A maioria dos autores divide o processo de DA em quatro etapas: hidrólise, acidogénese, acetogénese e a metanogénese (Ribeiro, 1999; Garcia, 2011; Azeitona, 2012; Carapinha, 2012), existindo contudo outros que propõem uma divisão em apenas três fases, agrupando a fase da acidogénica e acetogénica (Verma, 2002) ou a fase hidrolítica e acidogénica como uma só (Ferreira, 2010). Existem ainda outros autores que consideram apenas duas fases: hidrólise/acetogénese e metanogénese (Reichert, n.d.).

Os diferentes grupos de microorganismos que intervêm na DA formam um ecossistema simbiótico heterogêneo, fortemente interdependentes, sendo os produtos produzidos numa determinada fase a matéria-prima de base para que se possa realizar a fase seguinte (Ferreira,2010).

A Figura 2-1 apresenta um esquema simplificado das quatro fases da DA, sendo estas seguidamente descritas e uma forma genérica.

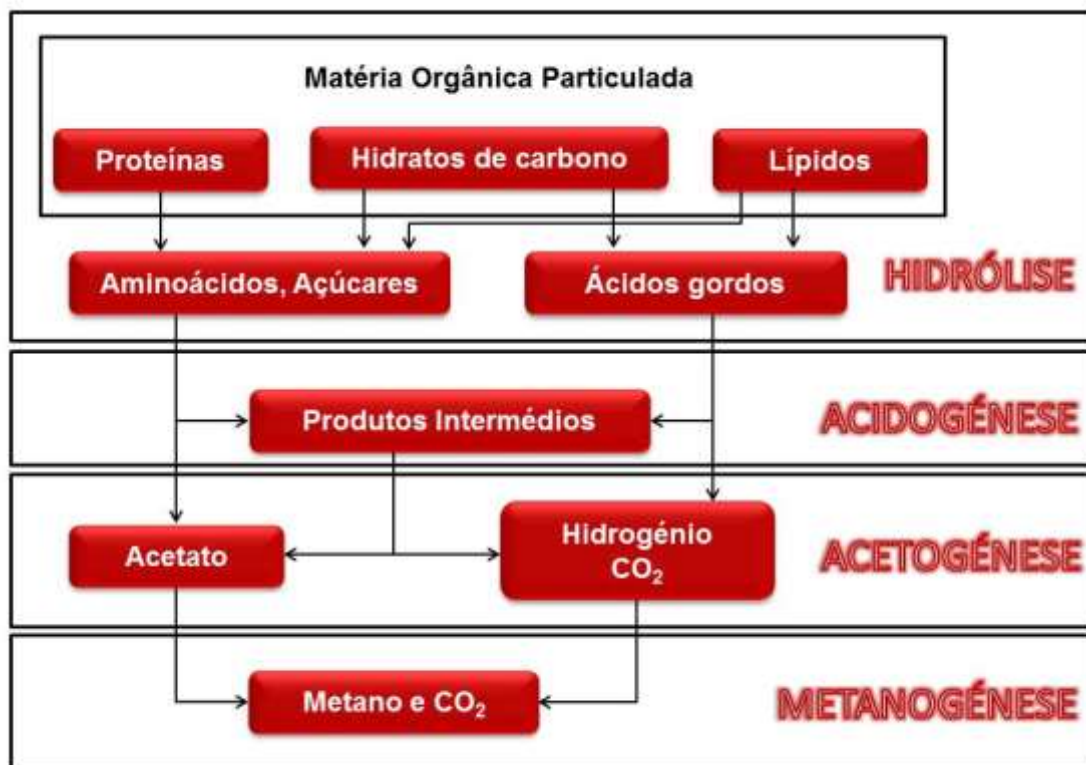


Figura 2-1 Esquema do processo de DA (Adaptado de: Ribeiro, 1999)

Como se pode verificar na Figura 2-1 a primeira etapa da DA é a hidrólise. Nesta fase as proteínas, os hidratos de carbono e os lípidos são hidrolisados, por meio de enzimas extracelulares libertadas por bactérias anaeróbias que os decompõem em monómeros, nomeadamente aminoácidos, açúcares e ácidos gordos de cadeia longa (Ribeiro,1999). Esta é uma fase lenta, processando-se normalmente durante 2 ou 3 dias, não sendo as bactérias envolvidas nesta fase muito sensíveis ao pH nem ao potencial redox do meio (Monte, 2010; Ferreira, 2010).

Após a hidrólise segue-se a fase da acidogénese, em que os monómeros resultantes da fase da hidrólise servem como substrato para esta fase, sendo absorvidos pelas bactérias através da sua membrana celular onde são posteriormente transformados

em produtos intermédios, dando-se a oxidação dos ácidos gordos de cadeia longa e álcoois a ácidos gordos voláteis (AGV) como o ácido propiónico, o ácido butírico e o ácido valérico, e em menores quantidades a acetato, sendo ainda formados o dióxido de carbono e o hidrogénio (Ribeiro,1999; Monte, 2010).

A fase da hidrólise e da acidogénese é realizada por bactérias fermentativas, também designada por hidrolíticas ou acidogénicas respetivamente, e representam cerca de 90% da população bacteriana presente no digestor anaeróbio. As bactérias acidogénicas reproduzem-se mais rapidamente, como tal a fase acidogénica não é habitualmente uma fase limitante da DA. A composição do afluente ao digestor é o fator determinante da variedade das espécies bacterianas envolvidas nestas duas fases (Monte, 2010).

Na DA por via semilíquida e por via húmida, a fase hidrolítica é geralmente considerada como limitante do processo, devido à inibição por acumulação de AGV ou ao tamanho das partículas ser elevado, o que faz com que a superfície de contacto do substrato com os microorganismos seja reduzida (Ferreira, 2010).

Seguidamente inicia-se a fase da acetogénese, na qual os produtos da fase da acidogénese são decompostos, assim sendo os AGV são decompostos em acetato, dióxido de carbono e hidrogénio.

A acetogénese é realizada por ação de dois tipos de bactérias, as bactérias acetogénicas produtoras obrigatórias de hidrogénio, que estimulam a oxidação anaeróbia dos AGV a acetato, e as bactérias acetogénicas utilizadoras de hidrogénio, que produzem acetato, assim como propionato e butirato a partir de hidrogénio e de dióxido de carbono, contribuindo assim para que a pressão parcial de hidrogénio no processo se mantenha baixa (Ribeiro,1999; Monte, 2010).

Na fase final da DA, a metanogénese, ocorre a conversão do ácido acético e da mistura constituída por hidrogénio e dióxido de carbono a metano (Ribeiro,1999).

Neste processo atuam dois grupos principais de bactérias, as bactérias metanogénicas hidrogenofílicas e as bactérias metanogénicas acetoclásticas. As bactérias metanogénicas hidrogenofílicas são responsáveis por cerca de 30% da produção de metano no digestor, estas bactérias são importantes pois têm um tempo de duplicação bastante baixo, tendo assim um papel importante na fase de arranque do processo especialmente em situações de excesso de carga, entre estas bactérias refere-se como exemplo as *Methanospirillum*, que têm como temperatura ótima de funcionamento a gama entre os 33 e os 40 °C e 7 como pH ótimo.

Quanto às bactérias metanogénicas acetoclásticas, existem dois tipos, a *Methanosarcina* e a *Methanosaeta*, estas bactérias são responsáveis pela produção de cerca de 70% do metano no digestor, tendo ainda um papel ativo no controlo do pH do digestor, devido ao facto de removerem ácido acético do mesmo, que está associado à produção de dióxido de carbono, o qual se dissolve no meio e forma uma solução tampão de bicarbonato (ácido carbónico/bicarbonato) (Ribeiro, 1999; Monte, 2010; Ferreira, 2010).

As bactérias envolvidas na fase metanogénica representam a população mais frágil de todo o processo, sendo as mais vulneráveis a condições adversas, nomeadamente à presença de substâncias tóxicas, ou à variação de temperaturas ou do pH no digestor (Monte, 2010).

Num afluente derivado de RSU constituído por polímeros complexos, a hidrólise será bastante lenta devido à dificuldade de acesso ao substrato, como tal esta controlará a velocidade global do processo, podendo mesmo ser considerada a etapa limitante de todo o processo de digestão (Monte, 2010). O uso de reagentes químicos para potencializar a hidrólise pode ajudar a ultrapassar esta limitação (Verma, 2002). Caso o substrato seja facilmente hidrolisado, a fase inibidora do processo será a metanogénese (Monte, 2010).

2.2 Digestão Anaeróbia da FORSU

A FORSU é definida como uma mistura heterogénea de resíduos putrescíveis, que podem ser decompostos por microorganismos. Esta apresenta tipicamente um teor de humidade na ordem dos 40%, sendo que a sua qualidade está diretamente relacionada com o tipo de sistema de recolha utilizado na recolha dos RSU e com o processo de qualificação da mesma (Gonçalves, 2012; Gunaseelan, 1997).

A composição dos RSU é algo muito variável e heterogénea, sendo dependente do tipo de vida das populações que o geram, quais os seus padrões de consumo e o seu nível de desenvolvimento económico, técnico e cultural, do clima, da sazonalidade e da frequência com que é realizada a coleta, assim como da realização ou não de reciclagem por parte das populações.

Os RSU são, uma mistura heterogénea de macromoléculas biodegradáveis, não biodegradáveis, inorgânicas e inertes (Gonçalves, 2012; Gunaseelan, 1997).

A FORSU utilizada como substrato na DA pode provir da fração orgânica obtida por processos de separação mecânica do RSU, de processos de recolha seletiva ou por separação na fonte. Sendo a sua proveniência um fator determinante da sua qualidade, tal como o método de quantificação da mesma.

O tipo de recolha realizado para se obter a FORSU é também determinante na escolha da tecnologia a aplicar para a DA da mesma, pois cada tipo de recolha dá origem a frações orgânicas com diferentes características. São por norma conseguidos rendimentos de biogás superiores na DA da fração orgânica obtida por processos de separação na fonte e pela recolha seletiva, do que na digestão da FORSU obtida por processos de separação mecânica de RSU (Bolzonella *et al*, 2006; Li *et al*, 2011).

A DA da FORSU pode ser realizada através da aplicação de diversas tecnologias, estas distinguem-se de acordo com: o teor de ST existente na fração orgânica que entra no digestor, podendo assim ser classificada como por via líquida, semilíquida ou húmida, pelo regime hidráulico do digestor como contínuo, semi-contínuo ou descontínuo, assim como pela gama de temperaturas a que se dá a DA por mesófila ou termófila (Vandevivere *et al*, 2002).

A DA por via líquida é adequada para efluentes que são processados sob a forma líquida, mesmo que o teor de sólidos seja elevado. Dentro desta classificação o teor de sólidos pode ir até os 8%, pois para valores superiores o efluente apresenta-se sob a forma pastosa, e até em alguns casos, podendo não apresentar água no seu estado livre.

Na DA classificada como por via semilíquida, também designada por via semiseca por alguns autores, o teor de sólidos pode variar entre os 8% e os 15%. A fase líquida e a fase sólida não apresentam uma consistência verdadeiramente sólida nesta classe.

A DA por via húmida, decompõe efluentes orgânicos que, embora apresentem elevados teores de humidade, apresentam-se sob a forma pastosa ou sólida, não apresentando água no estado livre. Assim sendo o teor de sólidos para esta classe pode variar desde os 22% até aos 30% (Ferreira, 2010).

A escolha deste tipo de tecnologia está, como referido anteriormente, não só dependente do tipo de recolha realizada para se obter a FORSU, como também condicionada ao tipo de investimento a realizar. Pois para um processo de baixa carga como o por via húmida, é necessário um digestor com um volume elevado por forma a

serem processadas grandes quantidades de MO, tendo-se ainda com este tipo de tecnologia elevados custos com o tratamento de efluentes.

Um elevado volume do digestor tem como vantagem possibilitar a difusão de possíveis inibidores, e como desvantagens a necessidade do uso de elevados volumes de água, assim como custos elevados de tratamento do efluente. Tecnologias com alto teor de sólidos têm elevadas cargas orgânicas, não exigindo um volume de digestor tão elevado, sendo conseqüentemente necessário um investimento inicial inferior relativamente às tecnologias com baixo teor de sólidos, como contrapartida são necessários equipamentos para esta tecnologia substancialmente mais caros (Goncalves, 2012; Reichert, n.d.).

Os processos biológicos da digestão necessitam de água para se poderem realizar. Estudos realizados nesta área constataam que para concentrações de sólidos até aos 30% existe uma produção de biogás bastante considerável, quando comparado com valores acima dos 30%. Pois para teores de sólidos acima dos 30% verifica-se uma redução na biodegradação da MO, sendo necessário um tempo de retenção hidráulico (TRH) bastante superior para se obter a mesma quantidade de biogás. Tal pode aumentar o risco de concentração de AOV no digestor, o que por sua vez, pode originar a inibição do processo (Ferreira, 2010).

A DA de resíduos sólidos orgânicos por via semilíquida ou húmida é uma solução bastante boa para grandes aglomerados populacionais, uma vez que a sua capacidade de degradar as frações voláteis na MO, pode reduzir significativamente a quantidade de resíduos orgânicos, eliminando assim alguns problemas do escoamento e tratamento dos mesmos.

Atualmente na Europa os processos por via húmida são predominantes, com uma implementação de cerca de 54%, relativamente aos processos líquidos e semilíquidos que apresentam uma percentagem de implementação de 46% (Ferreira, 2010; Reichert, n.d.).

3. Principais Processos de Digestão Anaeróbia Aplicados ao Tratamento da FORSU

Em termos gerais, o processo de DA da FORSU pode ser dividido em quatro fases: pré-tratamento, digestão dos resíduos, recuperação do biogás e tratamento dos resíduos derivados da digestão (pós-tratamento).

No pré-tratamento a fração orgânica de resíduos é triturada, seguindo depois para o digestor ou para o *pulper*, conforme o processo implantado, onde é adicionada uma determinada quantidade de água, com o objetivo de a diluir para se atingir teor de sólidos desejado. As duas frações são misturadas formando uma suspensão (Verma,2002; Vandevivere *et al*, 2002).

Na fase seguinte a suspensão segue para um o digestor anaeróbio. Este é um órgão bastante difícil de projetar. A dificuldade de projeção de um digestor anaeróbio prende-se com a complexidade e variabilidade da composição da fração orgânica de resíduos derivada dos RSU, assim como da escolha dos parâmetros operacionais, tais como tempo de retenção, teor de sólidos, recirculação, inoculação, número de fases em que se deve dividir o processo ou a temperatura (Vandevivere *et al*, 2002). Assim sendo não existe um projeto ideal, de aplicação generalizada para o tratamento de afluentes derivados de RSU, muito provavelmente devido à complexidade dos mecanismos bioquímicos do processo de digestão e ao facto de esta ser uma tecnologia relativamente recente (Vandevivere *et al*, 2002).

Os processos de digestão da FORSU podem ser de apenas uma fase, onde todas as reações ocorrem simultaneamente num único digestor, podem ser processos que se desenvolvem em fases múltiplas, no qual as reações ocorrem sequencialmente em múltiplos digestores e por fim, podem ser realizadas em *batch*, envolvendo dois ou mais digestores entre os quais se dá reciclagem de lixiviados (Wtert, 2009).

Os digestores podem ainda ser de alta ou de baixa carga, sendo os de alta carga uma tecnologia que envolve o aquecimento e a agitação do substrato no interior destes, substrato o qual é tipicamente uniforme neste tipo de digestores. Da combinação destes elementos resulta um ambiente ótimo para se processar a DA, sendo possível reduzir o volume do digestor ao mesmo tempo que aumenta a estabilidade do

processo e a sua eficiência. De acordo com Garcia (2011) uma alimentação uniforme num digestor de alta carga é substancialmente importante, devendo esta ser realizada em contínuo ou em intervalos regulares, por forma a se realizar a manutenção das condições de estado estacionário no digestor e evitando-se assim alterações bruscas na carga orgânica alimentada, alterações as quais que podem ser bastante críticas para as bactérias mais sensíveis do processo de DA, as metanogénicas.

Por outro lado, um digestor de baixa carga é um digestor mais simples, tendo normalmente um TRH que pode variar entre os 30 a 60 dias, neste tipo de digestores o substrato não é agitado, podendo apenas haver uma ligeira agitação promovida pelo biogás formado no interior deste. Este tipo de digestores apresenta uma estratificação no seu interior em quatro camadas: espuma superficial, camada líquida, camada de sólidos em digestão e uma camada de sólidos digeridos, sendo o sobrenadante removido e tratado de forma adequada, assim como os sólidos digeridos (Garcia, 2011).

A água utilizada na diluição pode ter várias proveniências, nomeadamente água da rede, água vinda da desidratação de lamas ou água recirculada proveniente da desidratação final do produto digerido. É geralmente necessário um permutador de calor de forma a manter a temperatura adequada no interior do digestor, ou para aquecer a suspensão formada no *pulper*, caso este exista. Ao biogás obtido na DA é realizado um processo de depuração e desumidificação, sendo de seguida armazenado num gasómetro para posterior aproveitamento energético (Verma, 2002).

No caso específico do tratamento da FORSU, o produto digerido proveniente do digestor anaeróbio é desidratado, sendo que a água resultante deste processo pode ser recirculada para o início do processo e adicionada como água de diluição, como referido anteriormente (Verma, 2002; Vandevivere, 2002). A Figura 3-1 ilustra um esquema simplificado do processo de DA da FORSU.

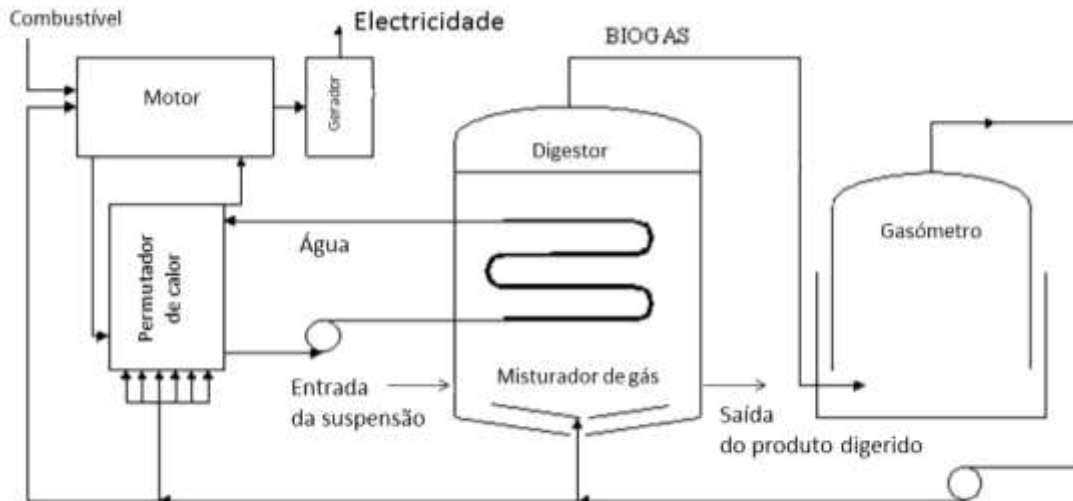


Figura 3-1 Esquema simplificado de um processo de um digestor anaeróbio da FORSU (Adaptado de: Verma, 2002).

3.1.1 Processo de uma só Fase

O processo de uma só fase utiliza apenas um digestor onde se dão as sucessivas fases da DA, este tipo de equipamento tem por norma um TRH (*vide* Capítulo 5) entre 14 a 28 dias (Vandevivere, 2002; Wtert, 2009). Este tipo de processo pode ser aplicado no tratamento de FORSU independentemente do teor de ST existente no substrato que entra no digestor (Reichert, n.d.). A Figura 3-2 apresenta um exemplo deste tipo de processo aplicado no tratamento da FORSU.

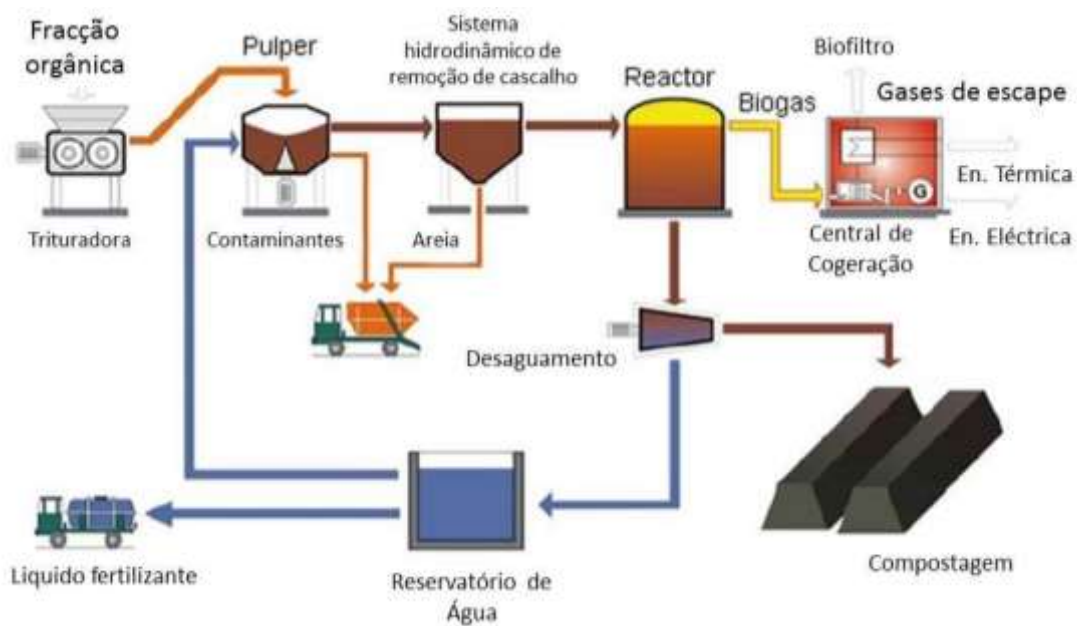


Figura 3-2 Exemplo de um esquema de um processo de DA da FORSU de uma fase (Adaptado de: Wtert, 2009)

Como se pode observar na Figura 3-2, antes de ser iniciado o processo de digestão da FORSU, esta é triturada sendo de seguida encaminhada para o *pulper* onde é adicionada uma determinada quantidade de água à FORSU, com o objetivo de a diluir para atingir teor de sólidos desejado. As duas frações são misturadas formando uma suspensão (Verma, 2002; Vandevivere, 2002). Ainda neste órgão é removida a fração leve (plásticos) e a fração pesada (vidro e pedras) que possam ainda estar presentes. A suspensão é aquecida e segue para o hidrociclone, onde são removidas areias da fase líquida, obtendo-se assim uma suspensão livre de impurezas e homogénea que segue para o digestor anaeróbio (Wtert, 2009).

No digestor as etapas sucessivas da hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese ocorrem em simultâneo, uma vez que o processo é de um só estágio. Dentro do digestor a suspensão é constantemente misturada através de agitadores, pela recirculação de cima para baixo da mesma ou pela injeção de biogás comprimido. O biogás proveniente do digestor é utilizado para aproveitamento energético enquanto o produto digerido é desidratado mecanicamente e enviado para pós-compostagem (Wtert, 2009).

As Tabelas 3-1 e 3-2 apresentam as vantagens e desvantagens deste tipo de processos em termos técnicos, biológicos, económicos e ambientais para os processos de DA por via líquida e semilíquida e por via húmida, respetivamente.

Tabela 3-1 Vantagens e desvantagens dos processos de DA por processos de uma fase em termos técnicos, biológicos, económicos e ambientais para processos por via líquida e semilíquida (Adaptado de: Vandevivere, 2002; Reichert, n.d.)

| Crítérios | Vantagens | Desvantagens |
|-------------------|---|---|
| Técnicos | - É um sistema simples e de fácil operação | - Formação de espumas - Desgaste abrasivo devido a areias -Pré-tratamento mais complexo |
| Biológicos | - Menos suscetível a inibições devido à diluição das substâncias inibidoras possivelmente existentes na FORSU | -Sensível quanto à forma de alimentação -Capacidade de diluição de substâncias inibidoras |

Tabela 3-1 Vantagens e desvantagens dos processos de DA por processos de uma fase em termos técnicos, biológicos, económicos e ambientais para processos por via líquida e semilíquida (Adaptado de: Vandevivere, 2002; Reichert, n.d.) (Cont.)

| Critérios | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------------|---|--|
| Económicos e ambientais | <ul style="list-style-type: none"> - Equipamentos de tratamento de efluentes mais barato, devido ao elevado volume do digestor | <ul style="list-style-type: none"> - Elevado consumo de água - Maior consumo de energia para aquecer o digestor devido ao seu elevado volume |

Tabela 3-2 Vantagens e desvantagens dos sistemas de DA por processos de uma fase em termos técnicos, biológicos, económicos e ambientais para processos por via húmida (Adaptado de: Vandevivere, 2002; Reichert, n.d.)

| Critérios | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------------|--|--|
| Técnicos | <ul style="list-style-type: none"> - Sem partes móveis no interior do digestor - Robusto (não necessita remoção de plásticos e inertes) - Não tem problemas elétricos | <ul style="list-style-type: none"> - Resíduos húmidos com TS >20% não podem ser tratados sozinhos |
| Biológicos | <ul style="list-style-type: none"> - Menor perda de sólidos voláteis (SV) no pré-tratamento - Maior carga orgânica | <ul style="list-style-type: none"> - Pouca capacidade de diluição de substâncias inibidoras |
| Económicos e ambientais | <ul style="list-style-type: none"> - Pré-tratamento mais barato e digestores de dimensões menores, relativamente ao mesmo processo mas por via líquida ou semilíquida, logo o custo de investimento é menor - Higienização completa - Utilização de volumes de água reduzidos - Requer menos aquecimento | <ul style="list-style-type: none"> -Necessidade de equipamentos mais robustos e caros para o manejo da massa em digestão (compensado por reatores menores e mais simples) |

Num processo em que DA se dá numa só fase, ou seja num único digestor, para se obter o rendimento máximo do digestor, a sua alimentação deveria ser realizada em contínuo. Contudo tal não é aplicável à escala real pois este tipo de indústrias não

trabalha ininterruptamente, sendo a alimentação do digestor habitualmente realizada de forma descontínua, geralmente uma vez por dia.

Existem ainda oscilações de temperatura típicas nestes digestores, entre o dia e a noite ou ao longo dos dias, pois embora estes sejam aquecidos as oscilações meteorológicas do meio que os envolve tem repercussões na sua temperatura, o que normalmente se traduz numa diminuição da performance deste tipo de digestores (Gunaseelan, 1997).

3.1.2 Processo em múltiplas fases

No processo em múltiplas fases são utilizados dois ou mais digestores para realizar as diferentes fases da DA. O fundamento deste processo é separar a fase de hidrólise da fase metanogénica, com o objetivo de aumentar a produção de biogás a partir do aumento do rendimento de cada uma das reações, assim como de tornar todo o processo mais seguro. No primeiro digestor o TRH é condicionado pela taxa de hidrolisação da celulose, sendo que no segundo digestor é influenciado pela taxa de crescimento bacteriano (Wtert, 2009; Verma, 2002; Reichert, n.d.).

A Figura 3-3 ilustra um exemplo de um processo em múltiplas fases de DA da FORSU. Neste processo a fase inicial de pré-tratamento da FORSU antes de entrar para o digestor, e o aproveitamento energético do biogás são muito semelhantes ao processo de digestão de uma só fase já descrito anteriormente.

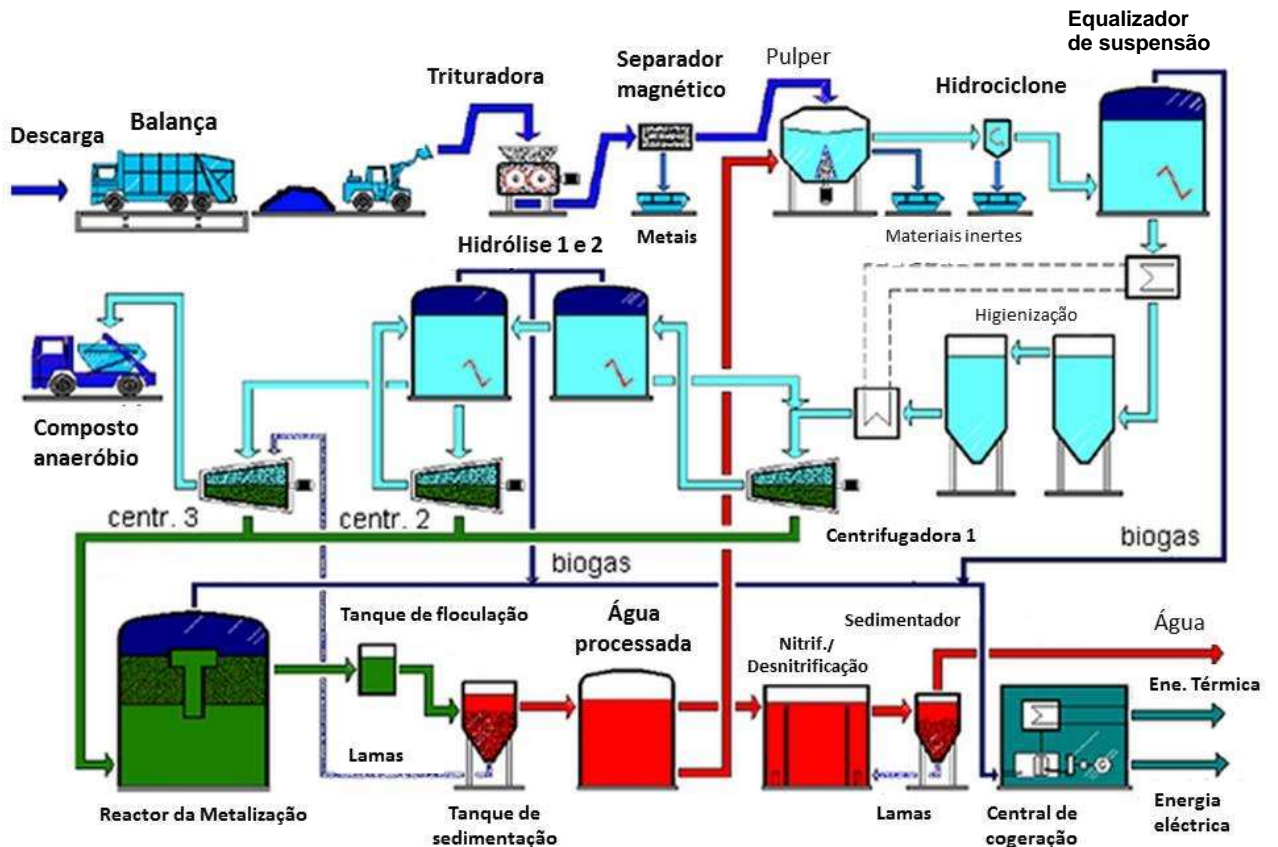


Figura 3-3 – Exemplo de um esquema do processo DA da FORSU em múltiplas fases
(Adaptado de: Wtert, 2009)

Depois do pré-tratamento realizado à FORSU, e de ser obtida uma suspensão homogénea e livre de impurezas e inertes, é a partir daqui que este processo difere do processo de digestão de uma só fase. Sendo a suspensão higienizada e de seguida centrifugada, obtendo-se assim duas frações, uma com uma elevada quantidade de MO que segue diretamente para um digestor onde se dá a metanogénese, e outra onde aos sólidos desidratados é adicionada água, sendo de seguida encaminhada para o digestor onde se dá a hidrólise para degradar os sólidos orgânicos remanescentes (Wtert,2009).

Após um tempo de retenção entre 2 a 4 dias, a suspensão em digestão no digestor onde se realiza a hidrólise é centrifugada e a fração líquida daí resultante encaminhada para o digestor onde está a ocorrer a metanogénese. Por sua vez a fração sólida resultante da centrifugação é enviada para compostagem (Wtert,2009).

As águas residuais do digestor onde ocorre a metanogénese podem ser tratadas por floculação e desnitrificação, como no exemplo da Figura 3-3 (Wtert,2009). A Tabela 3-3 apresenta as vantagens e desvantagens deste tipo de sistema.

Tabela 3-3 Vantagens e desvantagens dos processos de DA da FORSU de múltiplas fases (Adaptado de: Vandevivere, 2002)

| Crítérios | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------------|--|---|
| Técnicos | - Flexibilidade a nível de projeto | - São complexos |
| Biológicos | - Mais viável para resíduos com baixo teor de celulose, como por exemplo os resíduos de domésticos | - Menor produção de biogás |
| Económicos e ambientais | - Menor quantidade de metais pesados no composto | - Requer um investimento maior relativamente a outro tipo de processo |

De acordo com Reichert (n.d.), se os processos de DA numa só fase e em múltiplas fases forem comparados, à escala real não se verifica a vantagem teórica esperada dos processos de uma única fase relativamente aos processos de separação das fases da DA. Contudo verifica-se uma predominância da aplicação dos processos de estágio único relativamente aos processos de múltiplas fases, com cerca de 92% do mercado.

3.1.3 Processo Descontínuo

O processo descontínuo envolve dois ou mais digestores entre os quais se dá reciclagem de lixiviados. A Figura 3-4 é uma representação esquemática do funcionamento de um sistema sequencial descontínua.

Numa primeira fase, a FORSU é encaminhada para um primeiro digestor, sendo as lamas do digestor que se encontra na última fase do processo (lixiviado maduro, *vide* Figura 3-4) recirculadas para este, de forma a fornecer humidade, inóculo e nutrientes suficientes para que o processo se possa iniciar (Wtert, 2009).

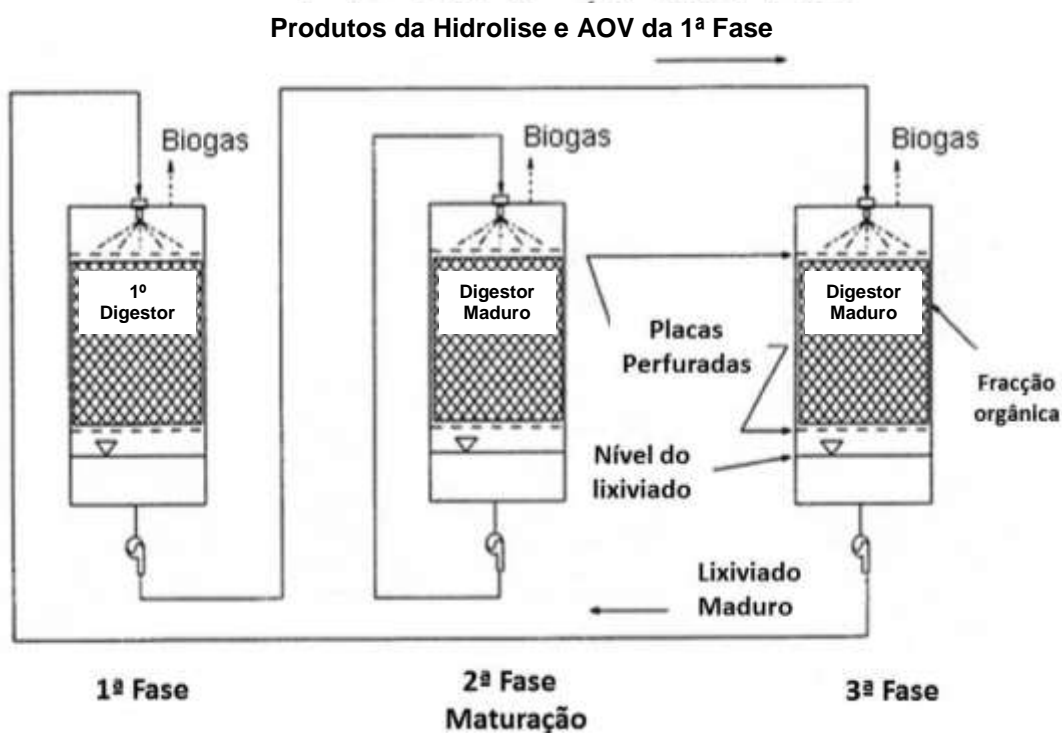


Figura 3-4 – Esquema do sistema descontínuo de digestão anaeróbia (Adaptado de: Wtert, 2009)

Os lixiviados formados durante a primeira fase de arranque, que contêm AOV formados durante esta fase, são recirculados para um segundo digestor do processo, o digestor maduro, no qual se dá a conversão de metano e dióxido de carbono. Quando o processo se encontra na segunda fase, no digestor maduro, a metanogénese é mantida através da recirculação dos seus próprios lixiviados, esta recirculação é ilustrada na Figura 3-4 pelo digestor no centro do esquema.

O tempo de retenção deste sistema é de cerca de três semanas, sendo que quando está a finalizar-se, os lixiviados do digestor maduro são utilizados para dar início a um novo ciclo no primeiro digestor, que está agora pronto para dar de novo início ao processo.

Após o processo de DA, o produto digerido é desidratado, sendo que a água daí resultante é recirculada para um reservatório de forma a entrar de novo no sistema (Wtert, 2009).

Tabela 3-4 Vantagens e desvantagens dos processos de DA da FORSU por processos descontínuos (Reichert, n.d.; Picanço, 2004)

| Crítérios | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------------|---|---|
| Técnicos | - Simples do ponto de vista técnico | - Maior tendência à ocorrência de entupimentos, quando comparado com outras tecnologias - Risco de explosão quando o digestor é descarregado |
| Biológicos | - Tecnologia mais segura do ponto de vista biológico, devido à existência de nichos e ao uso de vários digestores | - A sedimentação de materiais no fundo do digestor que podem levar à inibição do processo de DA - Baixa produção de biogás por causa recirculação de percolado |
| Económicos e ambientais | - Tecnologia mais barata e robusta - Baixo consumo de água | - Apresenta uma área ocupacional maior, relativamente aos outros processos |

4. Pré-Tratamentos da FORSU

O pré-tratamento da FORSU é um passo fundamental e determinante para o sucesso da DA. Este pré-tratamento trabalha as características do substrato de modo a melhorar a sua qualidade. O tipo de pré-tratamento aplicado à FORSU é determinado de acordo com as suas características à entrada do pré-tratamento, com o processo de DA adotado e com a qualidade e o uso futuro que será dado ao produto digerido.

Existem três tipos de pré-tratamentos a serem empregues: os pré-tratamentos físicos, os biológicos e os químicos, podendo estes serem combinados entre si. Atualmente os pré-tratamentos físicos são os predominantemente aplicados, mais especificamente o pré-tratamento mecânico. Os restantes métodos não se encontram tão difundidos a nível do tratamento industrial da FORSU (Cesaro *et al.*, 2013).

Os pré-tratamentos são realizados com o intuito de remover materiais não biodegradáveis (contaminantes e inertes), e outros materiais que possam afetar negativamente a DA no interior do digestor, uniformizando e diminuindo o tamanho das partículas do substrato, o que se traduz numa melhor solubilidade e biodegradabilidade da MO, por aumento da área superficial do substrato (Cesaro *et al.*, 2013; Delgenès *et al.*, 2002; Zeshan, 2012).

Em termos gerais confirma-se que, dependendo do pré-tratamento (e da proveniência da FORSU), com a sua aplicação existe um aumento na degradação de SV, e uma diminuição do TRH necessário, o que conduz a um aumento do rendimento de biogás (Appels *et al.*, 2008; Carlsson *et al.*, 2012).

4.1 Pré-Tratamentos Físicos

Existem vários tipos de pré-tratamentos físicos, sendo os mais comuns os tratamentos mecânicos e os térmicos. Contudo existe atualmente uma gama de novas tecnologias emergentes nesta área científica a serem estudadas e implementadas a nível industrial, como por exemplo equipamentos de ultrasons, máquinas de altas pressões, e mecanismos de *micro-ondas* (Cesaro *et al.*, 2013). O uso deste tipo de pré-tratamentos tem como principal objetivo diminuir o tamanho das partículas do

substrato, aumentando assim a sua área de superfície para que os microorganismos realizem a biodegradação e a solubilização da MO (Appels *et al.*, 2008).

4.1.1 Pré-Tratamentos Mecânicos

O pré-tratamento mecânico aplicado na separação da fração orgânica a partir dos RSU é uma tecnologia recente, encontrada pelos países em que a separação na fonte não é uma prática habitual das populações (Vaz, 2009). Para além desta aplicação, esta tecnologia é ainda aplicada na redução do tamanho dos resíduos orgânicos, e na remoção de contaminantes e inertes que a FORSU obtida possa conter e que não foram removidos durante o pré-tratamento mecânico realizado.

Os materiais recicláveis, como vidro, plásticos, metais ou resíduos passíveis de danificar a maquinaria do processo são removidos dos RSU provenientes da recolha indiferenciada pela aplicação deste tipo de tecnologia. Sendo posteriormente realizado um novo processo de separação mecânica à fração orgânica obtida com o objetivo de adicionar a água necessária para se atingir o teor de sólidos desejado, remover materiais não digeríveis e inertes (como pedras e areias), e triturar os resíduos por forma a aumentar a sua área de superfície específica, obtendo-se como resultando um aumento da disponibilidade de alimento para as bactérias e um aumento da degradação anaeróbia. (Zeshan, 2012).

De acordo com Cesaro *et al.* (2013) vários estudos científicos comprovam que o processo de trituração realizado à FORSU pode levar à aceleração da hidrólise e da acidogénese, e à produção de material orgânico solúvel, como os AGV, o que pode resultar num excesso de carga orgânica para o digestor.

Izumi *et al.* (2010), mencionado por Cesaro *et al.* (2013), realizou um estudo no âmbito de compreender quais efeitos da trituração e solubilização da FORSU durante o pré-tratamento mecânico na produção de biogás, concluindo que embora este pré-tratamento possa resultar num aumento da solubilização da MO, uma trituração excessiva dos resíduos orgânicos pode causar a acumulação AGV. Diminuindo por consequência a solubilidade da MO e a produção de metano na DA, podendo mesmo o digestor parar.

Os requisitos energéticos deste tipo de pré-tratamento são relativamente elevados, dependendo essencialmente da qualidade do resíduo a tratar e do que se pretende obter com o pré-tratamento. Em processos industriais de grande escala realiza-se a

homogeneização dos resíduos orgânicos através de sistemas de peneiração. Contudo de uma forma geral este tipo de sistema apresenta como inconveniente problemas com a qualidade da fração orgânica produzida, elevados custos de manutenção, e como vantagens não ser necessário o uso de químicos ou calor (Appels *et al.*, 2008; Cesaro *et al.*, 2013).

4.2 Pré-Tratamentos Biológicos

Os pré-tratamentos biológicos têm como objetivo a adição de inóculos de bactérias no digestor por forma a estimular a fase hidrolítica da DA. A acumulação AGV, por exemplo pode ser evitada através do ajuste da adição de inóculo de acordo com a disponibilidade de substrato.

Em vez da adição de inóculo, ou em conjunto com este, podem ser adicionadas enzimas com o mesmo objetivo de aumentar a lise das células do substrato (Appels *et al.*, 2008). Este pré-tratamento com enzimas tem como vantagens não ser necessário o uso de produtos químicos perigosos, nem de condições de operação de calor e pressão elevadas, nem o uso de equipamentos específicos para a sua aplicação, por outro lado, tendo este pré-tratamento como o de inoculação são extremamente dispendiosos quando aplicados ao tratamento de resíduos orgânicos (Azeitona, 2012).

4.3 . Pré-Tratamentos Químicos

A aplicação de pré-tratamentos químicos têm sido aplicada não só ao nível do tratamento FORSU como em resíduos da indústria alimentar, resíduos agrícolas e lamas de ETAR (Carapinha, 2012).

Os pré-tratamentos químicos são constituídos por dois grupos, o grupo da hidrólise ácida e alcalina e da oxidação avançada, sendo que esta última compreende a ozonização e a peroxidação (Azeitona, 2012).

Recentemente foi investigado o efeito do pré-tratamento de peroxidação na FORSU tendo-se concluído que, embora se tenha verificado um aumento considerável na produção final de biogás, foi necessário um período de tempo maior para ser atingida essa eficiência. A adição de produtos químicos e a ozonização são os pré-tratamentos químicos mais utilizados (Cesaro *et al.*, 2013).

Este tipo de pré-tratamento tem como vantagens, relativamente aos pré-tratamentos térmicos, apresentarem uma maior eficiência e um custo-benefício superior quando aplicado a temperaturas ambiente (Azeitona, 2012).

5. Parâmetros de Controlo do Processo de Digestão Anaeróbia

A DA da fração orgânica proveniente dos RSU é um processo com elevada complexidade, envolvendo como referido anteriormente, diferentes etapas sequenciais nas quais participam microorganismos específicos. Uma vez que os microorganismos que fazem parte de cada fase do processo são específicos, é necessário ter em conta os seus requisitos próprios ao longo da realização do processo de digestão (Khaild *et al.*, 2011).

Os parâmetros de controlo devem ser tidos em conta em simultâneo, de forma global, para garantir que o processo se realiza corretamente (Vaz, 2009). Seguidamente apresentam-se os parâmetros mais relevantes no controlo do processo de DA, nomeadamente o pH, temperatura, humidade, AOV, tempo de retenção, a eficácia de remoção do substrato, a produção do biogás e os BMs.

5.1 pH

O pH é uma das condições mais básicas para o bom desenvolvimento do processo de DA (Ferreira,2010). Conforme a fase em que se encontra o processo de digestão, o pH ideal é diferente, ou seja para cada fase da DA existem necessidades diferentes de pH. O regime em que se dá o processo de DA é também um fator relevante para a monitorização deste parâmetro (Reichert, n.d.).

A primeira fase da DA, a hidrólise, ocorre a pH 5,5, enquanto a segunda fase, a acidogénese, ocorre a pH 6,5. A acetogénese por sua vez, tem como pH ideal a gama entre 6 e 7 (Khaild *et al.*, 2011).

Existem vários estudos relativamente ao pH mais adequado para a última fase da DA, a metanogénese, sendo o valor de cerca de 7 o valor mais apontado. Contudo, estudos comprovam que a metanogénese realizada num digestor anaeróbio ocorre de forma eficiente com pH na gama dos 6,5 e os 7,5, sendo no interior desta gama de pH que se alcança uma maior produção de biogás (Khaild *et al.*, 2011).

Na monitorização do pH de um digestor de DA, é necessário ter em especial atenção a produção de AGV, uma vez que a sua produção quando não compensada pelo processo biológico pode fazer com que o pH baixe inibindo o processo de digestão. Caso tal aconteça durante o processo, deve ser adicionada cal no digestor, de forma a ser realizada uma correção do pH, ou parar a sua alimentação (Ferreira, 2010).

5.2 Temperatura

Este parâmetro deve ser cuidadosamente monitorizado ao longo do processo de DA, uma vez que resulta da atividade das bactérias. Variações deste parâmetro no digestor podem causar efeitos negativos na comunidade bacteriana.

De acordo com a temperatura a que se desenvolve o processo de DA e com o tipo de bactérias em atividade, o processo divide-se em duas gamas, a gama de temperaturas mesófilas, que varia entre os 20°C e os 40°C e a gama de temperaturas termófilas, que varia entre os 50°C e os 60°C (Ferreira, 2010; Reichert, n.d.).

Temperaturas baixas durante o processo têm como efeito a diminuição do crescimento bacteriano, e consequentemente, a diminuição do consumo de substrato e da produção de biogás. Em casos extremos podem mesmo provocar a morte celular. Temperaturas demasiado altas podem provocar a diminuição da produção de biogás, devido à produção de gases voláteis como a amónia, que inibe a atividade metanogénica (Khaild et al., 2011). A variação da temperatura no digestor pode levar à completa extinção de uma determinada população bacteriana (Vaz, 2009).

O processo de DA ocorre geralmente a temperaturas mesófilas, a variar entre os 20 e os 35°C, o que permite um baixo gasto de energia e torna o processo mais estável. Contudo estes processos são bastante sensíveis a variações da temperatura ambiente, podendo, no inverno, levar à paragem da produção de biogás em locais com climas mais frios (Khaild et al., 2011; Reichert, n.d.).

A gama de temperaturas entre os 30 e os 35°C é considerada a mais adequada para a produção de metano, sendo que temperaturas termófilas podem provocar uma diminuição na produção de biogás embora tenha como efeito o aumento da população bacteriana, pois estas temperaturas (por exemplo 65 °C) podem causar a desnaturação de enzimas.

As vantagens da utilização de temperaturas mais altas são, a taxa de degradação de resíduos orgânicos se processar de forma mais rápida, a produção mais elevada de biomassa e de biogás, a viscosidade do digestado é inferior e a eliminação de organismos patogénicos é superior (Khaild *et al*, 2011; Ferreira, 2010).

De acordo com Bouallagui *et al.* (2004) mencionado por Reichert (n.d.), estudos reportam que a DA por processos termófilos pode gerar até mais cerca de 41% de biogás comparativamente a processos mesófilos, e cerca de três vezes mais relativamente a processos psicrófilos. É necessário ter em conta que as necessidades energéticas deste tipo de processo podem torná-lo um sistema que não é auto-suficiente (Ferreira, 2010).

5.3 Humidade

Teores de humidade elevados, facilitam bastante o processo de DA, contudo não fácil manter o mesmo teor de humidade ao longo de todo o processo. Teores de humidade elevados podem afetar o processo de dissolução da MO facilmente degradável. Estudos comprovam que a produção de metano atinge taxas mais elevadas quando o teor de humidade se encontra entre os 60 a 80% no interior do digestor (Khaild *et al*, 2011).

Lopes *et al.* (2002) estudou a influência do teor de humidade na performance da DA da FORSU, tendo concluído que para um substrato com 80% de água a DA apresenta uma melhor performance do que com 70%.

Estes autores consideram que os resultados obtidos se devem a limitações na agitação da massa de substrato dentro do digestor, e à baixa difusão e distribuição dos microorganismos no mesmo. Como tal, a água tem um papel essencial no desenvolvimento destes fatores dentro do digestor, demonstrando-se assim a sua crucial importância num processo de DA da FORSU.

A água é um fluído onde ocorrem reações bioquímicas do processo de DA, contribuindo para o metabolismo dos microorganismos, fornecendo ao substrato nutrientes e sendo um condutor de enzimas, sendo o seu contributo determinante para o metabolismo dos microorganismos (Lopes *et al.*, 2002).

5.4 Ácidos Orgânicos Voláteis

A concentração de AOV é um dos parâmetros de monitorização mais sensíveis num digestor anaeróbio, sendo um ótimo indicador do desempenho do mesmo. A sua presença em determinadas concentrações no digestor pode inibir o processo, e levar a uma falha do projeto. No interior dos AOV, existe o grupo dos AGV formado por seis compostos; ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico, ácido capróico, e ácido enântico, sendo o ácido acético é o predominante (Labatut *et al.*, n.d.).

Num digestor bem concebido e bem operacionalizado, a concentração de AGV totais é tipicamente inferior a 500 mg/L para o ácido acético, no entanto caso o digestor seja subdimensionado para a carga orgânica que recebe, as concentrações de ácido acético podem ser mais elevadas. Para concentrações superiores aos 1500 a 2000 mg/L, a produção de biogás pode ser inibida, contudo o aumento súbito e constante da concentração de AGV no digestado pode indicar um funcionamento incorreto do digestor, ou mesmo que o processo vai parar (Labatut *et al.*, n.d.).

Assim, é essencial monitorizar os AGV periodicamente, para que se possam ser detetados os problemas a tempo, e fazer as alterações operacionais necessárias antes de ocorrerem falhas no digestor (Labatut *et al.*, n.d.)

5.5 Tempo de Retenção

O tempo de retenção necessário para a ocorrência completa da DA é um dos parâmetros que mais influência o processo e, conseqüentemente o funcionamento do digestor. Este varia de acordo com a tecnologia aplicada, a gama de temperatura do processo e com a composição da FORSU (Ferreira, 2010; Reichert, n.d.).

O TRH é o tempo médio que a suspensão a digerir fica retida no digestor, e é dado pela seguinte razão (Ferreira, 2010):

$$\text{THR} = \frac{\text{Volume do digestor}}{\text{Caudal afluyente}} \quad (1)$$

Este parâmetro é importante para o dimensionamento do digestor, uma vez que o TRH condiciona o seu volume, e conseqüentemente os custos do investimento (Ferreira, 2010).

O tempo de retenção de sólidos (TRS), é determinado em função do tempo necessário para os microorganismos digerirem a MO e se reproduzirem. Este, é ainda dependente da capacidade física do digestor para reter um determinado volume de biomassa, durante um período de tempo superior ao escoamento hidráulico. Deve ainda ser considerado que não podem existir zonas mortas, nem circuitos preferenciais no interior do digestor (Ferreira, 2010). Em sistema que não é removido o sobrenadante existente no digestor o TRH é igual ao TRS (Garcia, 2011).

O tempo de retenção no processo de DA permite o desenvolvimento dos microorganismos, para que não exista o *washout* dos mesmos, e se mantenha a produção do biogás. Este varia entre os 10 a 40 dias em processos mesófilos, tendo tempos inferiores para processos termófilos, conseguindo-se TRHs inferiores. Digestores que trabalhem com teor de sólidos altos com temperaturas termófilas podem ter TRH de 14 dias (Reichert, n.d.).

5.6 Eficácia de Remoção do Substrato

A qualidade do resultado final do processo de DA depende diretamente do tipo de substrato, da sua disponibilidade e da sua complexidade (Khaild *et al*, 2011).

A fração orgânica resultante da separação mecânica dos RSU tem uma composição bastante variável, sendo basicamente composta por gorduras, hidratos de carbono e proteínas, a sua proporção varia de acordo vários fatores, nomeadamente, o nível socioeconómico da população, a sazonalidade e a respetiva recolha do RSU (Ferreira, 2010).

Os parâmetros essenciais a monitorizar relativamente ao substrato são o CQO (carência química de oxigénio), ST, SV, a relação CQO/SV, cinzas e CaCO_3 (carbonato de cálcio) (Ferreira, 2010).

Geralmente os resíduos orgânicos de cozinha têm um teor de humidade mais elevado e são mais propícios a serem degradados. Resíduos com teor de lenhina e celulose mais elevada, como a MO de jardim são mais indicados para a digestão por compostagem, pois para a digestão destes poderá ser necessário um tempo de retenção na ordem dos 250 dias, o que é impraticável para processos de DA da FORSU à escala real (Reichert, n.d.; Gonçalves, 2012).

Os SV são degradados à medida que o processo de DA se desenvolve, sendo convertidos a biogás. A eficiência de remoção do substrato no digestor é dada pela percentagem de redução do teor de SV entre a suspensão à entrada do digestor e o digestado à saída do mesmo (Garcia, 2011).

5.7 Produção de Biogás

O biogás é constituído por dois componentes principais, metano e dióxido de carbono. A percentagens típicas de metano num digestor bem dimensionado e bem operacionalizado é de cerca de 58 a 65%, sendo que o resto é constituído principalmente por dióxido de carbono e outros gases residuais como azoto, hidrogénio, ácido sulfídrico e vapor de água (Labatut *et al.*, n.d.).

A quantidade de biogás produzido no digestor é possivelmente um dos parâmetro mais importante a monitorizar para avaliar o rendimento do mesmo. O metano é o produto principal da DA, assim sendo a determinação da quantidade de metano produzida é um bom indicador do desempenho do digestor (Labatut *et al.*, n.d.).

A quantidade de metano produzida durante a metanogénese depende da quantidade de MO que foi estabilizada durante o processo. Caso ocorra um abaixamento dos valores médios de produção de metano, o mais provável é que algum, ou alguns dos parâmetros de operação tenham sofrido alterações, sendo este um indicador que estão a ocorrer falhas no processo (Labatut *et al.*, n.d.).

5.8 Balanço de Mássico

O BM é uma ferramenta que pode ser utilizada para avaliar o desempenho e eficiência do tratamento de bioestabilização da FORSU em unidades de TMB, contudo ao contrário de outras, não será uma ferramenta a aplicar diariamente.

Os BMs são normalmente expressos em função dos ST, SV ou em massa de água, mas dependem do objetivo de estudo, podem também ser expressos em função de outros parâmetros (Morais *et al.*, 2007; Pognani *et al.*, 2012).

Para a realização de um BM é necessário estabelecer critérios de monitorização do processo, sendo que para tal devem ser utilizados métodos analíticos adequados e representativos. Um dos conceitos de base para a aplicação de um BM é o princípio

da conservação da massa, que considera que num sistema fechado a massa permanece constante durante os processos que nele ocorrem. Num sistema aberto, considera-se que a massa que é alimentada (m_{entrada}) a este durante um determinado período de tempo, é igual à soma da massa que sai (m_{sai}) mais a massa acumulada ($m_{\text{acumulada}}$) no sistema nesse período de tempo (Leite *et al.*, n.d.).

$$m_{\text{entrada}} = m_{\text{sai}} + m_{\text{acumulada}} \quad (2)$$

Para a elaboração de um BM deve-se também ter em conta o tipo de regime do processo. Caso este opere em regime de estado estacionário, os valores das variáveis do processo como a temperatura, a pressão ou a concentração, não variam com o tempo. No regime de estado transitório, existe pelo menos uma variável do processo que varia ao longo do tempo.

Deve ainda ser bem definido qual o volume de controlo, se é o processo completo, apenas uma parte do processo ou um equipamento, e as entradas e as saídas que atravessam as fronteiras do volume de controlo. Assim como se o processo é um sistema aberto (existindo trocas de massa através das suas fronteiras), ou fechado (não havendo trocas de massa nas suas fronteiras) (Aquim, 2004).

Os BMs podem ser empregues em qualquer tipo de digestor ou processos de tratamento de RSU, quer estes operem em regime contínuo, semi-contínuo ou em série. No caso dos processos de tratamento descontínuo, como a massa não atravessa as fronteiras do sistema, apenas circula neste, este tipo de sistema comporta-se como um sistema fechado. Por sua vez, nos processos de uma fase e de múltiplas fases existe uma troca contínua de massa nas suas fronteiras, tendo estes um comportamento de sistemas abertos (Leite *et al.*, n.d.; Aquim, 2004).

6. Caso de estudo: CITV de RSU - Aveiro

6.1 Caracterização da ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro S.A.

O SMLV de RSU do Litoral Centro foi fundado a 5 de Setembro de 1996, pelo Decreto-Lei nº 166/96 do mesmo dia, integrando uma área geográfica de 31 municípios. Foram posteriormente integrados mais cinco municípios, perfazendo assim um total de 36 municípios.

Os municípios incluídos no SMLV de RSU do Litoral Centro são: Águeda, Albergaria-a-Velha, Alvaiázere, Anadia, Ansião, Arganil, Arouca, Aveiro, Cantanhede, Castanheira de Pêra, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Estarreja, Figueira da Foz, Figueiró de Vinhos, Góis, Ílhavo, Lousã, Mealhada, Mira, Miranda do Corvo, Montemor-o-Velho, Murtosa, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ovar, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penacova, Penela, São João da Madeira, Sever do Vouga, Soure, Vagos, Vale de Cambra e Vila Nova de Poiares. Estes incluem uma área total de atuação de 6 699 km² e servem uma população estimada de 970 746 habitantes (ERSUC, 2013).

A exploração e a gestão do SMLV de RSU do Litoral Centro foram atribuídas à empresa de capitais públicos ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro S.A. pelo mesmo diploma legal. Esta encontra-se sediada em Coimbra, sendo atualmente composta por dois CITV de RSU, nas freguesias de Eirol, concelho de Aveiro e Vil de Matos, concelho Coimbra, e por sete estações de transferência.

A Tabela 6-1 apresenta os concelhos servidos por cada uma das estações de transferência e a respetiva central de destino dos resíduos. Na Figura 6-1 pode ainda ser observado o mapa da área geográfica da ação do SMLV de RSU atribuído à ERSUC, sendo que estão ainda assinaladas as localizações das duas unidades de TMB e de triagem da ERSUC, assim como as suas estações de transferência.

Tabela 6-1 Concelhos servidos por cada uma das estações de transferência da ERSUC e a respetiva central de destino dos RSU

| Estação de Transferência | Concelhos Servidos | Destino Final |
|--------------------------|--|-----------------------|
| Ansião | Alvaiázere, Ansião, Castanheira de Pêra, Figueiró dos Vinhos, Miranda do Corvo, Pedrogão Grande e Penela | CITV de RSU - Coimbra |
| Pampilhosa da Serra | Pampilhosa da Serra | |
| Góis | Arganil, Góis, Lousã e Vila Nova de Poiares | |
| Figueira da Foz | Figueira da Foz, Montemor-o-Velho e Soure | |
| Sever do Vouga | Sever do Vouga | CITV de RSU - Aveiro |
| Estarreja | Estarreja, Murtosa e Ovar | |
| Osseta | Arouca, Oliveira de Azeméis, São João da Madeira e Vale de Cambra | |

As estações de transferência recebem e armazenam temporariamente os RSU provenientes das recolhas efetuadas pelas Câmaras Municipais. Este procedimento permite tornar economicamente viável a utilização de soluções de tratamento, valorização ou destino final a distâncias superiores a 40 Km das CITV de RSU (ERSUC, 2013).

Além das instalações para o armazenamento temporário dos RSU as Estações de Transferência, à exceção das da Pampilhosa da Serra de Sever do Vouga, são providas de um ecocentro, assim como cada um dos CITV de RSU.

A ERSUC detém ainda três aterros sanitários, edificados nas zonas de Aveiro, Coimbra e Figueira da Foz, que se encontram em fase de encerramento.

Cada um dos dois CITV de RSU da ERSUC é composto por:

- Um ecocentro;
- Uma unidade de triagem automatizada para o posterior tratamento dos resíduos recicláveis provenientes da recolha seletiva;
- Uma unidade de TMB para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos indiferenciados e uma unidade de valorização energética do biogás produzido na unidade de TMB;

- E um aterro sanitário de apoio;

Seguidamente será feita uma descrição sumária dos órgãos da Empresa anteriormente mencionados.

Ecocentro

O ecocentro é uma área reservada à recolha seletiva de materiais, nomeadamente à recolha de RSU com um volume de receção superior ao que é possível depositar nos ecopontos. A ERSUC tem um total de sete ecocentros, localizando-se um em cada CITV de RSU e os restantes encontram-se distribuídos pelas estações de transferência da empresa, como referido anteriormente.

Unidade de triagem automatizada de materiais provenientes da recolha seletiva

A unidade de triagem tem capacidade para processar cerca de 4 ton/h de embalagens plásticas e metálicas, e 8 ton/h de embalagens de papel e cartão. Embora a linha de triagem seja automatizada, existe um processo de afinação manual e um posto de controlo de qualidade, que garante que os resíduos cumprem as especificações técnicas necessárias para serem encaminhados para valorização.

Unidade de TMB/ Valorização energética

Na unidade de TMB é efetuada a separação mecânica dos resíduos indiferenciados. Esta tem como objetivos, recuperar as frações passíveis de encaminhar para reciclagem e valorização, preparar e encaminhar para valorização a fração biodegradável proveniente dos RSU para ser digerida nos digestores anaeróbios da unidade, dos quais resulta a produção de composto e biogás.

Aterro sanitário de apoio

Cada CITV de RSU tem um aterro sanitário de apoio para onde são encaminhados cerca de 20% dos resíduos entregues nestas unidades. Estes resíduos são encaminhados para aterro pois não são passíveis de valorização.

A Figura 6-1 apresenta o mapa da área geográfica da ação do SMTV de RSU do Litoral Centro atribuído à ERSUC. Estão ainda assinaladas as localizações das duas unidades de TMB e de triagem da Empresa, assim como as suas estações de transferência.

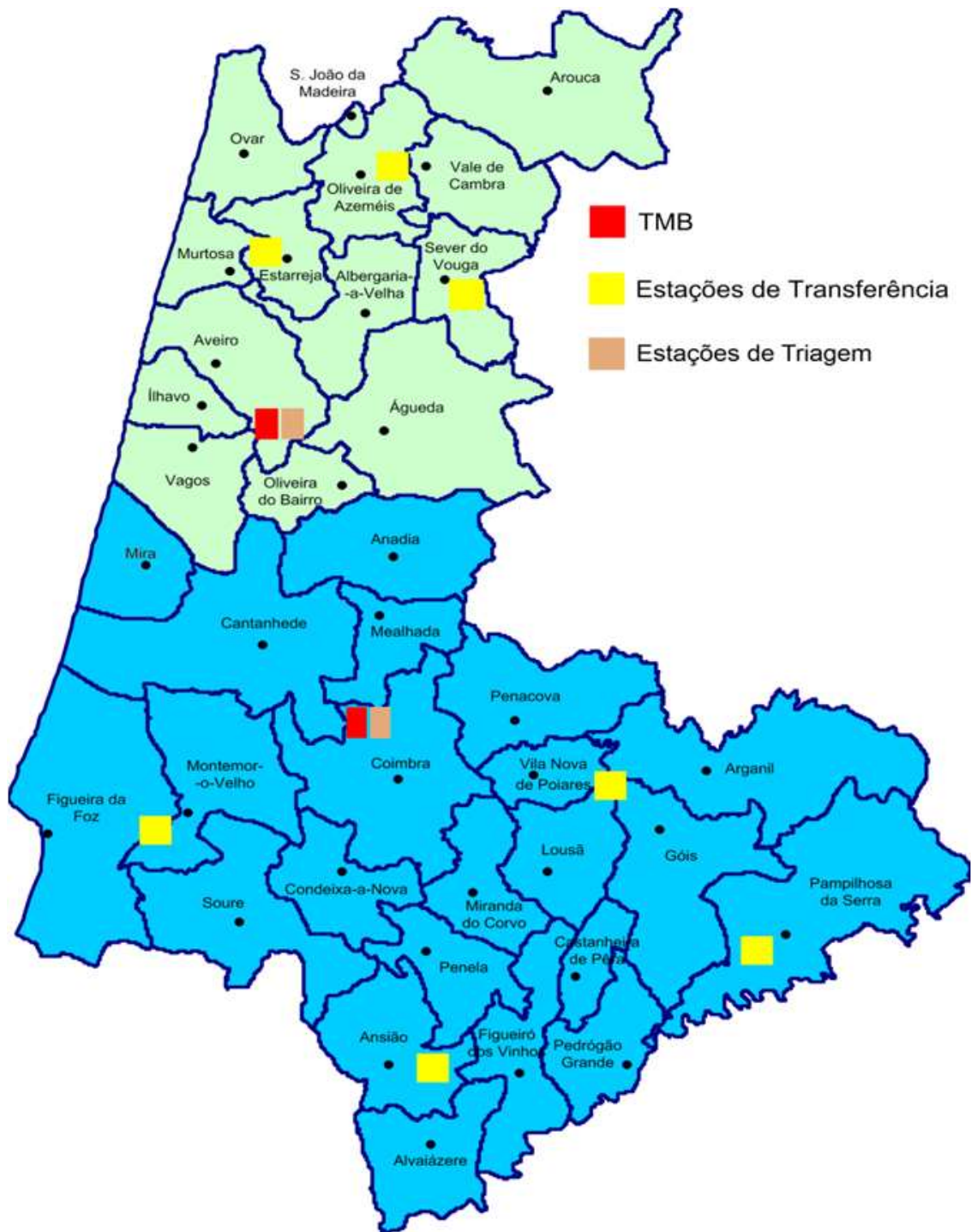


Figura 6-1 Mapa da área geográfica de atuação do SMTV de RSU do Litoral Centro atribuído à ERSUC

6.2 Descrição da Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico de RSU de Aveiro

A unidade industrial de TMB implementada no CITV de RSU de Aveiro está dimensionada para tratar cerca de 60 ton/h de RSU, podendo atingir as 90 ton/h. Anualmente a unidade trata cerca de 190 mil toneladas de RSU.

Durante a realização do TMB é efetuada a separação do RSU por fluxos diferenciados, nomeadamente MO, recicláveis (cartão, plástico, metais ferrosos e não ferrosos), combustível derivado de resíduos (CDR) e refugos, de forma a realizar a recuperação de materiais recicláveis e valorizáveis existentes nos RSU.

6.2.1 Tratamento Mecânico

6.2.1.1 Tratamento Mecânico Seco dos RSU

O tratamento mecânico seco (TMS) dos RSU envolve processos de triagem e redução de volume (compactação), colocados de forma estratégica de forma a possibilitar e maximizar a recuperação de materiais passíveis de serem reciclados ou valorizados.

A triagem é realizada através da diferenciação pelo tamanho, forma, densidade ou pelas propriedades magnéticas ou óticas dos resíduos, sendo constituída pelos seguintes elementos: receção; linha de alimentação; linha dos resíduos orgânicos; linha dos recicláveis e pela linha do CDR.

a) Receção

Quando chegam ao CITV de RSU, as viaturas que realizam a recolha dos resíduos indiferenciados são pesadas e é realizado o registo dos RSU, sendo posteriormente encaminhadas para a zona de receção e descarga.

Existem seis zonas de descarga individuais, três para cada um dos dois fossos existentes na central. As zonas de descarga são mantidas a pressão negativa e possuem um sistema de exaustão de ar individual de forma a minimizar os maus odores no exterior da central.

Ambos os fossos possuem bombas de modo a possibilitar a extração de lixiviado, sendo este encaminhado para a estação de tratamento de água residuais industriais (ETARI) existente no CITV de RSU.

b) Linhas de alimentação

Existem duas linhas de alimentação, uma por cada fosso, sendo que ambas as linhas são iguais e podem funcionar em simultâneo. Após a deposição no fosso, os RSU são transportados por uma garra para um alimentador primário.

O alimentador primário tem como função transportar os RSU para um crivo rotativo, o crivo primário, para que seja feita uma primeira separação por granulometria dos RSU. Este é constituído por um tambor giratório com uma malha de 200 mm x 400 mm e apresenta um ângulo de inclinação, de forma a que, quando os RSU passam através deste, se movam para a saída do mesmo enquanto são peneirados.

A fração de RSU com granulometria superior a 200 mm x 400 mm segue até ao fim do crivo e é encaminhada para uma cabine de triagem manual. Na cabine de triagem manual são removidos pelos operadores plásticos, pneus, sucata, cartão e resíduos que não são passíveis de ser valorizados, garantindo assim que os equipamentos a jusante não são danificados por este tipo de resíduos.

Após passar por a cabine de triagem a fração de RSU com dimensões superiores a 200 mm x 400 mm, tal como a fração de RSU com dimensões inferiores, é encaminhada para um sistema mecânico de abertura de sacos, que realiza o corte dos sacos existentes nos RSU com lâminas que se assemelham a facas para que os resíduos contidos no interior dos mesmos sejam libertados.

Do abre-sacos os RSU são transportados por um alimentador secundário para o crivo secundário, o qual apresenta duas malhas diferentes ao longo da extensão do seu tambor, sendo que na sua primeira metade este apresenta uma malha de 90 mm enquanto que na sua segunda metade apresenta uma malha de 180 mm. A fração de RSU com granulometria inferior a 90 mm, crivada na primeira metade do crivo, segue para a linha dos resíduos orgânicos. A fração de RSU com granulometria entre os 90 mm e os 180 mm segue para a linha dos recicláveis. E os RSU com granulometria superiores a 180 mm seguem até ao fim do crivo sendo encaminhados para a linha do CDR.

A partir do crivo secundário o processo divide-se assim em três linhas distintas, a linha dos resíduos orgânicos, a linha dos recicláveis e a linha do CDR.

A Figura 6-2 apresenta de forma esquematizada a linha de alimentação do TMS dos RSU.

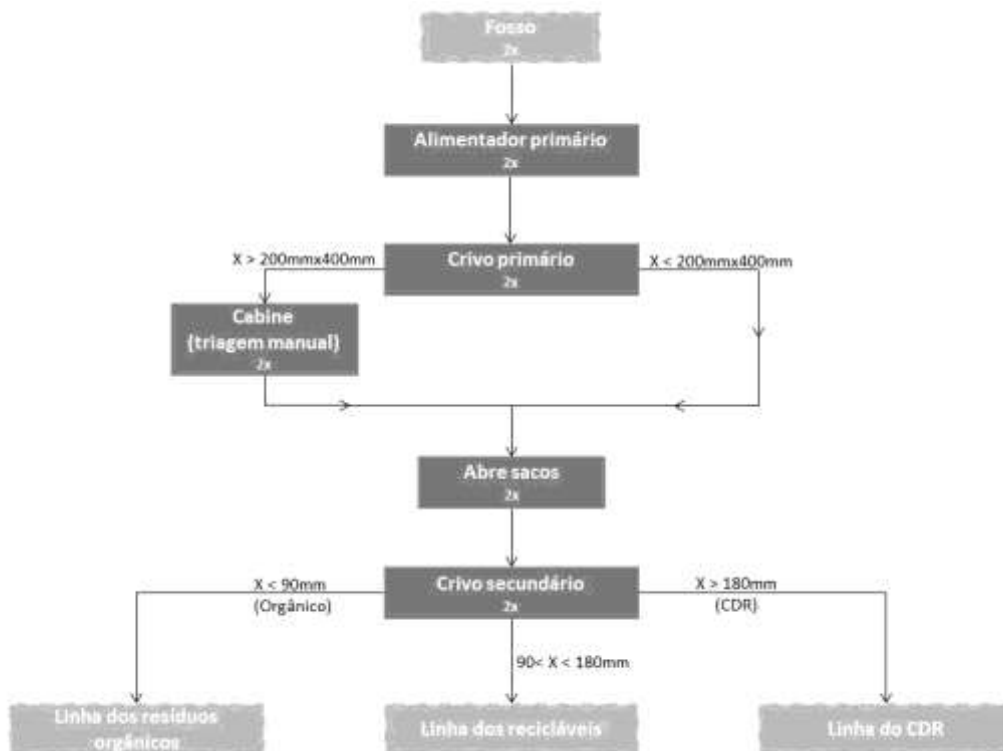


Figura 6-2 TMS de RSU: Linha de alimentação

c) Linha dos resíduos orgânicos

A fração de RSU proveniente da crivagem no crivo secundário com dimensões inferiores a 90 mm corresponde à FORSU, e segue para o separador magnético onde são removidos os objetos metálicos existentes.

De seguida a FORSU é encaminhada para o crivo de malha elástica de 75 mm. Este crivo é composto por uma rede e por motovibradores que promovem a sua vibração, apresenta alguma folga que lhe permite a sua vibração e uma maior elasticidade, proporcionando assim uma crivagem com maior eficácia. A fração de FORSU crivada com tamanho inferior a 75 mm é encaminhada para o TMH para preparação de suspensão a partir desta, enquanto a FORSU com tamanho superior a 75 mm é encaminhada para refugo e posteriormente depositada no aterro sanitário de apoio do CITV de RSU.

Na linha dos resíduos orgânicos entra ainda a fração fina proveniente do balístico da linha dos recicláveis que será descrita mais à frente.

A linha dos resíduos orgânicos do processo de TMS dos RSU encontra-se esquematizada na Figura 6-3.

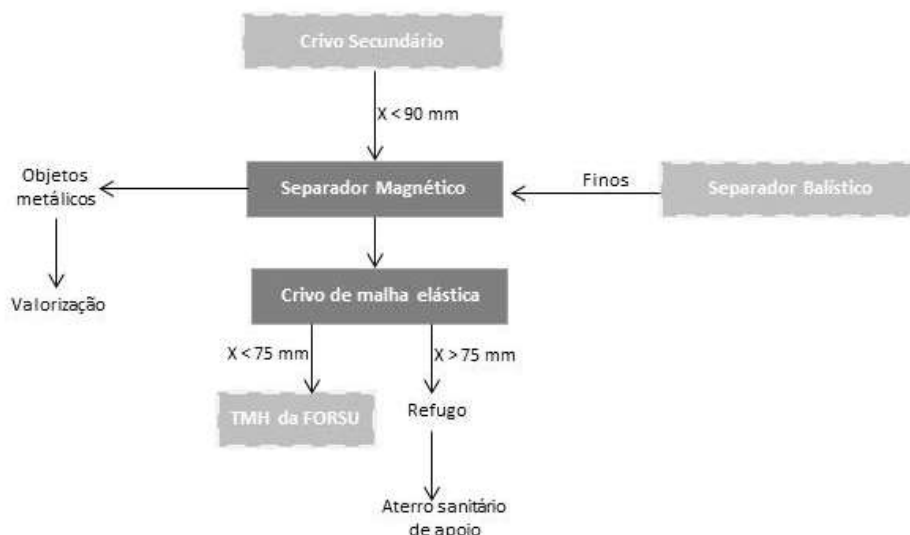


Figura 6-3 TMS de RSU: linhas dos resíduos orgânicos

d) Linha dos recicláveis

A fração de RSU proveniente da crivagem no crivo secundário com granulometria entre os 90 e os 180 mm é composta essencialmente por materiais metálicos e plásticos. Esta segue para o separador balístico, no qual são separadas três frações: os finos (resíduos orgânicos), os rolantes (principalmente garrafas) e os planos (embalagens, sacos, etc.).

O separador balístico é composto por um conjunto de pás rodantes inclinadas que se deslocam entre si de forma independente. A inclinação do conjunto das pás é regulável possibilitando o ajuste do ângulo de inclinação das mesmas. Esta inclinação permite assim separar os resíduos planos, que seguem até ao fim do separador balístico e são encaminhados para a linha do CDR.

A superfície das pás do separador balístico tem perfurações que permitem a crivagem dos resíduos ao longo do separador balístico, removendo-se assim a fração fina com granulometria inferior a 70 mm que ainda possa estar agregada aos resíduos, seguidamente os finos são encaminhados para a linha dos resíduos orgânicos. Os resíduos rolantes rolam e caem no início do separador balístico e são encaminhados para o separador magnético.

No separador magnético os resíduos ferrosos são atraídos com um íman e encaminhados para um contentor para serem armazenados e posteriormente enviados

para valorização. Os resíduos não ferrosos seguem na linha para o primeiro separador ótico.

O primeiro separador ótico é antecedido por uma plataforma vibratória que descarrega numa cinta transportadora mais larga que as restantes existentes na central, para que os resíduos, quando entram no primeiro separador ótico, se encontrem o mais distantes possível para permitir uma correta leitura do ótico. De acordo com a leitura que ótico faz, o resíduo é impulsionado por um ventilador de forma a cair numa das três linhas para as quais os resíduos podem seguir após serem separados neste equipamento.

O ótico está programado para impulsionar o ECAL (embalagens de cartão para alimentos líquidos), que é encaminhado diretamente para um compactador, onde após compactado é armazenado e posteriormente encaminhado para valorização, este através de que corrente de ar que impele também o PET (politereftalato de etileno) e o PEAD (polietileno de alta densidade) para outra cinta transportadora que os transporta para o segundo separador ótico. Os restantes resíduos que não são soprados caem por gravidade e seguem para o *foucoult*, onde os metais não ferrosos são removidos por repulsão através do campo magnético de um íman e de um motor de indução linear que induz as correntes elétricas nos constituintes metálicos dos RSU, originado assim forças de repulsão e forçando a que estes sejam desviados.

O material a separar é transportado numa tela sob a qual está colocado um íman e um motor de indução linear. O seu campo magnético induz correntes elétricas nos constituintes metálicos parasitas, que originam forças de repulsão, obrigando a que esses componentes sejam desviados provocando a segregação dos componentes, os restantes resíduos são encaminhados para a linha de CDR. Os metais não ferrosos removidos no *foucoult* são compactados num contentor e depois armazenados para seguirem posteriormente para valorização.

No segundo ótico, o PET, o PEAD e os contaminantes que possam ainda existir são separados, sendo a separação realizada de forma análoga ao que acontece no primeiro ótico. O PET e o PEAD após serem separados são encaminhados para compactadores, sendo posteriormente armazenados para depois seguirem para valorização, enquanto que os restantes resíduos são encaminhados para a linha do CDR, sendo seguidamente armazenados e posteriormente encaminhados para valorização. Os recicláveis referidos são encaminhados para indústrias recicladoras

permitindo a sua transformação em matérias-primas para a produção de novos produtos.

A Figura 6-4 apresenta o fluxograma da linha dos recicláveis do tratamento mecânico realizado aos RSU na unidade de TMB.

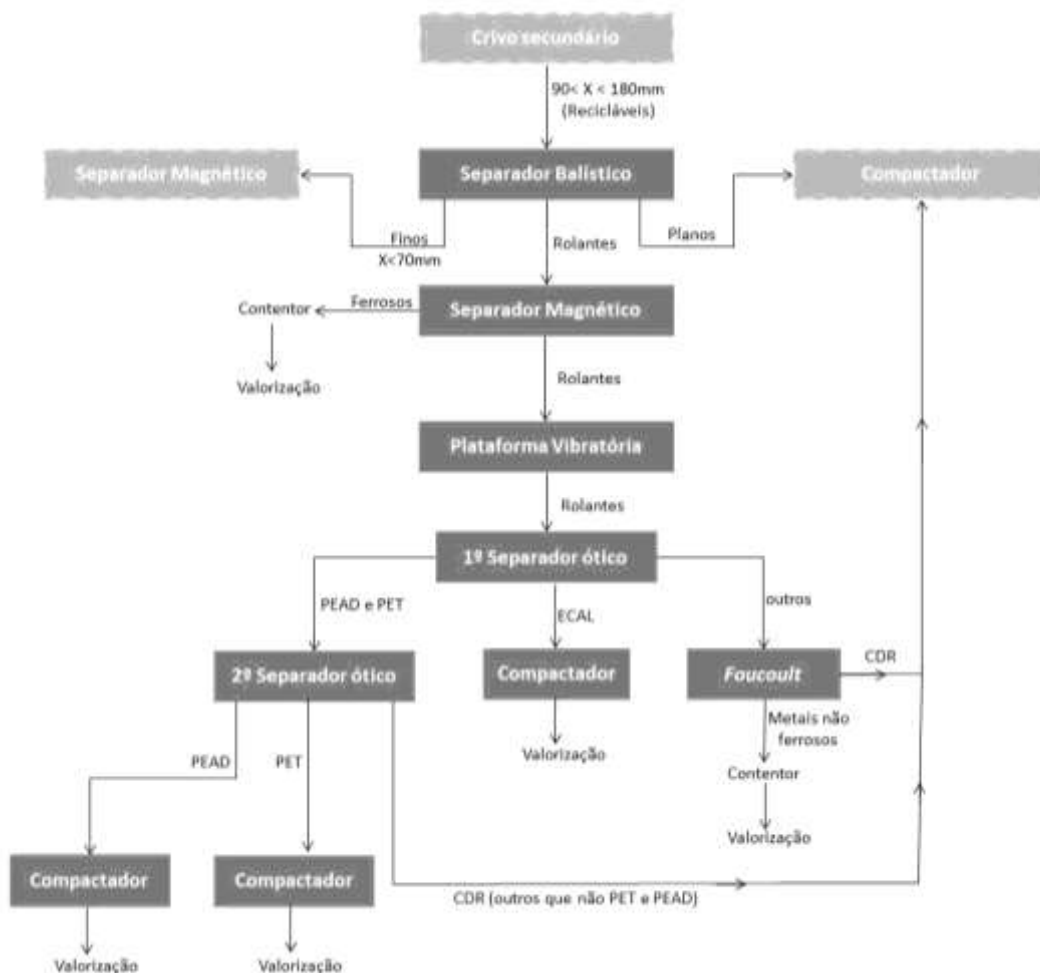


Figura 6-4 TMS de RSU: linha dos recicláveis

e) Linha do CDR

Como referido anteriormente, a linha de CDR recebe a fração de RSU com granulometria superior a 180 mm que segue até ao fim dos crivos secundários. O CDR separado no separador balístico, no *foucault* e no segundo separador ótico, estes juntam-se na linha do CDR, onde são compactados e armazenados, sendo posteriormente enviados para unidades de preparação, onde é realizada uma nova triagem uma trituração de modo a poder ser utilizado como combustível, em alternativa aos combustíveis fósseis.

A Figura 6-5 apresenta um fluxograma da linha de CDR do tratamento mecânico dos RSU, no qual é possível verificar-se de onde este provém no processo.

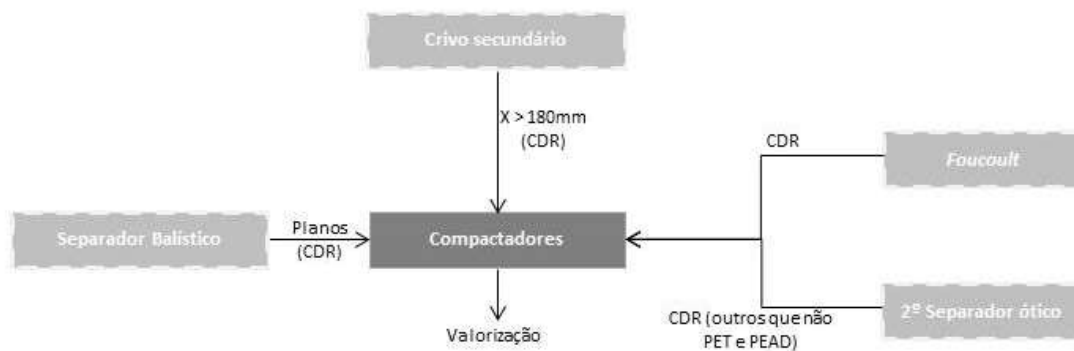


Figura 6-5 TMS de RSU: linha do CDR

A Figura 6-6 apresenta o fluxograma geral do tratamento mecânico efetuado aos RSU quando estes chegam ao CITV de RSU.

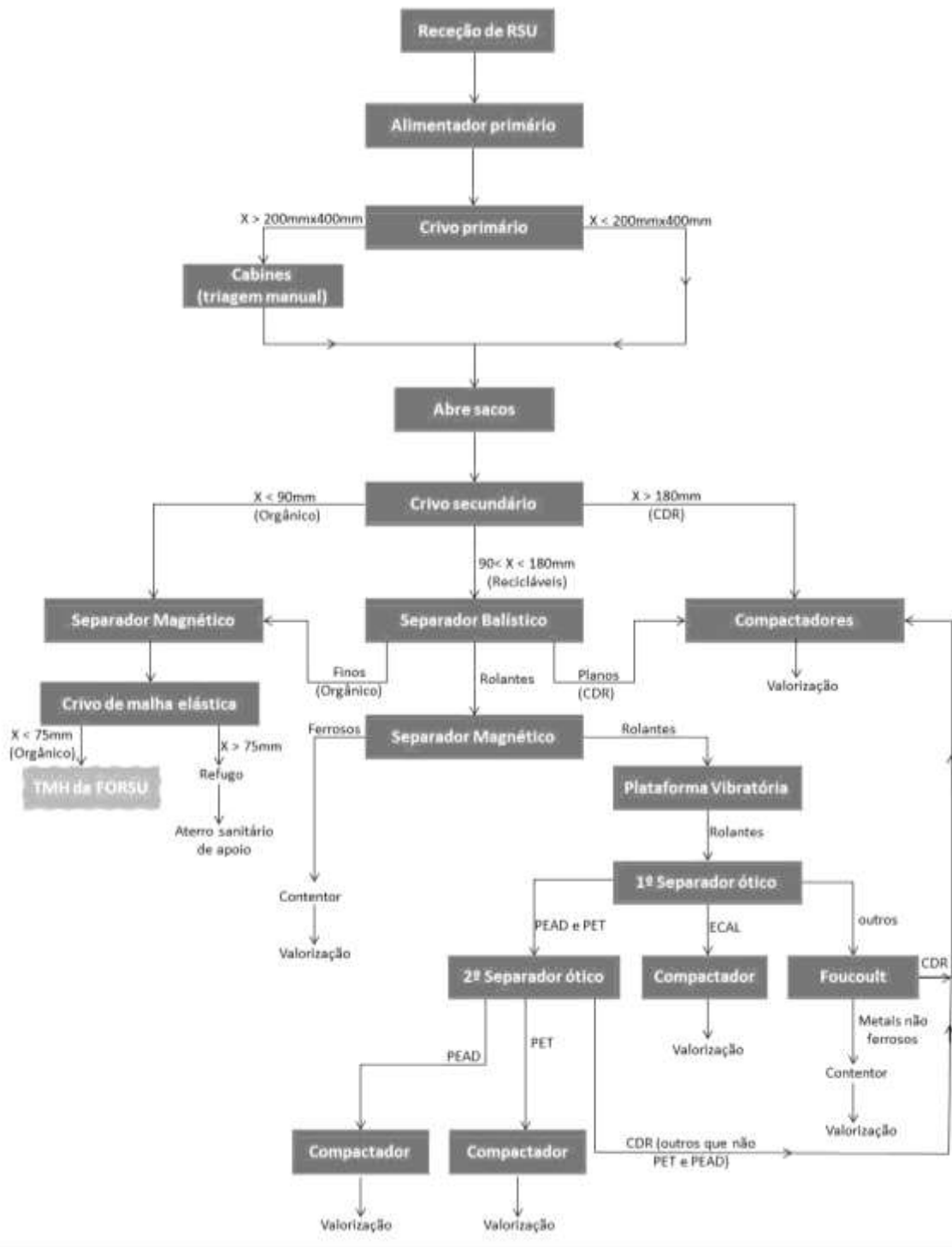


Figura 6-6 Fluxograma geral do TMS de RSU quando estes chegam ao CITV de RSU

6.2.1.2 Pré-Tratamento Mecânico Húmido da FORSU

Após a separação da FORSU na linha do orgânico inicia-se o seu processo de TMH, que tem como principal objetivo a obtenção de uma suspensão orgânica, assim como a eliminação de impurezas que a FORSU contenha e que não foram eliminadas

durante o TMS efetuado ao RSU, de forma a potenciar a fase da DA da FORSU, a garantir o bom funcionamento dos equipamentos existentes no processo e a humidade necessária para a fase da DA.

Pulpers

A FORSU proveniente do crivo de malha elástica é encaminhada por uma cinta transportadora para um distribuidor em forma de “Y”, a partir do qual pode seguir para um dos dois *pulpers* existentes. O processo é controlado automaticamente por um software de controlo designado por SCADA. A cinta transportadora de FORSU contém uma balança para realizar a sua pesagem.

Cada *pulper* tem uma capacidade de 20 m³ e está equipado com um disco agitador com dentes de corte, que reduz as dimensões da FORSU. Os *pulpers* não operam em simultâneo, caso exista uma falha no *pulper* ativo é necessário indicar no SCADA, para direcionar a FORSU para o outro *pulper*.

No *pulper* a FORSU é misturada por um agitador com água proveniente do tanque onde se armazena a água utilizada no processo, obtendo-se assim uma suspensão. A adição de água no *pulper* é realizada de acordo com a programação efetuada no SCADA, sendo que por cada porção de FORSU que entra no *pulper* é adicionada uma determinada porção de água, sendo o critério determinante da razão água/FORSU em função da existência de algumas colmatações de resíduos ao longo do TMH.

A FORSU é mantida na suspensão no interior do *pulper*, enquanto os materiais sólidos pesados, como pedras e vidros são, através de um vórtex criado no fundo do mesmo, removidos por um parafuso sem-fim. Na tubagem que liga o parafuso sem-fim ao *pulper* existe uma comporta e uma entrada de água, para efetuar operações de limpeza e de purga dos sólidos pesados, doravante designados apenas por pesados (ex.: areias, pedras, fragmentos metálicos ou pedaços de vidro), e proporcionar uma lavagem dos mesmos de forma a reinserir MO que é arrastada juntamente com estes no processo. Este procedimento é realizado em períodos de tempo reguláveis a partir do programa de controlo e com o processo em funcionamento.

A suspensão do *pulper* é descarregada para o crivo rotativo húmido (CRH).

Crivo Rotativo Húmido

O CRH para o qual é descarregada a suspensão proveniente do *pulper* apresenta uma malha de 20 mm. Quando a suspensão passa ao longo do *pulper*, os sólidos, com dimensões superiores a 20 mm, ficam retidos e são encaminhados para fora do crivo por um parafuso sem-fim, que por sua vez, descarrega num tapete que transporta a fração com dimensões superiores 20 mm para fora do processo. Esta fração é considerada refugo e é posteriormente encaminhada para o aterro sanitário de apoio.

O CRH tem uma disposição inclinada e é equipado com placas dispostas em espiral, proporcionando um deslizamento e uma saída controlada ao longo do crivo dos resíduos com dimensões superiores 20 mm. A fração líquida da suspensão com resíduos de dimensões inferiores a 20 mm passa pelos orifícios do crivo fluindo diretamente para a primeira metade do desarenador (DS).

Desarenador

Quando a suspensão proveniente do CRH entra no DS, flui ao longo deste, proporcionando a remoção de sólidos com baixa densidade (leves) (ex.: esferovite, espumas, plásticos e outros materiais flutuantes) e pesados.

A agitação do DS é efetuada através da injeção de ar na soleira do DS. Este arejamento faz com que a suspensão seja assim agitada facilitando a libertação da MO ligada aos pesados, e que o material orgânico seja mantido em suspensão e não seja arrastado com os pesados.

No fundo do DS existe um parafuso sem-fim horizontal que transporta continuamente os pesados sedimentados no sentido de jusante para montante do DS, descarregando num outro parafuso sem-fim inclinado que transporta os pesados para fora do mesmo, no sentido de montante para jusante.

Este órgão está ainda equipado com um terceiro sem-fim para a remoção dos leves, colocado na superfície da suspensão que se encontra no DS e transporta continuamente os leves para um contentor. Os pesados e os leves removidos no DS, são posteriormente encaminhados para o aterro sanitário de apoio da central.

Na soleira do DS, oposta ao arejamento, existem ainda seis entradas de água, intermitentes e reguláveis pelo sistema de controlo, para facilitar o transporte dos sólidos e evitando assim entupimentos.

Hidrociclone 1 (HC1)

O DS é ainda complementado por dois hidrociclones para otimização da remoção de pesados. O HC1 remove a suspensão ao longo de três pontos do DS, estes pontos encontram-se distribuídos equitativamente pelo DS de forma a remover pesados em todo o seu comprimento, sendo possível regular em quais destes pontos deverá existir ou não remoção de pesados pelo HC1. Este hidrociclone funciona proporcionando uma recirculação da suspensão, aspirando-a para o seu interior onde é sujeita a um processo de centrifugação, que separa os pesados da suspensão. Após a remoção, os pesados seguem para o parafuso sem-fim do HC1 sendo posteriormente encaminhados para o aterro sanitário de apoio.

Na tubagem por onde a suspensão é reencaminhada para o DS existe uma entrada de água que realiza a lavagem e desentupimento da tubagem, de forma a que não existam colmatações de resíduos contidos na suspensão. Existe ainda uma entrada de água na tubagem que liga o HC1 ao seu respetivo sem-fim que realiza uma lavagem aos pesados, proporcionando a reinserção da MO no processo, servindo também para evitar entupimentos.

Hidrociclone 2 (HC2)

O HC2 tem um tanque associado, tanque do HC2 (THC2), para o qual a suspensão transborda a partir do DS. O HC2 aspira a suspensão de no interior do THC2 para o seu interior onde esta é submetida a um processo de centrifugação, separando-se assim os pesados da suspensão. Os pesados seguem para o sem-fim do HC2, onde à semelhança dos pesados do HC1 são sujeitos a uma lavagem, sendo posteriormente encaminhados para o aterro de apoio, uma parte da suspensão é reencaminha para o THC2 enquanto que a outra parte é encaminhada para o tanque intermédio (TI).

O THC2 permite também a sedimentação de pesados, embora não tenha sido dimensionado com este objetivo.

No caso do HC2 ou do THC2 estarem em manutenção ou limpeza, a suspensão pode seguir diretamente do DS para o TI, sem ter que realizar o circuito anteriormente descrito.

Tanque intermédio

O TI contém um sistema de agitação central que funciona continuamente para garantir que a suspensão se mantém homogénea e evitar a existência de sedimentações, tendo como principal finalidade o armazenamento da suspensão antes desta ser encaminhada para o tanque pulmão (TP).

Na tubagem que transporta suspensão para fora do tanque intermédio existe ainda uma entrada de água com a função de realizar a limpeza das tubagens.

O TMH efetuado à FORSU termina no TI, daqui a suspensão segue para o TP de onde seguirá para o tratamento biológico. O TMH encontra-se esquematizado na Figura 6-7.

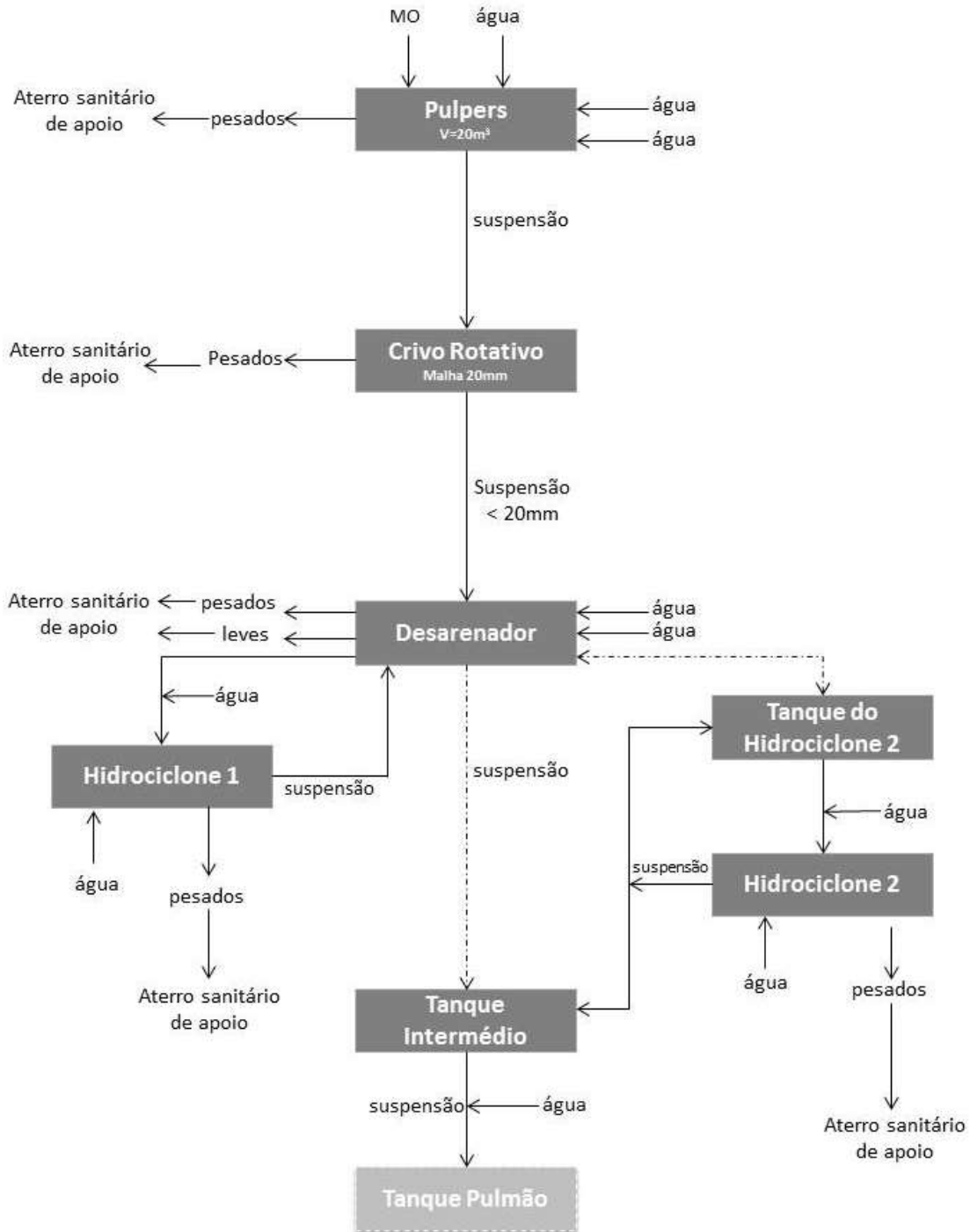


Figura 6-7 TMH da FORSU

6.2.2 Tratamento Biológico

Após o tratamento mecânico realizado à suspensão inicia-se o tratamento biológico da mesma por DA, tendo este tratamento como produtos resultantes o metano, que é aproveitado para fins energéticos e a fração sólida do digerido que após a sua estabilização é utilizada como fertilizante.

Equalizador (TP)

O TP apresenta um volume de 532 m³ e serve para garantir a alimentação contínua dos digestores mesmo quando o processo de TMH se encontra parado. Tal como o TI, o TP está equipado com um sistema de agitação central que funciona em contínuo e tem a mesma função de garantir que a suspensão se mantém homogénea e evitar a existência de sedimentações.

Digestores

De seguida a suspensão segue para os digestores. A linha da digestão é composta por dois digestores, sendo que cada digestor tem uma capacidade de 5 000 m³ operando em condições mesófilas entre os 37 e os 40°C. Esta temperatura é assegurada por um permutador de calor e monitorizada por um sensor de temperatura existente no digestor.

Cada digestor inclui uma bomba de alimentação, uma bomba de descarga, um compressor de biogás, para agitação do digestor, e uma centrífuga que separa a fração sólida da fração líquida da suspensão já digerida. As centrífugas incluem ainda equipamentos que permitem o tratamento da água centrifugada (dosagem de floculante, bombas de agente anti-espuma e bombas de anti-incrustante).

A descarga da suspensão do TP para os digestores é efetuada por bombas de alimentação, equipadas com um conversor de frequência de caudal que permite determinar o volume de suspensão alimentado por hora aos digestores, sendo o caudal máximo entre os 30 e os 32 m³/h. As bombas de alimentação estão ainda equipadas com um moinho triturador, que efetua uma trituração da suspensão antes de esta entrar nos digestores.

A suspensão no interior dos digestores é mantida a uma temperatura pré-definida, recirculando-se externamente num permutador de calor, como referido anteriormente, sendo a temperatura no interior dos digestores controlada por um sensor instalado nos mesmos. A recirculação da suspensão permite também efetuar a agitação da suspensão no digestor, eliminando assim a necessidade da existência de pás no interior do digestor para esse efeito.

A água que entra no permutador de calor para aquecer a suspensão provém do circuito de arrefecimento dos motores dos motogeradores existentes na central de produção de eletricidade. Se necessário este está equipado com uma caldeira que

permite aquecer o circuito de água. A água circula assim em circuito fechado entre o permutador de calor onde entra quente e sai fria após aquecer a suspensão.

A mistura da suspensão no interior de cada um dos digestores, para além do que foi referido anteriormente, é ainda efetuada por injeção de biogás comprimido. Uma fração do biogás que sai do digestor é encaminhada para um compressor, que aumenta a sua pressão e o injeta de novo no digestor através das 12 lanças que este possui, fazendo borbulhar o biogás do fundo para o topo do digestor.

A outra fração de biogás que sai do digestor segue para o sistema de dessulfuração biológica. A dessulfuração é realizada por microrganismos oxidantes de H_2S na torre de dessulfuração e tem como objetivo a remoção deste componente do biogás pois é corrosivo para as tubagens e motores do processo.

Para garantir as condições ideais ao desenvolvimento dos microrganismos existentes na torre de dessulfuração são fornecidos nutrientes necessários para o processo de degradação biológica, água e ar por ventilação (1 a 2% de O_2). O H_2S existente no biogás é removido através de um processo de lavagem por contracorrente, onde o biogás é injetado no fundo do tanque enquanto a água com os nutrientes é adicionada no tanque através de chuveiros. A fase líquida formada durante este processo é eliminada periodicamente, tendo como destino a ETARI, sendo substituída por água proveniente da ultrafiltração (UF) de forma a garantir valores de pH adequados ao processo biológico.

Após a dessulfuração, o biogás segue para a desumidificação, sendo eliminada por condensação parte da água existente no biogás para a proteção dos equipamentos. Os condensados formados durante a desumidificação seguem para a ETARI.

Na central existe um analisador de biogás que regista as percentagens no interior do digestor dos principais componentes do biogás, nomeadamente o $\%NH_4$, $\%O_2$, $\%H_2S$ e de $\%CO_2$.

Do digestor sai ainda suspensão digerida que segue para a centrífuga, onde é separada da fração líquida da fração sólida.

À fração líquida é adicionado anti-espuma e anti-incrustante, sendo depois filtrada e encaminhada para o tanque de água de processo para ser reintroduzida no processo. O tanque de água de processo pode ser alimentado com água da ETARI proveniente das unidades de UF e da osmose inversa (OI). Existe ainda o tanque de lamas, para o

qual podem ser encaminhadas as lamas provenientes do digestor anaeróbio da ETARI.

A fração sólida do digerido proveniente das centrífugas é encaminhada para um reservatório, a *tolva de lamas*.

Gasómetro

Depois de desumidificado, o biogás segue para um gasómetro de membrana dupla a baixa pressão, com um volume de 3 000 m³. Na tubagem entre a desumidificação e o gasómetro existe ainda uma saída para a tocha de ignição, que é ativada se o gasómetro exceder o nível estipulado (96% de biogás) ou quando a pressão é superior ao convencionado nos digestores.

Do gasómetro, o biogás pode seguir para alimentar a caldeira, ou para os motogeradores existentes na central para a produção de eletricidade e de calor.

Na Figura 6-8 é esquematizado o processo de tratamento biológico descrito anteriormente.

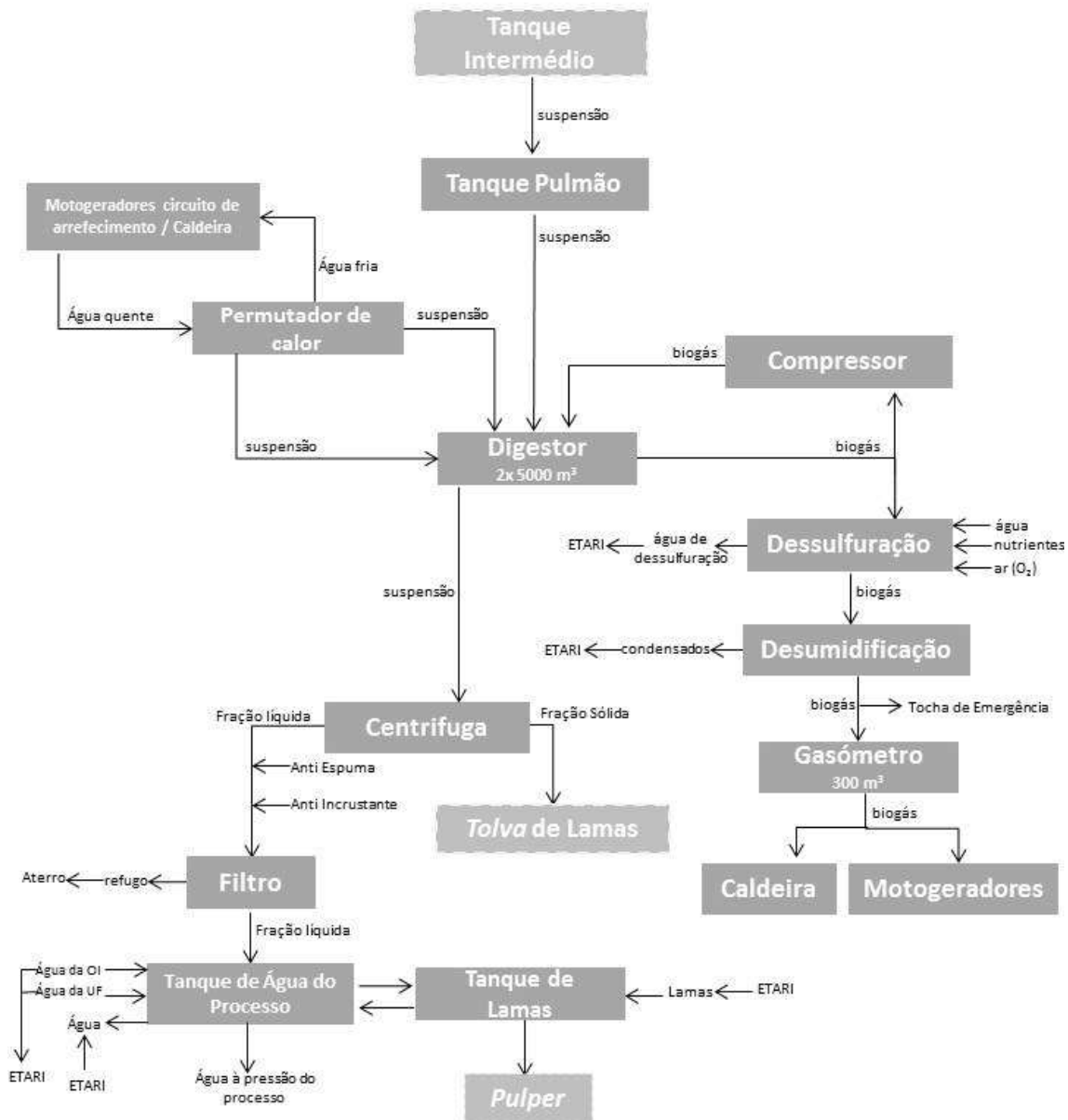


Figura 6-8 Tratamento Biológico

Compostagem

Da *tolva de lamas*, a fração sólida é encaminhada para a plataforma misturadora onde lhe é adicionado material estruturante. Este pode ser constituído por acácia, choupo ou eucalipto sem casca, servindo para impedir que existam colmatações de composto na pilha e permitindo assim o seu arejamento de uma forma mais eficaz.

Após a adição e mistura do estruturante à fração sólida do digerido, este segue para os túneis de compostagem onde é empilhado e permanece durante cerca de duas semanas. O chão de cada túnel é composto por lajes de cimento perfuradas, o que permite o arejamento do material em compostagem. É ainda controlado o nível de

oxigénio e a temperatura no interior do túnel através de sensores. Os lixiviados originados durante o processo são escoados através das perfurações das lajes e são recolhidos no tanque de lixiviados, seguidamente são filtrados por um filtro rotativo e armazenados no tanque de lixiviados filtrados. Quando necessário estes lixiviados podem ser utilizados para regar a pilha no interior do túnel, sendo o excesso enviado diretamente para a ETARI.

Após cerca de duas semanas, o pré-composto é transferido do túnel para uma pilha de compostagem na galeria de maturação. Durante este período de maturação a pilha é revolvida, sendo assim promovido o seu arejamento.

Quando o pré-composto se encontra maduro este é transportado para uma unidade de afinação. O material é carregado para o alimentador de composto e segue para o crivo de malha elástica.

Aqui a matéria de tamanho superior a 12 mm é recirculada como se fosse material estruturante e é misturada com a fração sólida de digerido, sendo que o fluxo de fundo é conduzido para a mesa densimétrica.

Na mesa densimétrica, são removidos os pesados (vidros e pedras) que o pré-composto possa conter, sendo de seguida encaminhados o aterro de apoio. O composto segue para um ciclone onde lhe são removidos os leves (plásticos), sendo assim obtido o composto final, que é empilhado no solo.

O composto é posteriormente comercializado como fertilizante, sendo a sua classificação, de acordo com os níveis de MO que este apresenta, de corretivo agrícola orgânico. O composto insere-se na classe de qualidade IIA, como tal o seu uso restringe-se a solos para implantação ou maturação de espécies arbóreas e arbustivas, nomeadamente pomares, olivais e vinhas. Este pode ainda ser utilizado para solos destinados a espécies silvícolas, jardinagem, culturas bioenergéticas, produção florícolas e relvados, designadamente compôs de futebol e de golfe.

A Figura 6-9 apresenta um esquema do processo de compostagem realizado à fração sólida do produto digerido.

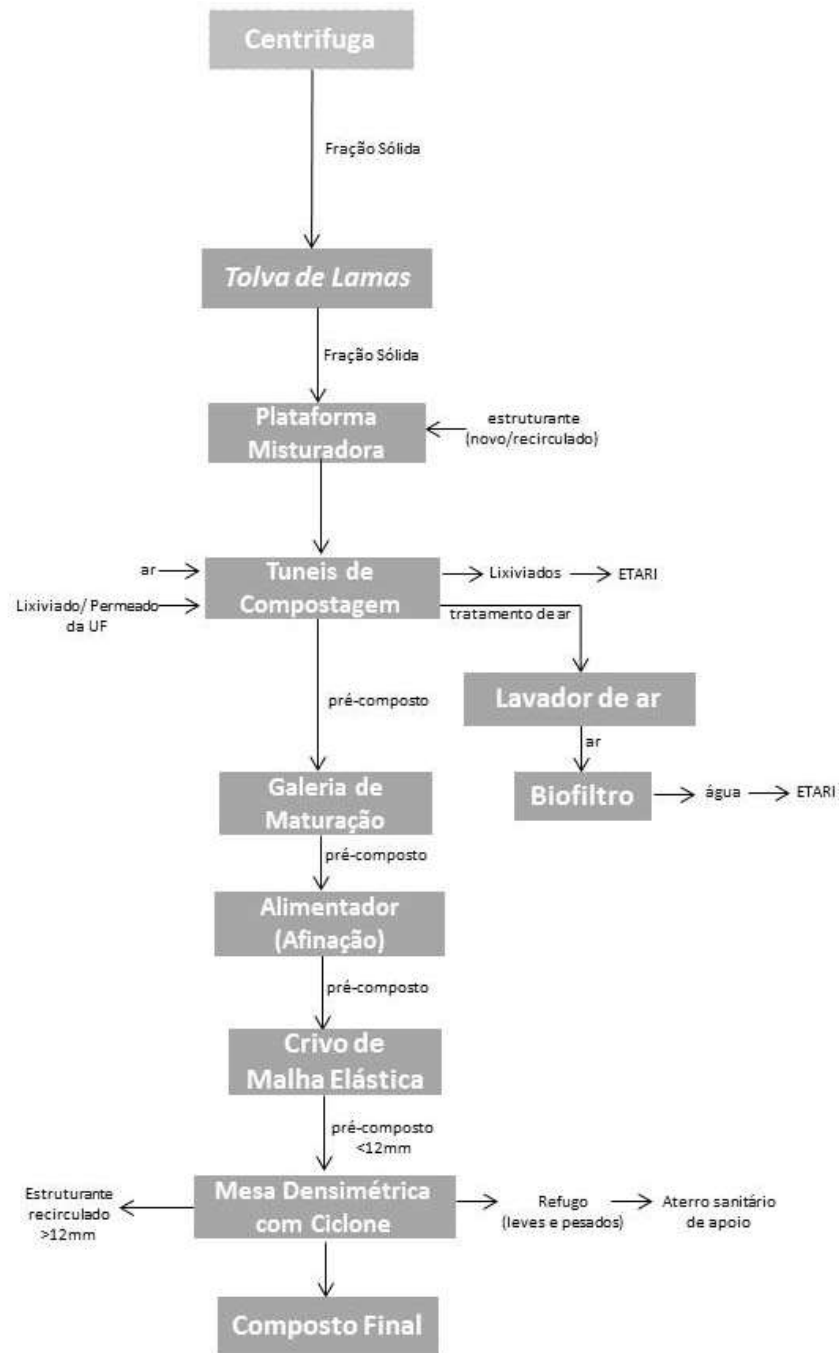


Figura 6-9 Processo de compostagem da fração sólida do produto digerido

Existe ainda um equipamento de extração de ar da nave do TMS e do TMH, de alguns equipamentos do TMH e dos túneis de compostagem. O ar extraído é encaminhado para lavadores de ar seguindo posteriormente para biofiltros, que têm como função remover os maus odores. A água proveniente dos lavadores de ar é encaminhada para a ETARI.

A Figura 6-10 apresenta de uma forma simplificada todo o processo descrito anteriormente incluindo o TMH realizado à FORSU.

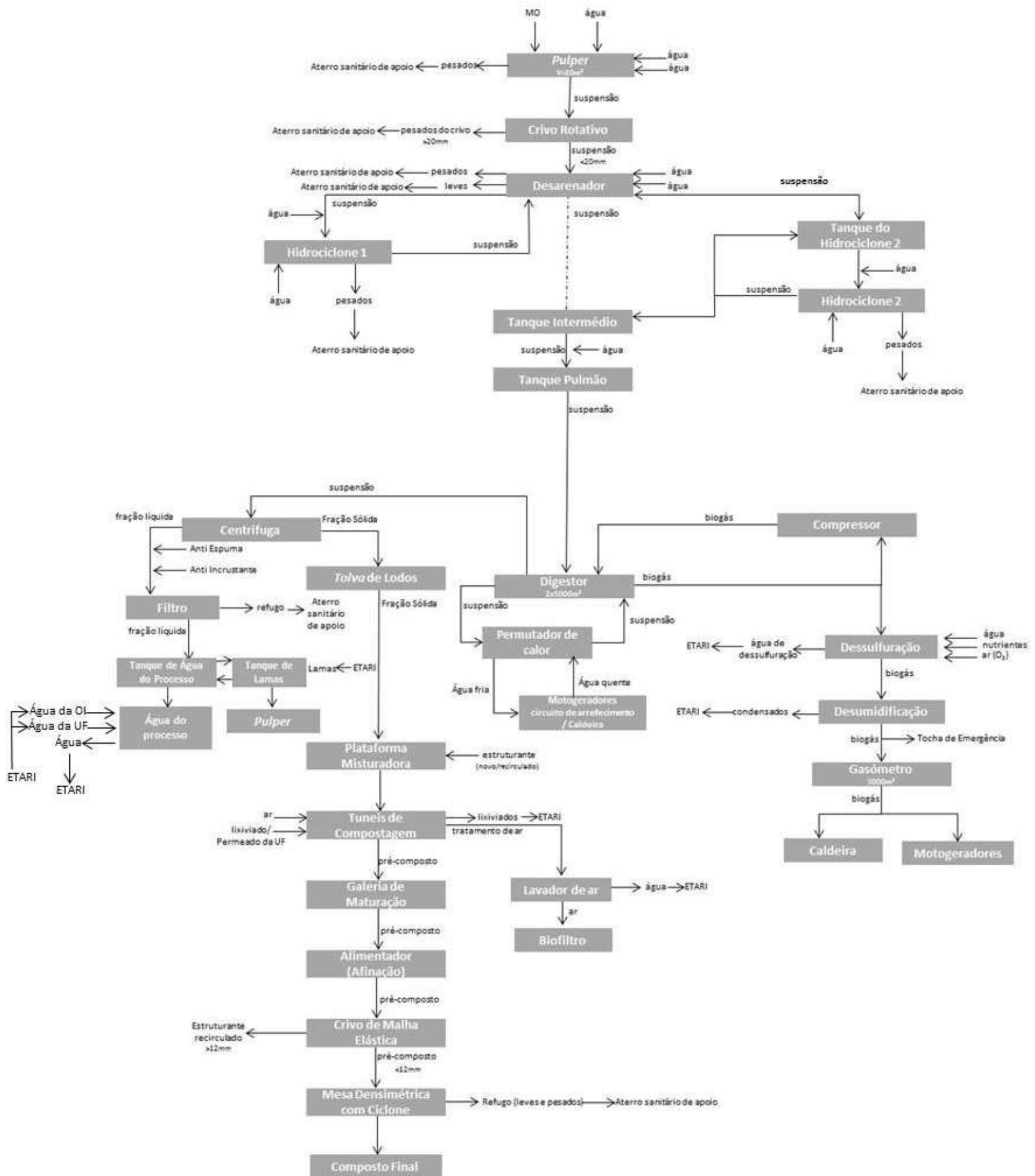


Figura 6-10 Fluxograma geral do TMH e do tratamento biológico

6.2.3 Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais

O CITV de RSU tem ainda uma ETARI afeta à Unidade de TMB, onde são tratados os efluentes provenientes de todo o centro. Esta unidade é composta por dois tanques de homogeneização, um reator anóxico, um reator aeróbio, uma unidade de UF e uma unidade de osmose inversa (OI).

Tanques de homogeneização

A águas residuais industriais provenientes da unidade de TMB, os lixiviados provenientes do aterro de apoio, as águas residuais domésticas provenientes do edifício dos serviços administrativos, da portaria e da Unidade de Triagem são encaminhadas para um dos dois tanques de homogeneização existentes na ETARI da Central. Aqui os diferentes afluentes são misturados, garantindo-se assim uma homogeneização dos mesmos e garantindo-se que o efluente a tratar na ETARI tem características análogas e constantes. Dos tanques de homogeneização o efluente é bombeado para um filtro rotativo, onde é filtrado. Os sólidos provenientes da filtração do efluente são encaminhados para um contentor, e posteriormente depositados no aterro sanitário de apoio da Central, por sua vez o efluente, é encaminhado para um reservatório que serve de equalizador, de onde segue para o reator anóxico.

Reator Anóxico

O reator anóxico apresenta uma capacidade de 1200 m³ de volume. Aqui ocorre a desnitrificação, sendo que os iões NO₃⁻ são reduzidos a N₂ gasoso por organismos heterotróficos que consomem o oxigénio. A agitação no reator é efetuada através da bombagem do efluente e da sua circulação por jatos de *Venturi*. O reator está ainda equipado com uma sonda para a medição do potencial de oxidação-redução e com uma bomba que possibilita a adição de glicerol ao efluente do reator, para o caso de ser necessário adicionar uma fonte de carbono ao reator por forma a controlar o CQO do efluente.

Reator Aeróbio

Do reator anóxico o efluente a tratar segue para o reator aeróbio. O reator aeróbio tem uma capacidade de 1750 m³, sendo que neste reator os iões NH₄⁺ são oxidados por microrganismos autotróficos a NO₃⁻ na presença de oxigénio e CO₂. A agitação neste reator é realizada de forma similar à do reator anóxico, sendo que neste existem ainda três

insufladores que fornecem o ar, providenciando assim o oxigénio necessário para as reações que aqui ocorrem. O reator aeróbio tem uma sonda que realiza a monitorização da concentração de oxigénio no efluente do reator.

O reator aeróbio possui ainda uma bomba doseadora de anti-espuma, para evitar o surgimento de espuma devido ao sistema de recirculação que este possui, uma bomba doseadora de soda cáustica para evitar a diminuição do pH, esta adição é controlada de acordo com uma sonda de pH instalada no sistema de agitação e arejamento e existe uma bomba doseadora de ácido fosfórico de forma a precaver a possível falta deste nutriente pois este é imprescindível para o crescimento bacteriano.

Unidade de ultrafiltração

Quando sai do reator aeróbio uma parte do efluente é refrigerada num permutador e recirculada para o reator anóxico, enquanto o restante é encaminhado para um filtro automático e posteriormente para uma unidade de ultrafiltração.

Na UF é eliminada matéria livre em suspensão (coloides e proteínas), bactérias e vírus presentes no efluente, o que torna possível a reutilização parcial ou completa deste para algumas atividades do CITV de RSU, nomeadamente para regar os biofiltros e os tuneis, é utilizada nos lavadores de ar existentes na Central, na dessulfuração e para encher o tanque de água do processo.

Unidade de osmose inversa

Após a realização do tratamento de ultrafiltração ao efluente, este pode ser encaminhado para utilização nas diversas atividades já referidas ou seguir para a Unidade de OI.

O tratamento de OI realizado ao efluente tem como principal função a remoção de iões (incluindo os metálicos) não previamente dissolvidos no efluente.

Após passar pelo tratamento de UF o efluente pode ser encaminhado para o tanque de água do processo para ser reintroduzido no processo, para rega dos biofiltros e do composto em maturação, na adição de polímero, para realizar atividades de limpeza na Central ou pode seguir para o emissário coletor de água residual municipal.

O tratamento realizado ao efluente na ETARI encontra-se esquematizado na Figura 6-11.

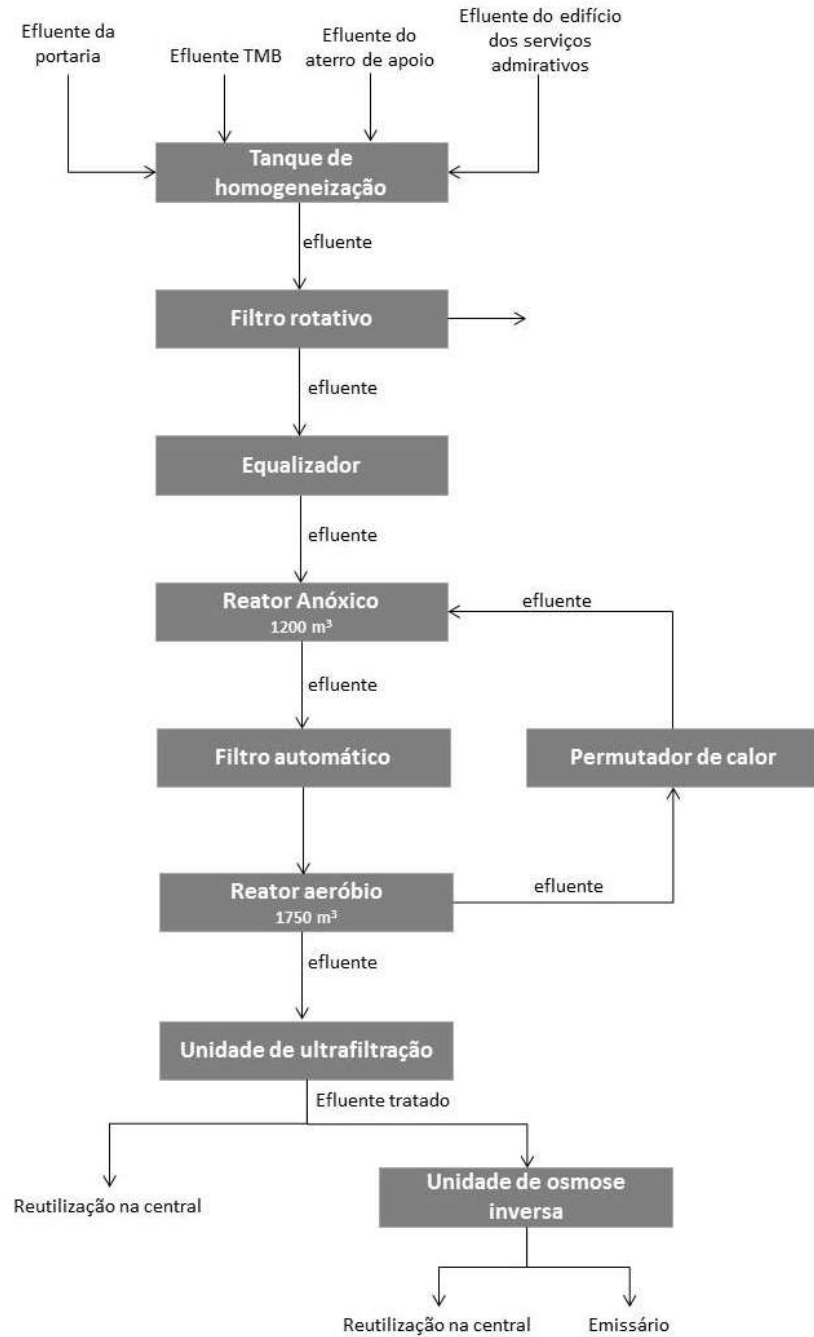


Figura 6-11 Fluxograma da ETARI

7. Material e Métodos

7.1 Amostragem

A amostragem foi inicialmente realizada com o objetivo de fazer uma caracterização do TMH (situação de referência) e de se obterem os dados necessários para a realização de BMs ao sistema. Seguidamente, durante a redução das entradas de água no processo, a amostragem foi realizada por forma a monitorizar as diferentes variáveis do processo, possibilitando a avaliação do seu comportamento face às alterações realizadas.

Para a realização do presente trabalho foram seleccionados 15 pontos de amostragem distribuídos por diferentes locais ao longo do TMH, sendo estes pontos representativos do comportamento da suspensão, dos pesados e dos leves removidos ao longo do mesmo. A escolha desta variedade de pontos de amostragem foi fundamental para a compreensão do comportamento/variação do teor em sólidos na suspensão no decorrer do TMH, e assim se compreender quais os locais passíveis de se realizar uma redução das entradas de água.

No presente trabalho foram realizados três tipos de amostragem:

- Amostragens preliminares;
- Amostragens para a realização da caracterização do processo e obtenção de dados para a realização de BMs ao mesmo;
- E por fim amostragens para a monitorização do processo, durante as reduções das entradas de água no mesmo.

Os três tipos de amostragem são descritos seguidamente.

7.1.1 Localização dos Pontos de Amostragem

Na Figura 7-1 é apresentado o fluxograma do TMH onde se encontram assinalados cada um dos locais de amostragem selecionados para a realização do presente trabalho.

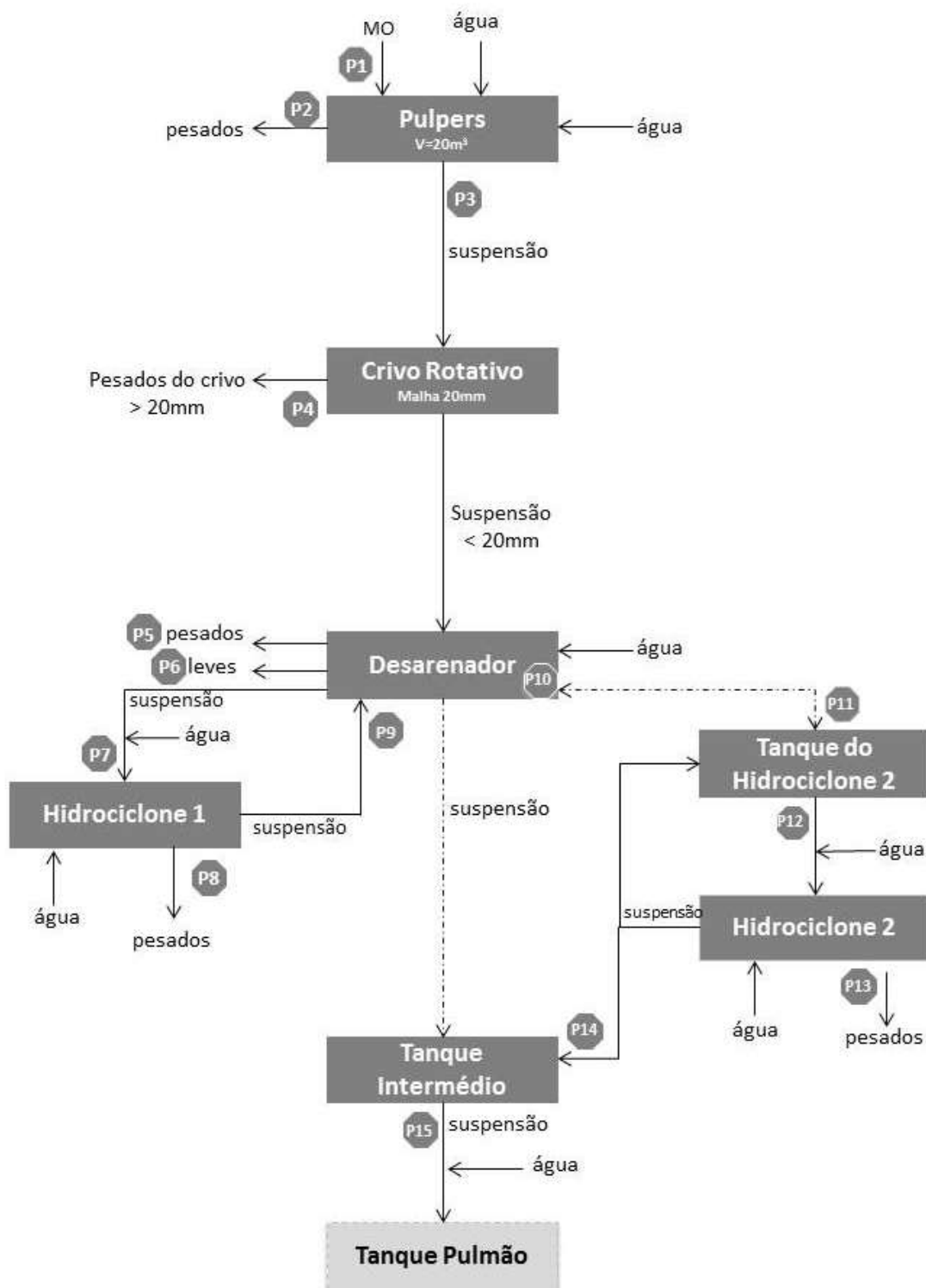


Figura 7-1 Fluxograma do TMH com os diferentes pontos de amostragem assinalados

Como referido, foram seleccionados 15 pontos de amostragem no TMH de forma a se obterem:

- Os dados necessários para a elaboração de BMs ao processo;
- A caracterização do comportamento da suspensão no decorrer do mesmo, ou seja, como varia a concentração de ST e SV na suspensão no decorrer do TMH;
- E o estudo dos locais passíveis de redução das entradas de água.

Seguidamente descrevem-se os pontos de amostragem.

O ponto P1 localiza-se na cinta transportadora de alimentação do *pulper* (vide Figura 7-2). As amostras aqui recolhidas são representativas da FORSU à entrada do *pulper* que provém da linha dos resíduos orgânicos do TMS dos RSU, e são constituídas pelos RSU com dimensões >75 mm.



Figura 7-2 Local de amostragem do ponto P1

As amostras recolhidas nos pontos P2, P4, P5, P8 e P13 (vide Figura 7-3) caracterizam os pesados que saem do TMH, e localizam-se respetivamente no local de descarga dos pesados do *pulper*, do CRH, do DS, do HC1 e do HC2.



Figura 7-3 Local de amostragem dos pontos P2 (A), P4 (B), P5 (C), P8 (D) e P13 (E)

Nos pontos P8 e P13 foram recolhidos três tipos de amostras de pesados:

- Amostras recolhidas com o parafuso sem-fim a funcionar com ciclos de 15 segundos com lavagem e 90 segundos sem lavagem para o caso do HC1 (P8), e de 30 segundos com lavagem e 90 segundos sem lavagem no caso do HC2 (P13);
- Amostras com o parafuso sem-fim sem a lavagem dos pesados (P8' e P13');
- E amostras com o parafuso sem-fim a funcionar com a lavagem dos pesados (P8'' e P13'').

Esta recolha de amostras em diferentes condições de trabalho deveu-se à lavagem cíclica realizada aos pesados, pretendendo-se verificar qual o efeito desta na recuperação de ST nos mesmos.

O ponto P6 localiza-se na descarga do parafuso sem-fim dos leves do DS, como é patente na Figura 7-4.



Figura 7-4 Local de amostragem do ponto P6

Os pontos P3, P7, P9, P10, P11, P12, P14 e P15 foram selecionados de forma a caracterizar a suspensão ao longo do TMH da suspensão. O ponto P3 localiza-se no transbordo da suspensão do *pulper*, sendo que a amostra aqui recolhida é representativa da suspensão à saída do *pulper*. Os pontos P7 e P9 localizam-se, respetivamente, nas tubagens que encaminham a suspensão para o interior do HC1 (da suspensão à entrada do HC1) e posteriormente para o interior do DS (suspensão após lhe serem removidos os pesados). A Figura 7-5 apresenta os locais dos pontos de amostragem descritos anteriormente.

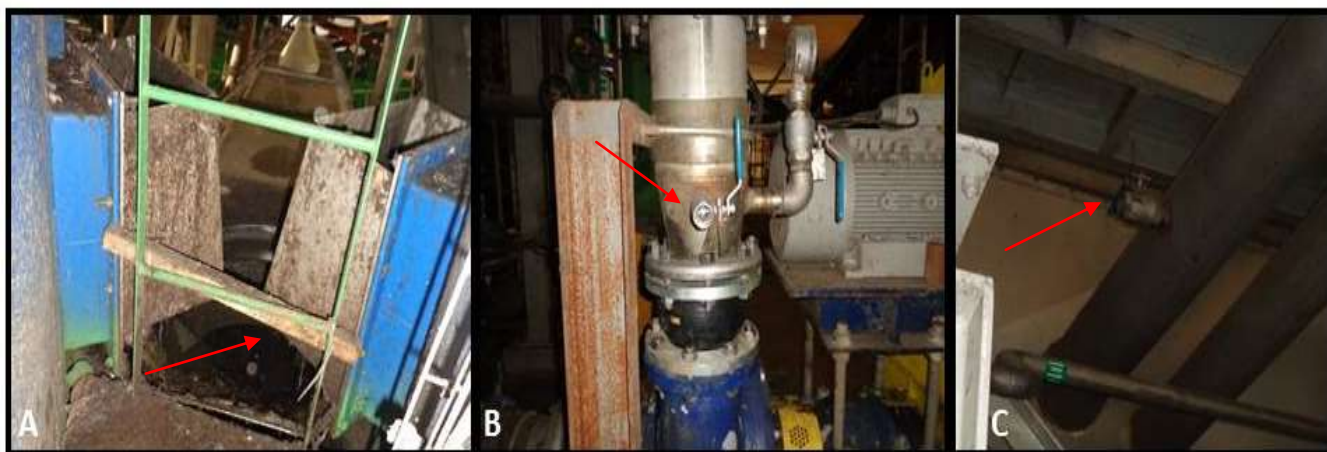


Figura 7-5 Local de amostragem dos pontos P3 (A), P7 (B) e P9 (C)

O ponto P10 (*vide* Figura 7-6) caracteriza a suspensão à saída do DS, após lhe serem removidos os pesados e os leves, como tal as amostras foram recolhidas junto à tubagem por onde a suspensão segue para o THC2.



Figura 7-6 - Local de amostragem do ponto P10

No ponto P11 foram recolhidas amostras da suspensão no interior do THC2, no ponto P12 as amostras foram recolhidas na tubagem que encaminha a suspensão para o interior do HC2, ambas as amostras representam a suspensão à entrada do HC2. A Figura 7-7 mostra os locais de amostragem P11 e P12.

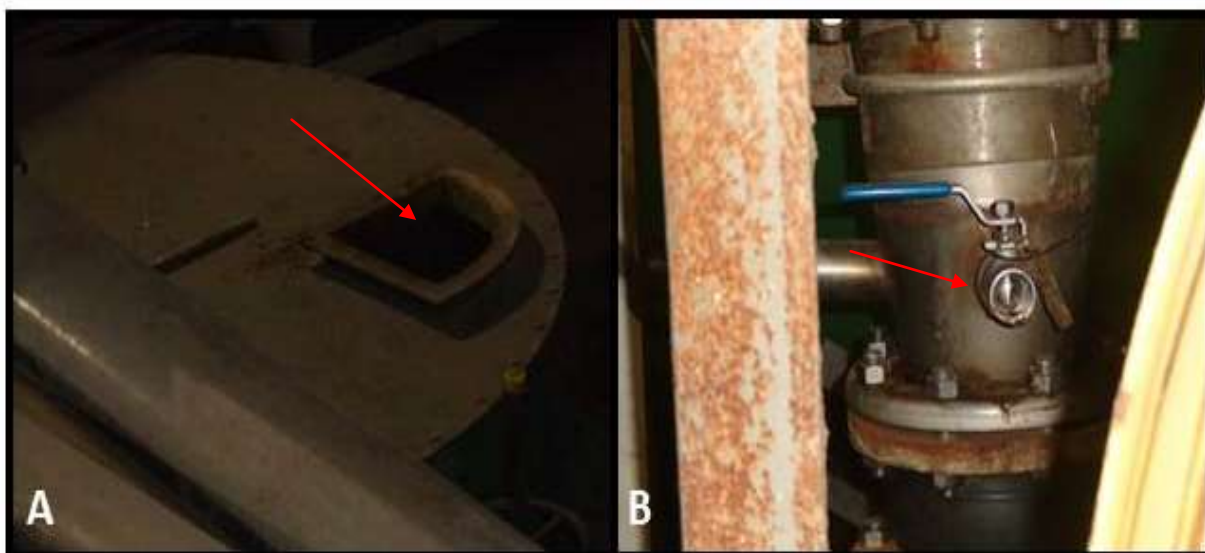


Figura 7-7 - Local de amostragem dos pontos P11 (A) e P12 (B)

Foram ainda recolhidas amostras no ponto P14, localizado na descarga da suspensão para o TI. Esta amostra é representativa da parte da suspensão que é encaminhada para o

mesmo. Por fim, as amostras recolhidas no ponto P15 localizado na tubagem de alimentação do TP, representam a suspensão à saída do TI. Estes dois pontos de amostragem são apresentados na Figura 7-8.

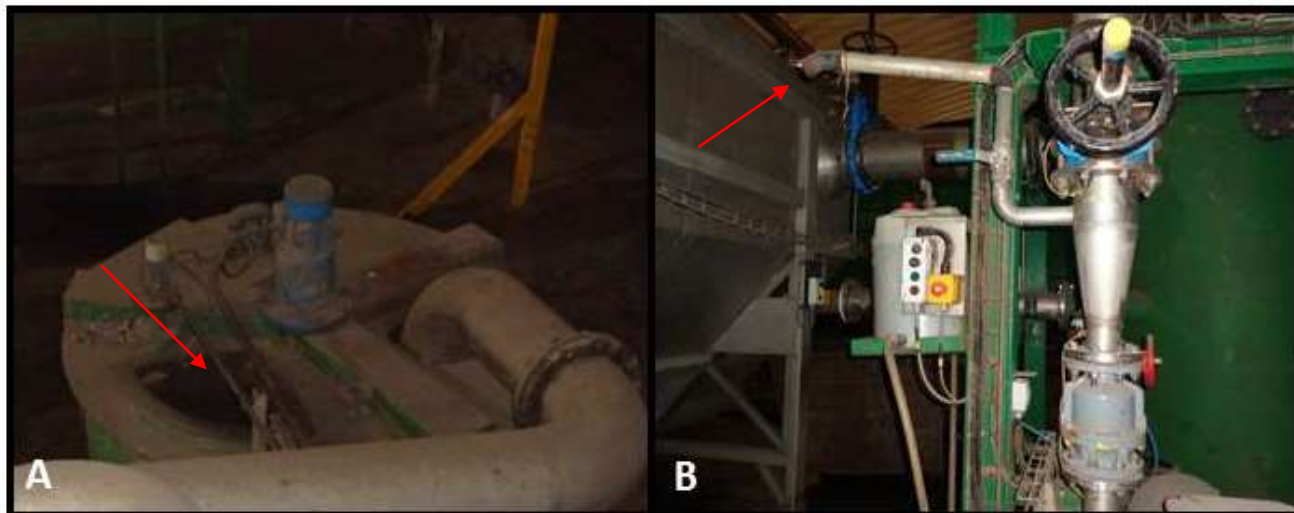


Figura 7-8 - Pontos de amostragem P14 (A) e P15 (B)

7.1.2 Amostragem e Parâmetros a Analisar

Para a realização do controlo analítico do TMH foram realizados três tipos de campanhas de amostragem:

- Amostragens preliminares, com o objetivo de verificar se o plano de amostragens inicialmente definido era aplicável, adquirir experiência na recolha das amostras e verificar se o material e os métodos definidos para a recolha das amostras para a determinação das saídas de pesados e leves eram viáveis ou se necessitavam de ser ajustados;
- Amostragens para a recolha dos dados necessários para a realização dos BMs e caracterização da situação inicial do processo do processo;
- E por fim amostragens para a monitorização do processo durante o período de redução das entradas de água no mesmo, de forma a controlar as repercussões das redução da água no TMH. A Tabela 7-1 apresenta os dias em que foram realizadas as campanhas de amostragem.

Tabela 7-1 Campanhas de amostragem

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| janeiro | | | | | | | | | | | | | | √ | √ | √ | √ | | | √ | √ | | | | | | √ | √ | √ | √ | |
| fevereiro | | | | √ | √ | √ | | | | | √ | √ | | | | | | √ | √ | √ | √ | | | √ | √ | √ | | | | | |
| março | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | √ | √ | | | | √ | | | | | | |
| abril | | | | | | | | | | √ | √ | | | √ | √ | √ | √ | | | | √ | √ | √ | | | | | | √ | | |
| maio | | √ | | | √ | | √ | | | | | | √ | √ | | | √ | | | √ | | √ | | | | | √ | √ | | | |

Legenda:

- √ - Campanhas de amostragem preliminares
- √ - Campanhas de amostragem de recolha de dados para a caracterização e realização de BMs ao processo
- √ - Campanhas de amostragem de monitorização do TMH durante a redução do consumo de água no TMH

Inicialmente foi realizado um plano de frequência da amostragem, no qual foi definido que seriam realizadas duas campanhas de amostragem por semana, durante oito semanas, para a recolha de dados para a realização dos BMs e para a caracterização do TMH. Contudo, durante a realização das amostragens preliminares verificou-se que o plano realizado era inadequado à dinâmica do processo, pois este é variável e pode não ser possível realizar a recolha de todas as amostras nos dias planeados. Assim, definiu-se que a recolha das amostras seria realizada de acordo com o tempo de funcionamento do TMH previsto para cada dia, e que seriam realizadas tantas campanhas por semana quanto possível. Foi ainda decidido que não seriam realizadas amostragens à segunda-feira, dia em que é realizado o arranque do processo após este estar parado durante o fim de semana, pois a suspensão encontra-se mais diluída pois é adicionado um maior volume de água no processo durante a realização do seu arranque.

A Tabela 7-2 apresenta o plano de amostragem de controlo analítico para as amostras recolhidas durante o período de recolha de dados para a caracterização e realização de BMs ao TMH.

Tabela 7-2 Plano de amostragem para o controlo analítico do TMH

| | Local de amostragem | | Amostra | Observações | Análise |
|--------------------------------------|---------------------|--|---|---|--|
| Ponto de caracterização da FORSU | P1 | Cinta transportadora de alimentação do <i>pulper</i> | FORSU à entrada do <i>pulper</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido - Resíduo constituído por MO, papel, plástico, vidro, metais e outro com dimensões <75 mm - Provém da separação mecânica de RSU e “alimenta” o início do TMH | <ul style="list-style-type: none"> - Caracterização da FORSU que entra no <i>pulper</i> (%) - Teor de ST (%) e SV (%) - Massa volúmica (Kg/m³) |
| Pontos de caracterização dos pesados | P2 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do <i>pulper</i> | Fração pesada do fundo do <i>pulper</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração pesada constituída por vidros, areias, metais e outros materiais pesados - Pesados removidos do fundo do <i>pulper</i> - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | <ul style="list-style-type: none"> - Quantidade de pesados que saem (Kg) - Teor de ST (%) e SV (%) - Massa volúmica (Kg/m³) |
| | P4 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do CRH | Fração pesada do CRH (>20mm) | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração pesada rejeitada pelo CRH com tamanho superior 20 mm - Segue para deposição no aterro | |
| | P5 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do DS | Fração pesada do DS | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração pesada removida no DS com tamanho inferior a 20mm, constituída por areias, vidros e pedras - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | |

Tabela 7-2 Plano de amostragem para o controlo analítico do TMH (Cont.)

| | | Local de amostragem | Amostra | Observações | Análise |
|--------------------------------------|------|---|--|--|---|
| Pontos de caracterização dos pesados | P8 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim do HC1 | Fração pesada do HC1 | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Pesados removidos pelo HC1 e que são arrastados pelo sem-fim - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | <ul style="list-style-type: none"> - Quantidade de pesados que saem (Kg) - Teor de ST (%) e SV (%) - Massa volúmica (Kg/m³) |
| | P8' | Ponto de descarga do parafuso sem-fim do HC1 | Fração pesada do HC1 com lavagem dos pesados | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Pesados removidos pelo HC1 e que são arrastados pelo sem-fim, com lavagem dos pesados - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | |
| | P8'' | Ponto de descarga do parafuso sem-fim do HC1 | Fração pesada do HC1 sem lavagem dos pesados | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração pesada removida pelo HC1 e que é arrastada pelo sem-fim, sem lavagem dos pesados - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | |
| | P13 | Sem-fim do HC2 ponto de descarga do parafuso sem-fim do HC2 | Fração pesada do HC2 | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração pesada removida no HC2 constituída por areias, vidros entre outros materiais - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | |
| | P13' | Sem-fim do HC2 ponto de descarga do parafuso sem-fim do HC2 | Fração pesada do HC2 com lavagem dos pesados | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração pesada removida HC2, com lavagem da mesma, constituída por areias, vidros entre outros materiais - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | |

Tabela 7-2 Plano de amostragem para o controlo analítico do TMH (Cont.)

| | Local de amostragem | | Amostra | Observações | Análise |
|---|---------------------|--|--|--|--|
| Pontos de caracterização dos pesados | P13'' | Sem-fim do HC2 ponto de descarga do parafuso sem-fim do HC2 | Fração pesada do HC2 sem lavagem dos pesados | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração pesada removida pelo sem-fim do HC2, sem lavagem da mesma, constituída por areias, vidros entre outros materiais - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | <ul style="list-style-type: none"> - Massa de pesados que saem (Kg) - Teor de ST (%) e SV (%) - Massa volúmica (Kg/m³) |
| Ponto de caracterização dos leves | P6 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim de remoção dos leves do DS | Fração leve do DS | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: sólido; - Fração leve removida à superfície do DS, constituída por plástico, esferovite e outros materiais de baixa densidade - Segue para deposição no aterro sanitário de apoio | <ul style="list-style-type: none"> - Massa de leves que saem do DS (Kg) - Teor de ST (%) e SV (%) - Massa volúmica (Kg/m³) |
| Pontos de caracterização da suspensão ao longo do TMH | P3 | Transbordo da suspensão do <i>pulper</i> | Suspensão à saída do <i>pulper</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: suspensão - Suspensão constituída por FORSU, água e impurezas após o processo de homogeneização - Segue para o crivo rotativo húmido | <ul style="list-style-type: none"> - Teor de ST (%) e SV (%) - Massa volúmica (Kg/m³) |
| | P7 | Picagem da tubagem que encaminha a suspensão para o HC1 | Suspensão que entra no HC1 | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: suspensão - Suspensão que provém do DS com destino ao HC1 | |
| | P9 | Picagem na tubagem que encaminha a suspensão para o DS | Suspensão proveniente do HC1 | <ul style="list-style-type: none"> - Estado físico: suspensão - Suspensão que entra no DS após a remoção de pesados pelo HC1 | |

Tabela 7-2 Plano de amostragem para o controlo analítico do TMH (Cont.)

| | Local de amostragem | | Amostra | Observações | Análise |
|--|---------------------|--|----------------------------|---|--|
| Pontos de caracterização da suspensão ao longo do TMH | P10 | Local a jusante do DS | Suspensão à saída do DS | - Estado físico: suspensão - Suspensão a jusante do DS; - Segue para o THC2 | - Teor de ST (%) e SV (%) - Massa volúmica (Kg/m ³) |
| | P11 | No interior do THC2 | Suspensão no interior TCH2 | - Estado físico: suspensão - Segue para o HC2 | |
| | P12 | Picagem na tubagem antes da bomba do HC2 | Suspensão à entrada do HC2 | - Estado físico: suspensão - Suspensão bombeada do THC2 para o HC2 | |
| | P14 | Ponto de descarga do para o TI | Suspensão à saída do HC2 | - Estado físico: suspensão - Suspensão após a remoção dos pesados pelo HC2; - Segue para o TI | |
| | P15 | Picagem da tubagem que encaminha a suspensão para o TP | Suspensão à saída do TI | - Estado físico: suspensão - Suspensão que segue para o TP | |

Como se verifica pela Tabela 7-2, foram determinados os teores de ST (%) e SV (%), e a massa volúmica (Kg/m³) para todos os pontos de amostragem, sendo que no ponto P1 foi ainda realizada a caracterização da FORSU. Foram ainda recolhidas amostras para a determinação dos caudais de saída dos leves do DS (ponto P6) e de pesados (pontos P2,P4,P5,P8 e P13) no TMH.

Para as campanhas de amostragem realizadas durante o período de redução das entradas de água no TMH este plano foi reajustado, passando a determinar-se apenas o teor de ST (%) e SV (%) nos pontos de amostragem, tendo-se realizado também a caracterização da FORSU no ponto P1.

7.1.3 Amostragem para a Determinação dos Caudais de Saída de Leves e Pesados no TMH da FORSU

A ERSUC detém um sistema de remoção de pesados no TMH, no qual estes são todos descarregados para um parafuso sem-fim comum, sendo assim todos misturados, existindo apenas um registo global onde são todos contabilizados como um só. Como tal, para a realização dos BMs, foi necessário determinar os caudais de pesados nos pontos P2, P4, P5, P8 e P13.

Como tal, para realizar a recolha de amostras de quantificação de pesados que saem nos pontos P2, P4, P5, P8 e P13 é necessário construir peças adequadas para o efeito, uma vez que os locais onde estes são descarregados possuem infraestruturas fechadas e de acesso limitado.

No caso dos leves do DS, a sua determinação foi realizada da mesma forma que os pesados, para que o caudal dos leves removidos fosse determinado nas mesmas condições que os pesados removidos do processo. Os valores da quantidade de FORSU que entra no *pulper* no ponto P1 foram fornecidos pela ERSUC.

Para auxiliar na recolha das amostras foram utilizadas peças e um raspador (*vide* Figura 7-9), construídos na empresa com a ajuda dos recursos humanos da secção do Tratamento Biológico, recipientes de 50 L, um cronómetro, uma balança e a folha de registos que se encontra no Anexo I.



Figura 7-9 Raspador utilizado no auxílio da recolha de amostras de massa nos pontos P2, P4, P5, P6, P8 e P13

O raspador da Figura 7-9 foi construído para auxiliar o encaminhamento dos pesados para o interior dos recipientes de recolha das amostras e, no caso dos pesados do *pulper* e do DS,

auxiliar também o encaminhamento dos mesmos para fora das estruturas onde foram recolhidos, para assim os pesados não ficarem acumulados no interior das mesmas durante a sua recolha.

As recolhas nos pontos P2 e P5 foram iniciadas com a paragem do parafuso sem-fim correspondente à amostra a recolher. De seguida foi colocada a peça construída para realizar a recolha na respetiva estrutura e iniciou-se a marcha do parafuso sem-fim novamente. Para recolher os pesados quando o parafuso sem-fim estava em funcionamento foi utilizado um recipiente, garantindo-se que o caudal de pesados que saía da estrutura era normalizado e que eram recolhidos em condições o mais similar possível ao normal funcionamento do processo. De seguida estes pesados foram rejeitados e iniciada uma nova recolha.

Foram recolhidas três réplicas por cada ponto de amostragem, sendo a sua recolha realizada em contínuo e o tempo de amostragem cronometrado e registado nas folhas de registos (*vide* Figura do Anexo I).

Após a conclusão da recolha das amostras, foi utilizado um outro recipiente para recolher os pesados que saíam enquanto se indicava a paragem do parafuso sem-fim para a remoção da peça da estrutura utilizada na recolha, tendo estes sido rejeitados. No fim da recolha das amostras, os recipientes foram pesados “*in situ*” e registada a massa de cada um, nas folhas de registos que se encontra no Anexo I.

As imagens da Figura 7-10 e da Figura 7-11 mostram, respetivamente as características do local de recolha das amostras para a determinação dos caudais de pesados do ponto P2, e das peças construídas para a recolha das mesmas.

Este local de amostragem é de difícil acesso, pois os pesados são descarregados a uma altura de cerca de 4 m (*vide* Figura 7-10), por uma estrutura metálica que assegura que não existem derrames dos mesmos, sendo o único acesso uma janela existente na estrutura metálica (*vide* imagem B da Figura 7-11). Tal, associado à velocidade que estes adquirem ao cair e à constituição dos mesmos, nomeadamente pedras e vidros, torna a recolha de amostras neste ponto pouco segura para os operadores.

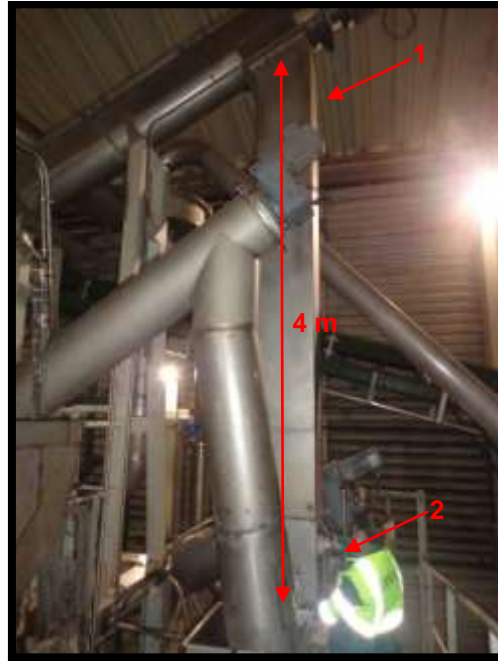


Figura 7-10 Estrutura onde se realizou a recolha das amostras no Ponto P2 relativos ao *pulper*

Legenda: 1 – Estrutura metálica; 2 – Local de recolha das amostras P2

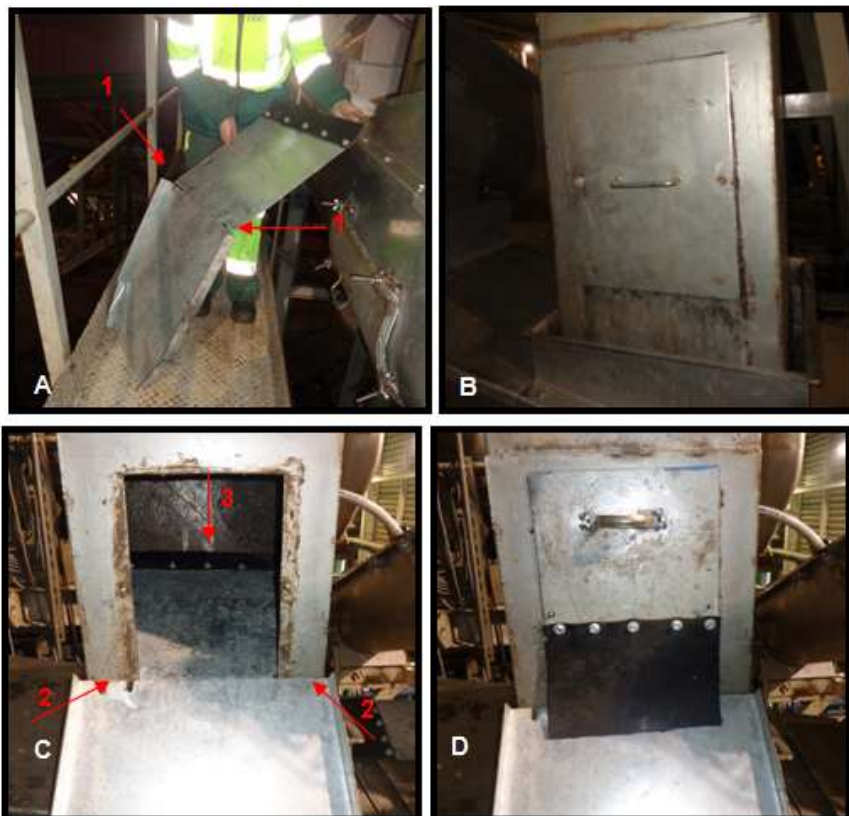


Figura 7-11 Peças construídas para a recolha das amostras no ponto P2

Legenda: A - Perfil da peça de apoio para a recolha dos pesados, 1- Cortes da peça para encaixe no local de recolha dos pesados; B - Estrutura do local de recolha dos pesados; C - Peça colocada no local de recolha dos pesados, 2- Cortes da peça para encaixe no local de recolha dos pesados, 3- Borracha para evitar as perdas de massa de pesados; D - Peça colocada no local de recolha de pesados com a porta de proteção

Na imagem C da Figura 7-11 observa-se o perfil da peça elaborada. Esta peça possui alguns detalhes que permitem uma recolha de amostras de caudal dos pesados o mais rigorosa possível. Nos ensaios realizados verificou-se que os pesados tinham uma grande tendência a escorrer pela parede da estrutura metálica, devido ao facto de o parafuso sem-fim de descarga dos pesados do *pulper* descarregar nesse lado. Como tal, foi aplicada uma borracha na peça por forma a evitar essas perdas de massa (*vide* imagem C da Figura 7-11). Outros detalhes importantes são o afunilamento do fundo da peça, o rebordo e a inclinação realizada na mesma, que garantem que toda a amostra recolhida no período de amostragem é encaminhada para o recipiente de recolha.

Como se verifica na imagem A da Figura 7-11, foram realizados dois cortes na peça, para que esta encaixasse na porta e cobrisse toda a área de recolha dos pesados no interior da estrutura metálica (imagem C da Figura 7-11).

Após o início das campanhas de amostragem, foram adicionados dois parafusos na estrutura metálica, um em cada uma das paredes perpendiculares à parede da porta, o que proporcionou um maior suporte à peça. Sem estes apoios a peça não suportava o peso da amostra e dobra, deixando os pesados seguirem pelo sistema de remoção dos mesmo, e tendo que se reiniciar o procedimento de recolha.

Para garantir condições de segurança durante a recolha das amostras no ponto P2, foi ainda elaborada uma porta (imagem D da Figura 7-11), similar à já existente na janela (imagem B da Figura 7-11). Esta tem como particularidade ser constituída por uma parte inferior em borracha, o que possibilitou o encaminhamento dos pesados para fora da estrutura com a ajuda do rapador (Figura 7-9) enquanto se efetuava a recolha, e evitando assim a projecção dos pesados para fora da estrutura.

A Figura 7-12 apresenta o equipamento devidamente instalado antes do início da recolha das amostras de massa dos pesados do fundo do *pulper*.



Figura 7-12 Vista de cima das peças colocadas no Ponto P2 para ser iniciada a recolha de amostras

Para realizar a recolha das amostras de pesados no ponto P5, foi elaborada a peça apresentada nas imagens A e B da Figura 7-13, a qual, como se pode observar, apresenta um formato arredondado na sua parte superior permitindo o encaixe no local de amostragem. Esta tem também um alicate em borracha em todo o seu rebordo com o objetivo de reduzir perdas de massa durante a recolha das amostras (imagem C da Figura 7-13), pois nos ensaios realizados com a peça verificou-se que existia uma tendência dos pesados para escorrerem ao longo da estrutura.

A peça possui ainda rebordos ao longo da sua extensão (imagens A e B da Figura 7-13) que permitem evitar o derrame de pesados quando estes escorrem pela peça e encaminha-os para no interior do recipiente de recolha.

Para a recolha de amostras neste local foi utilizada a porta elaborada para a recolha de amostras dos no ponto P2, de forma a garantir as condições de segurança durante a recolha dos mesmos. A imagem D da Figura 7-13 mostra o equipamento devidamente instalado antes do início da recolha das amostras dos pesados do fundo do DS.

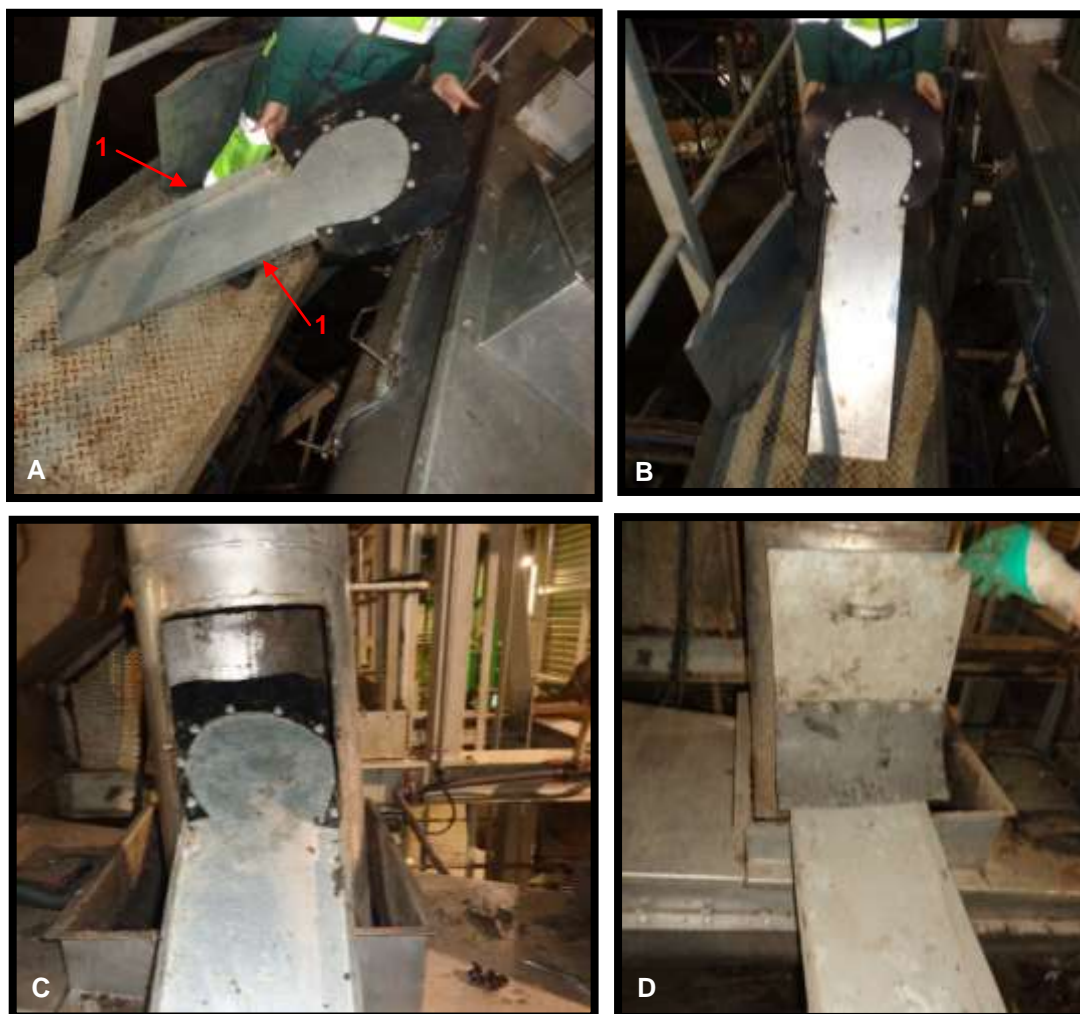


Figura 7-13 Peça de recolha dos pesados do fundo do DS e a mesma aplicada na esturra de recolha dos mesmos

Legenda: A - Vista de perfil da peça de recolha das amostras dos pesados do fundo do DS, 1 – Rebordos da peça; B - Vista de frente da peça de recolha das amostras dos pesados do fundo do DS; C - Peça devidamente instalada no local de recolha das amostras dos pesados do fundo do DS; D - Peça e porta devidamente instalada no local de recolha das amostras dos pesados do fundo do DS

Nos pontos P4, P6 e P8 e P13 a recolha foi realizada de forma muito similar aos pontos anteriormente descritos, contudo devido às características das infraestruturas onde foram recolhidas estas amostras não foi necessária a interrupção do funcionamento dos respetivos parafusos sem-fim para se iniciar o procedimento de recolha de amostras, nem, por consequência, desprezar a parte inicial e final das amostras durante a recolha.

Nos pontos P4, P8 e P13 procedeu-se à recolha cronometrada das amostras após a instalação das peças nas respetivas estruturas. Apenas quando se realizou a recolha das amostras de pesados nos pontos P8 e P13 com o parafuso sem-fim sem lavagem dos

pesados, e depois com lavagem dos mesmos é que foi necessário dar as respetivas indicações no SCADA.

Na recolha das amostras dos pesados do CRH foi necessário o uso de uma plataforma elevatória, pois a este local apenas se pode aceder com o uso da mesma. Para possibilitar a recolha de amostras neste local foi ainda necessário realizar alterações na infraestrutura existente. Como tal, foi cortada uma chapa que se encontrava fixa na lateral do parafuso sem-fim de descarga dos pesados provenientes do CRH, esta tinha como finalidade não permitir que os pesados tombem para o fora da estrutura. A peça foi cortada, e foram-lhe soldadas chapas metálicas (*vide* Figura 7-14), de forma torna-la amovível (*vide* imagens A e B Figura 7-15), o que torna possível a sua remoção para a realização da recolha de amostras e a sua reposição no fim da recolha garantindo que os pesados não tombem para fora da estrutura.



Figura 7-14 Peça de aparo dos pesados após ser cortada e soldadas chapas metálicas



Figura 7-15 – Alterações da estrutura no local de recolha dos pesados do crivo rotativo húmido

Legenda: A - Estrutura do sem-fim sem a peça de amparo dos pesados, por forma possibilitar a recolha dos mesmos; B - Peça encaixada na estrutura do sem-fim de forma a amparar os pesados do CRH

Para a recolha de amostras de pesados no ponto P4, procedeu-se à construção de uma peça (*vide* imagens A e B da Figura 7-16), esta possui rebordos elaborados nas laterais da mesma por forma a minimizar possíveis derrames de pesados durante a sua recolha. A Figura 7-16 mostra a peça devidamente instalada no local de recolha.

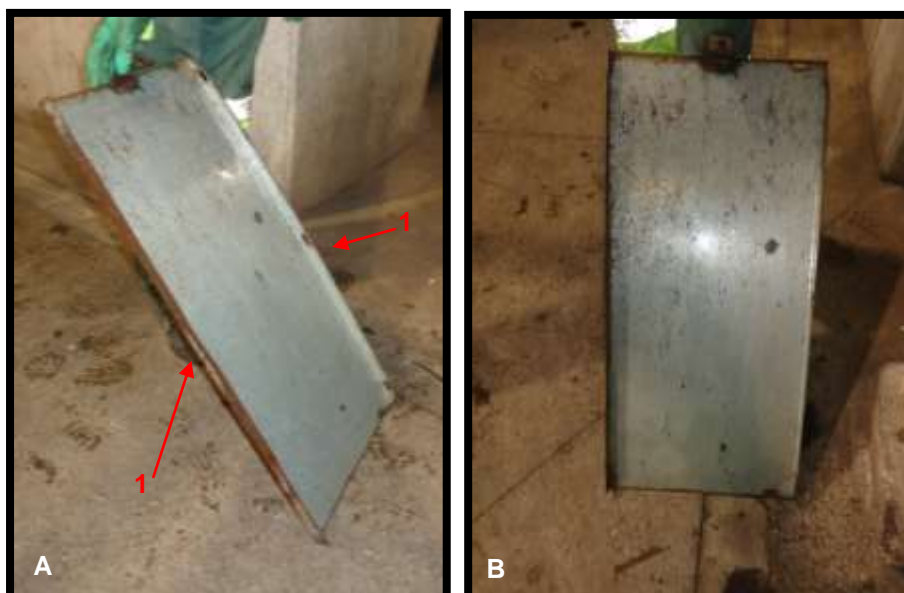


Figura 7-16 – Peça de recolha dos pesados provenientes do crivo rotativo húmido e a mesma devidamente instalada no local de recolha das amostras

Legenda: A - Vista de perfil da peça de recolha dos pesados do CRH, 1- Rebordos da peça; B - Vista frontal da peça de recolha dos pesados do CRH



Figura 7-17 Peça devidamente instalada no local de recolha das amostras de pesados do CRH

As estruturas dos hidrociclones são bastante semelhantes entre si, como é patente nas imagens D e E da Figura 7-3, como tal foi possível utilizar a mesma peça para a realização da recolha das amostras de ambos. A peça utilizada para recolher os pesados removidos pelos hidrociclones foi a mesma que foi utilizada a recolha dos pesados do CRH, apenas foi acrescentada uma chapa metálica na peça (*vide* imagem A da Figura 7-18), para facilitar a recolha nestes dois locais.

Com esta aplicação foi possível encaixar a peça na estrutura por onde descarregam os sem-fins dos hidrociclones e fixa-la num dos parafusos das respectivas estruturas, como se verifica na imagem D da Figura 7-18. As imagens C e D da Figura 7-18 mostram em maior detalhe a aplicação existente na peça instalada na devida estrutura onde foi realizada a recolha dos pesados. As imagens A e B da apresentam, respetivamente, o equipamento devidamente instalado no HC1 e no HC2 antes do início da recolha de amostras dos pesados nos mesmos.



Figura 7-18 – Aplicação da peça de recolha de amostras de pesados dos HC1 e HC2
Legenda: A - Peça metálica de encaixe na estrutura dos HC1 e HC2; B - Vista da peça encaixada na estrutura;
C - Pormenor da aplicação da peça utilizada para a recolha dos pesados do HC1; D - Vista de perfil em pormenor da aplicação da peça utilizada para a recolha dos pesados do HC1

As imagens A e B da Figura 7-19 apresentam, respetivamente, a peça devidamente instalada no HC1 e no CH2, antes do início da recolha de amostras para a determinação dos caudais de saída dos pesados removidos no TMH.

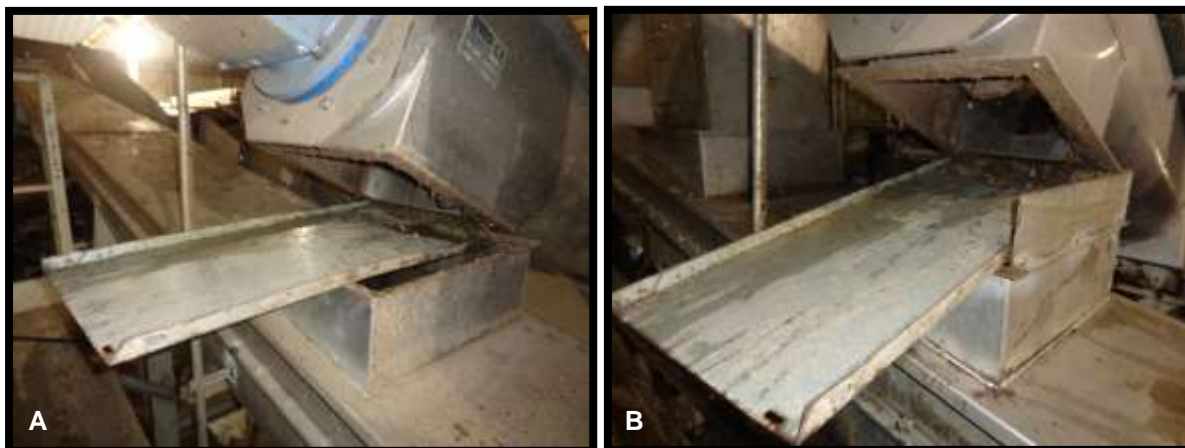


Figura 7-19 HC1 (A) e HC2 (B) com a peça devidamente instalada antes de se iniciar a recolha das amostras de pesados

7.1.4 Recolha das Amostras Pontuais

Para a realização da recolha das amostras pontuais nos diferentes pontos de amostragem foram utilizados recipientes de plástico de 2 L, no caso da recolha da FORSU e dos pesados do CRH foram utilizados recipientes de 10 L.

As amostras pontuais foram recolhidas diretamente do local de amostragem. Nos locais de amostragem P1 e P5, a recolha foi apenas realizada com o auxílio de uma pá, e no ponto P2, devido ao tipo de infraestrutura existente neste local, foi necessário construir uma peça que possibilitasse a recolha da amostra (*vide* Figura 7-20).

A recolha das amostras nos pontos P8 e P13 foi realizada para no interior de um recipiente de 50 L durante dois minutos, sendo posteriormente bem misturadas e recolhida uma amostra com um recipiente de plástico de 2 L.



Figura 7-20 Peça utilizada na recolha de amostras pontuais no local de descarga do sem-fim dos pesados do *pulper*

7.2 Métodos

Os testes de determinação do teor de ST e SV das amostras pontuais foram realizados de acordo com as metodologias analíticas internas da ERSUC (adaptada da metodologia analítica indicada pelo livro *Standard Methods*). A caracterização física da FORSU e a determinação da massa volúmica foram também determinadas usando métodos analíticos internos da ERSUC.

7.2.1 Caracterização da FORSU

Para caracterizar a amostra de FORSU pesou-se a respetiva amostra numa balança analítica e registou-se a massa na folha de registos do Anexo I. Depois, a amostra de FORSU foi peneirada, numa fase inicial do trabalho com um peneiro de 20 mm, mais tarde com um peneiro de 10 mm e por fim com os dois. Pesou-se a fração inferior (finos) numa balança analítica, e separou-se a fração superior de acordo com a Tabela 7-3.

Tabela 7-3 Grupos e categorias dos componentes da FORSU e exemplos dos componentes típicos dessas categorias.

| Categoria | Exemplos típicos |
|-----------------------------|---|
| Finos (X>20mm ou X>10mm) | Fração peneirada com dimensões inferiores a 20mm ou 10 mm |
| MO cozinha | Todos os resíduos de comida exceto ossos e troços de couve e alface |
| MO jardim | Ramos e galhos de árvores e arbustos, folhas, relva e restos de plantas |
| Papel | Fragmentos de papel e cartão |
| Plástico | Garrafas, tampas, fragmentos e objetos de PET, PEAD, filme e ECAL |
| Vidro | Fragmentos de vidro incolor, castanho e verde; pedras |
| Metais | Objetos metálicos, como caricas, parafusos, fragmentos metálicos |
| Outros | Rolhas de cortiça, ossos, tecidos, pedaços de madeira, |

Após a realização da separação da FORSU nas diversas categorias, estas foram pesadas e registaram-se dos dados obtidos na folha de registos do Anexo I.

7.2.2 Determinação do Teor de ST

Para a determinação dos ST das diferentes amostras começou-se por colocar os cadinhos de porcelana numa estufa durante 2 h a 105 °C. Ao fim das 2 h transferiram-se os cadinhos para um exsiccador e deixaram-se arrefecer. Pesaram-se os cadinhos numa balança analítica e registou-se a massa (m_{cadinho}). Agitou-se a amostra, e transferiu-se cerca de 70-100 mL de amostra para um cadinho. Repetiu-se este procedimento para todas as amostras a tratar.

Pesaram-se todos os cadinhos com as respetivas amostras numa balança analítica e registou-se a massa ($m_{\text{cadinho} + \text{amostra fresca}}$). Em seguida colocaram-se os cadinhos numa estufa a 105°C durante 24 horas.

Ao fim das 24 horas transferiram-se os cadinhos com as amostras secas para um exsiccador e deixaram-se arrefecer. Pesaram-se os cadinhos com as amostras secas numa balança analítica e registou-se a massa ($m_{\text{cadinho} + \text{amostra seca}}$) na folha de registos do Anexo I. Por fim determinou-se os ST de acordo com a seguinte equação:

$$ST (\%) = \frac{m_{\text{cadinho} + \text{amostra seca}} - m_{\text{cadinho}}}{m_{\text{cadinho} + \text{amostra fresca}} - m_{\text{cadinho}}} \times 100 \quad (3)$$

Para a determinação do teor de ST nas amostras analisadas não foram realizadas réplicas, uma vez que o laboratório não apresentava condições que tornasse viável o tratamento de um número tão elevado de amostras, por consequência também não se realizaram réplicas na determinação do teor de SV nas amostras.

7.2.3 Determinação do Teor de SV

Depois de pesados os cadinhos com as amostras e determinados os ST, estes foram colocados numa mufla a 550 °C durante 2h. Após o arrefecimento dos cadinhos com as amostras calcinadas, estes foram pesados numa balança analítica e registou-se a massa ($m_{\text{cadinho} + \text{amostra calcinada}}$) na folha de registo do Anexo I. Por fim determinaram-se os SV de acordo com a seguinte equação:

$$ST (\%) = \frac{(m_{\text{cadinho} + \text{amostra seca}} - m_{\text{cadinho}}) - (m_{\text{cadinho} + \text{amostra calcinada}} - m_{\text{cadinho}})}{m_{\text{cadinho} + \text{amostra fresca}} - m_{\text{cadinho}}} \times 100 \quad (4)$$

7.2.4 Determinação da Massa Volúmica

Para determinar a massa volúmica das diferentes amostras procedeu-se da seguinte forma, pesou-se um copo de vidro de 50 mL numa balança e registou-se o valor (m_{copo}). De seguida encheu-se o copo até à sua capacidade máxima com água, pesou-se novamente e registou-se o valor ($m_{\text{copo} + m_{\text{água}}}$). De seguida rejeitou-se a água contida no copo e secou-se o mesmo. Encheu-se o copo com amostra até à sua capacidade máxima e registou se o

valor ($m_{\text{copo}} + m_{\text{amostra}}$). Por fim determinou-se a massa volúmica das amostras de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Massa Volúmica (Kg/m}^3\text{)} = \frac{(m_{\text{copo}} + m_{\text{amostra}}) - m_{\text{copo}}}{(m_{\text{copo}} + m_{\text{água}}) - m_{\text{copo}}} \cdot 1000 \quad (5)$$

7.2.5 Estimativa das entradas de Água no Processo de TMH da FORSU – Teorema de *Bernoulli*

Para a realização do BM à água do TMH foi necessário realizar uma estimativa da água que entra em diversos locais do mesmo, uma vez que a ERSUC não dispõe desta informação pois este sistema foi uma alteração realizada ao processo após a sua fase de arranque.

Assim sendo, para ser possível a realização de BM à água que entra no TMH apenas o caudal, relativo ao volume de água, que entra no *pulper* foi fornecido pela ERSUC, os restantes valores, nomeadamente as restantes entradas de água foram estimados com recurso ao Teorema de *Bernoulli*.

A Figura 7-21 apresenta o fluxograma do TMH com os diferentes pontos de entrada de água no processo.

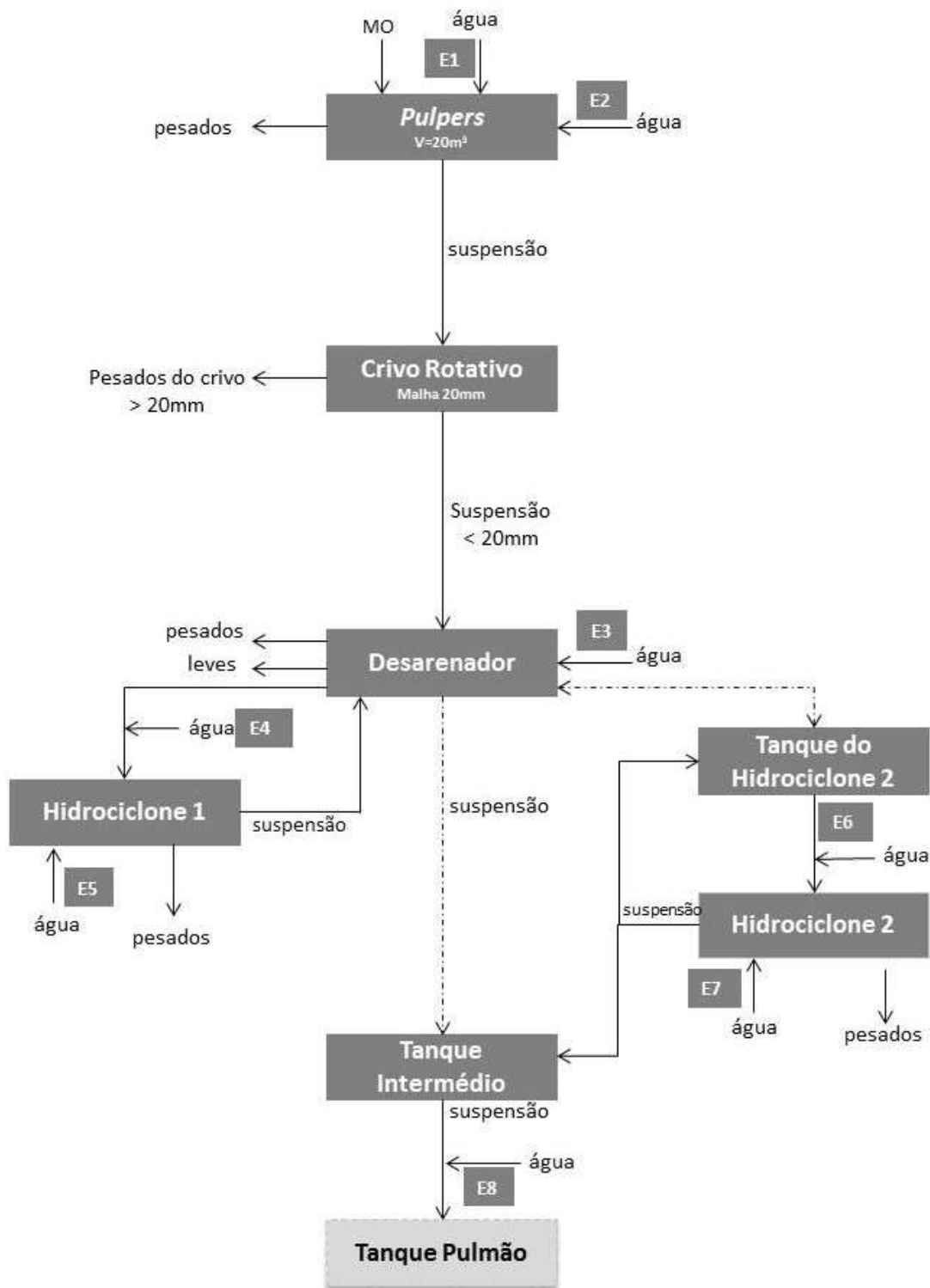


Figura 7-21 Fluxograma do TMH com os diferentes pontos de entrada de água

A Tabela 7-4 apresenta para cada um dos pontos de amostragem o local de entrada da água, a finalidade da água adicionada nesse ponto e os parâmetros a determinar em cada um deles.

Tabela 7-4 – Localização, finalidade e parâmetros a determinar nos diferentes pontos de amostragem

| Local da entrada de água | | Finalidade da água adicionada | Parâmetros a analisar |
|--------------------------|--|--|----------------------------|
| E1 | Entrada de água no <i>pulper</i> | Água adicionada no <i>pulper</i> para diluir a fração orgânica e atingir teor de sólidos desejados | Caudal (m ³ /h) |
| E2 | Entrada de na tubagem que liga o fundo do <i>pulper</i> ao seu sem-fim | Água adicionada para limpeza da tubagem, para desentupir ou evitar entupimentos e para realizar a lavagem dos pesados | |
| E3 | Entrada de água no fundo do DS | Água adicionada no DS para evitar que os sólidos se acumulem no fundo do DS e existam colmatações de resíduos no mesmo | |
| E4 | Entrada da água na tubagem que leva a suspensão do DS para o HC1 | Água adicionada para limpeza da tubagem, para desentupir ou evitar entupimentos | |
| E5 | Entrada de água no sem-fim dos pesados do HC1 | Água adicionada para limpeza da tubagem, para desentupir ou evitar entupimentos e para realizar a lavagem dos pesados | |
| E6 | Entrada da água na tubagem que leva a suspensão do THC2 | Água adicionada para limpeza da tubagem, para desentupir ou evitar entupimentos | |
| E7 | Entrada de água no sem-fim dos pesados do HC2 | Água adicionada para limpeza da tubagem, para desentupir ou evitar entupimentos e para realizar a lavagem dos pesados | |
| E8 | Entrada de água na tubagem que leva a suspensão para o TP | Água adicionada para limpeza da tubagem, para desentupir ou evitar entupimentos | |

Como referido anteriormente, no ponto E1 não foi necessário estimar o caudal de água adicionado no *pulper*. Para os restantes pontos de entrada de água existentes no tratamento mecânico da FORSU foi necessário aplicar o Teorema de *Bernoulli* (teorema da conservação da energia) por forma a estimar esses valores.

Como os elementos disponíveis para a determinação dos caudais nos pontos de entrada de água eram limitados, foi necessário adotar pressupostos para aplicar o Teorema de *Bernoulli*. Nesta parte do estudo, foram desprezadas as perdas de carga localizadas (perdas de carga nas singularidades), as perdas de carga contínuas (perdas de carga devidas às rugosidades internas das tubagens nas tubagens) e eventuais incrustações existentes.

A partir de elementos técnicos relativos ao sistema de bombagem instalado, foi possível determinar o caudal de bombagem ($25 \text{ m}^3/\text{h}$ a 4 bar). Como se pode verificar pelo ábaco da Figura 7-22, foi determinada a altura total de elevação da bomba (H_B) no valor de 52 m.

Para completar o estudo, foi ainda necessário determinar as características geométricas da instalação, nomeadamente os comprimentos dos diversos troços das tubagens e os respetivos diâmetros nominais.

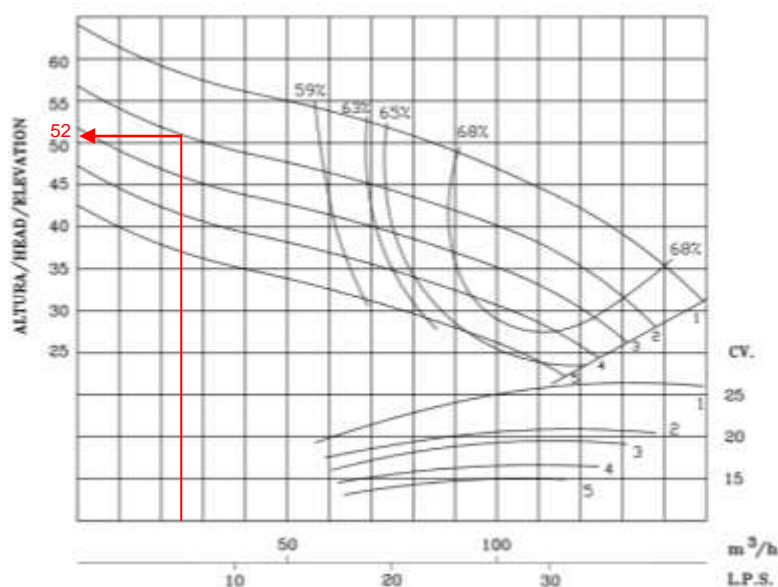


Figura 7-22 Ábaco da curva característica do sistema de bombagem instalado

7.2.6 Balanços de Massa

Para a realização dos BMs ao TMH foi inicialmente realizado o estudo do processo, foram definidas as fronteiras consideradas para a realização dos balanços e as entradas e saídas existentes ao longo do mesmo. O fluxograma apresentado na Figura 7-23 mostra as fronteiras consideradas para a realização do balanço mássico global ao TMH.

Para a realização dos BMs considerou-se o princípio da conservação da massa, ou seja toda a massa que entra no TMH é igual a toda a massa que saí do mesmo, não existindo reações químicas nem acumulação de massa ao longo do processo. Todos os balanços foram realizados para uma hora de funcionamento do processo.

Foram realizados três BMs ao TMH, dois por componentes, nomeadamente aos ST e à água do processo, e um global.

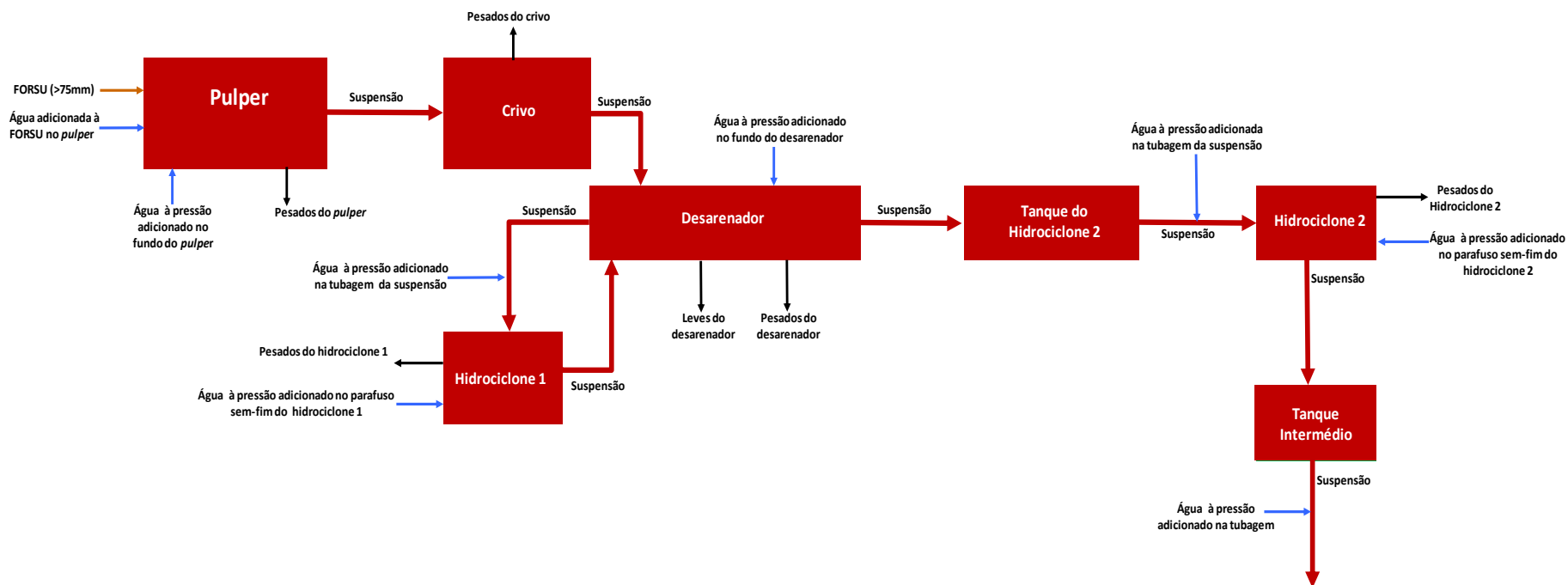


Figura 7-23 Fluxograma das fronteiras, das entradas e das saídas consideradas para realização do BM global ao TMH

O BM realizado à água do TMH é definido pela seguinte equação:

$$\text{Entra} = \text{Sai} \quad (6)$$

$$h\text{FORSUe} + \text{Ae} + \Sigma\text{APe} = \Sigma h\text{Ps} + h\text{Ls} + h\text{Ss}$$

Legenda: hFORSUe - massa de água existente na FORSU que entra no sistema; Ae – massa de água adicionada à FORSU que entra no sistema; Ape – massa de água que entra no sistema; hPs – massa de água existente nos pesados que sai do sistema; hLs – massa de água existente nos leves que sai do sistema; hSs – massa de água existente na suspensão que sai do sistema

O BM realizados aos ST do TMH são definidos pela seguinte equação:

$$\text{Entra} = \text{Sai} \quad (7)$$

$$\text{FORSUe} = \Sigma\text{Ps} + \text{Ss}$$

Legenda: FORSUe - massa de FORSU que entra no sistema; Ps – massa de pesados que sai do sistema; Ss – massa de suspensão que sai do sistema

O BM global realizado ao TMH é definido pela seguinte equação:

$$\text{Entra} = \text{Sai} \quad (8)$$

$$\text{FORSUe} + \text{Ae} + \Sigma\text{APe} = \Sigma\text{Ps} + \text{Ls} + \text{Ss}$$

Legenda: FORSUe - massa de FORSU que entra no sistema; Ae – massa de água adicionada à FORSU que entra no sistema; Ape – massa de água que entra no sistema; Ps – massa de pesados que sai do sistema; Ls – massa de leves que sai do sistema; Ss – massa de suspensão que sai do sistema

8. Otimização do Consumo de Água do Processo de TMH da FORSU

No oitavo capítulo do presente relatório de estágio são apresentados as seguintes atividades realizadas:

- Caracterização da operação do TMH;
- Realização dos BMs ao TMH;
- Avaliação da operação do TMH no decorrer dos períodos de redução das entradas de água em cinco cenários experimentados.

Com a caracterização inicial do TMH pretendeu-se obter uma caracterização de referência do sistema, em operação regular, prévia à intervenção em estudo, relativa à redução dos consumos de água

Através da referida caracterização do TMH, foi possível compreender a operação do TMH em geral e, em particular, no que se refere à gestão da água, incluindo uma análise de sensibilidade ao consumo de água. Foi assim possível aferir quais os pontos mais passíveis de se verificar uma redução do consumo de água.

Com a realização dos BMs procedeu-se a uma avaliação objetiva da contribuição relativa de cada uma das componentes (entradas e saídas) do sistema.

As metodologias adotadas, quer para o cálculo do teor de ST e massa volúmica das diferentes entradas e saídas do processo, quer para a quantificação dos mesmos, encontram-se descritos, respetivamente, nos subcapítulos 7.2.2., 7.2.4. e 7.2.5 do Capítulo 7. A metodologia utilizada para a realização de cada um dos BMs encontra-se descrita no subcapítulo 7.2.6 do mesmo Capítulo.

No decorrer do período de intervenção direta no sistema tendo em vista a diminuição do consumo de água, foram testados 5 cenários, tendo-se procedido para cada um a uma análise dos efeitos – positivos ou negativos - nos vários órgãos.

8.1 Caraterização do Processo de TMH da FORSU

Ao nível da caracterização da operação de TMH, a recolha de dados necessários para a elaboração dos BMs foi realizada de acordo com o plano de amostragem apresentado na Figura 7-2 do Capítulo 7, realizando-se a determinação de parâmetros físico-químicos (ST,SV e massa volúmica) das entradas e saídas existentes no processo.

Foram igualmente determinados os mesmos parâmetros analíticos à entrada do *pulper* e na suspensão em diversos pontos ao longo do TMH.

Nesta caracterização foram apenas utilizados os valores das campanhas de monitorização em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem, estes podem ser consultados no Anexo II.

8.1.1 Avaliação do TMH da FORSU relativamente a sólidos e a água

Seguidamente são apresentados os resultados obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU, no ponto P1, no decorrer da fase de caracterização do sistema. As caracterizações permitem realizar uma avaliação da qualidade da FORSU à entrada do *pulper*, através da percentagem de putrescíveis que esta contém e do nível de contaminação da mesma.

Com a realização da caraterização da FORSU foi possível compreender melhor a constituição da suspensão que é sujeita ao TMH.

As caracterizações da FORSU foram realizadas de acordo com a metodologia apresentada no subcapítulo 7.2.1.

Entre os dias 27 e 30 de janeiro, foi utilizado um peneiro com uma malha de 20 mm para a determinação dos finos existentes nas amostras.

Os 45% de finos detetados nas amostras podem-se considerar um valor elevado, sendo passível de diminuir considerando a sua dimensão.

Devido à inexistência de legislação nacional, o critério inicial para a elaboração das caracterizações da FORSU foi a adoção da metodologia da ERSUC, aplicando esta os referidos peneiros de 20 mm. De facto, de acordo com *Morais et al.* (2007), a separação

granulométrica com o peneiro de 20 mm torna a preparação da amostra para a sua caracterização mais fácil.

Porém, após as observações iniciais optou por se realizarem as restantes caracterizações com um peneiro de 10 mm.

Esta opção teve como desvantagens o tempo empregue para a realização da caracterização, aproximadamente duas vezes mais demorado. Contudo, com esta análise foi possível verificar-se com maior rigor a constituição da FORSU, uma vez que o CRH apresenta uma malha de 20 mm, e apenas os resíduos com dimensões inferiores a esta granulometria compõem a suspensão que alimenta aos digestores.

Os gráficos das Figura 8-1 e Figura 8-2 apresentam os resultados obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU.

Na Tabela 8-1 e Tabela 8-2 são apresentadas as médias, os mínimos e os máximos obtidos para cada uma das categorias consideradas na realização das caracterizações à FORSU com o peneiro de 20mm e de 10 mm, respetivamente.

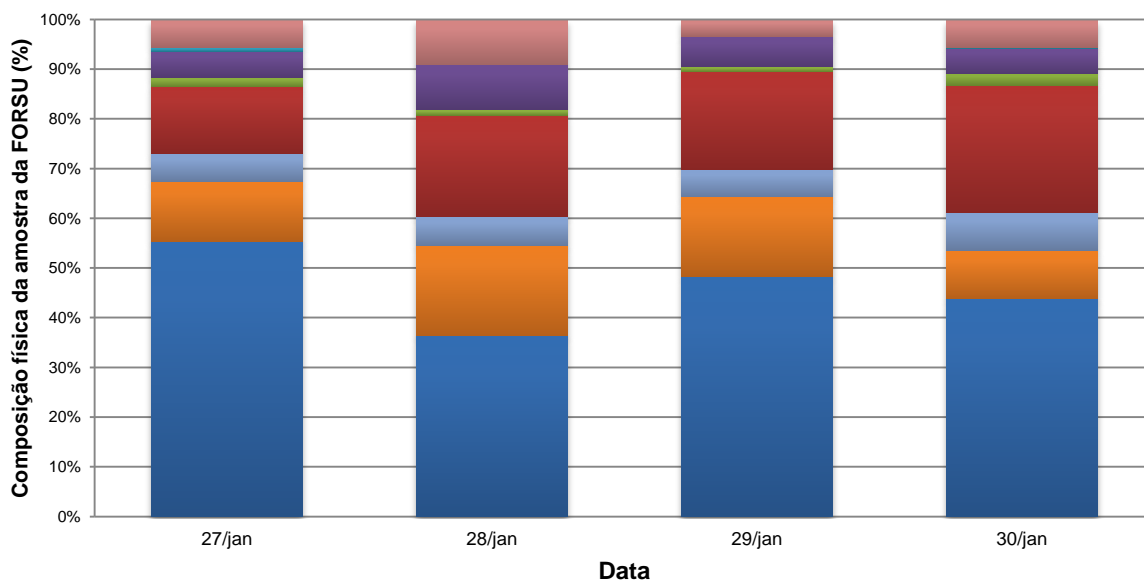


Figura 8-1 Resultados obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU (finos X< 20mm)
Legenda: Outros; Metal; Vidro; Plástico; Papel; MO jardim; MO cozinha; Finos (X<20 mm)

Tabela 8-1 Tabela das médias, máximos e mínimos obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU (finos X < 20mm)

| Categoria | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| X <20 mm | 45 | 55 | 35 |
| Papel | 20 | 25 | 13 |
| Plástico | 1 | 2 | 1 |
| Vidro | 6 | 9 | 5 |
| Metal | 0 | 1 | 0 |
| MO cozinha | 14 | 18 | 10 |
| MO jardim | 6 | 7 | 6 |
| Outros | 6 | 9 | 3 |

Nas caracterizações da FORSU realizadas com o peneiro de 20 mm, como referido anteriormente, obteve-se uma média percentual de fração de finos de 45%, sendo esta a fração que em termos médios se apresenta em maior percentagem nas amostras.

As frações de MO de cozinha e de jardim apresentaram uma média percentual de 14% e 6%, respetivamente, sendo que a soma destas duas frações dá-nos a quantidade média de resíduos orgânicos putrescíveis presentes nas amostras da FORSU, 20%.

As percentagens médias de contaminantes nas amostras foram de 20% para o papel, 6% para o vidro, 1% para os plásticos, 0% para o metal e de 6% para outros resíduos, sendo as frações que se apresentam em maior percentagem o papel e o vidro.

A presença destas duas frações em percentagens significativas deve-se ao TMS realizado ao RSU. Aí a remoção de papel não deveria estar a ser eficiente, pelo menos quando este apresenta dimensões mais reduzidas. Tal poderá dever-se ao facto de esta fração dos RSU ser separada manualmente nas cabines, o que limita bastante a separação do papel com dimensões inferiores a 75 mm. Quanto ao vidro, a sua presença numa percentagem mais elevada é bastante compreensível, já que o TMS dos RSU não está equipado para realizar a sua separação, sendo este separado apenas no decorrer do TMH.

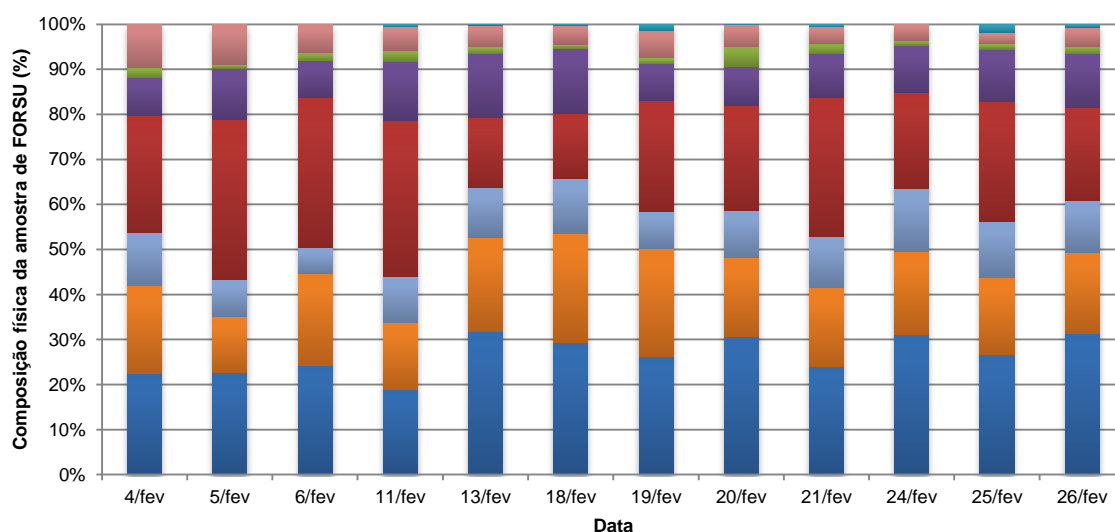


Figura 8-2 Resultados obtidos nas caracterização realizada à FORSU (finos X<10mm)

Legenda: Metal; Outros; Plástico; Vidro; Papel; MO jardim; MO cozinha; Finos (X<10 mm)

Tabela 8-2 Médias, máximos e mínimos obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU (finos X< 10mm)

| Categoria | Média (Kg) | Máximo (Kg) | Mínimo (Kg) |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| X <10 mm | 26 | 31 | 19 |
| Papel | 25 | 35 | 14 |
| Plástico | 2 | 4 | 1 |
| Vidro | 11 | 14 | 8 |
| Metal | 0 | 2 | 0 |
| MO cozinha | 18 | 24 | 12 |
| MO jardim | 10 | 14 | 6 |
| Outros | 5 | 10 | 2 |

Para as caracterizações em que se usou o peneiro de 10 mm, realizadas entre os dias 4 e 26 de fevereiro (Figura 8-2), os resultados obtidos para a média percentual da fração de finos foi de 26%, sendo este valor, naturalmente inferior à média percentual obtida para as caracterizações realizadas com o peneiro de 20 mm.

As frações de MO de cozinha e jardim tiveram, respetivamente, uma presença média de 18% e 10%, o que perfaz uma média percentual de putrescíveis orgânicos presentes nas amostras de 28%.

Comparando os resultados obtidos para as caracterizações realizadas com o peneiro de 20 mm e com o de 10 mm (Tabela 8-1 e Tabela 8-2, respetivamente), verifica-se uma diminuição na ordem dos 19% da fração de finos nas amostras, sendo a MO de cozinha e jardim, o papel, os metais e o vidro as frações que suportaram o maior aumento.

O gráfico da Figura 8-3 apresenta os resultados obtidos para a determinação do teor de ST nas amostras totais de FORSU. Para este período foi obtida uma média percentual de 44% de ST.

Na Tabela 8-3 são apresentadas as médias, os mínimos e os máximos para o teor de ST presente nas amostras totais de FORSU.

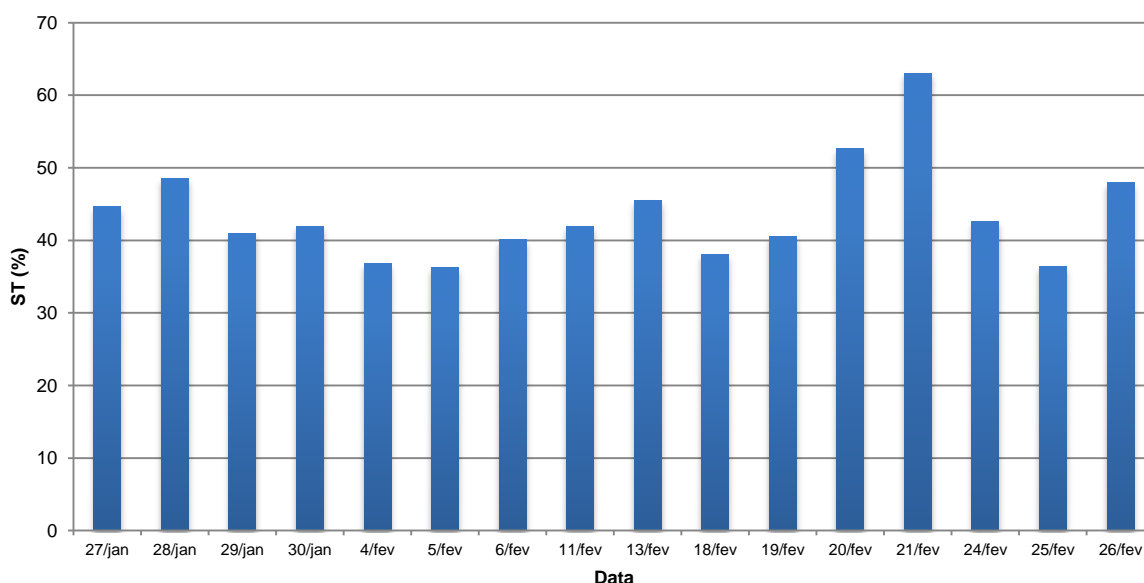


Figura 8-3 Variação do teor de ST nas amostras totais da FORSU (ponto P1)

Tabela 8-3 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nas amostras totais da FORSU (ponto P1)

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P1 | 44 | 63 | 36 |

Comparando este valor médio obtido de 44%, com referências encontradas na literatura para FORSU obtida através da separação mecânica de RSU, consta-se que nos trabalhos desenvolvidos por Bolzonella *et al.* (2006) o valor médio obtido para o teor de ST foi de 60%, valor superior ao observado para o caso de estudo.

Estes valores parecem indicar que a FORSU, à semelhança do que deverá ocorrer com os RSU, se apresenta mais hidratada na ERSUC. O que para valores de hidratação similares à entrada dos digestores exigirá um menor consumo de água no TMH.

Seguidamente é realizada uma análise comparativa entre o teor de ST obtido para os leves e os pesados removidos no TMH, assim como da variação do teor de ST na suspensão nos vários locais monitorizados no decorrer do TMH.

O gráfico da Figura 8-4 apresenta os resultados da monitorização do teor de ST na suspensão ao longo do TMH.

Na Tabela 8-4 são apresentadas os valores médios, máximos e mínimos para o teor de ST determinado nas várias amostras da suspensão.

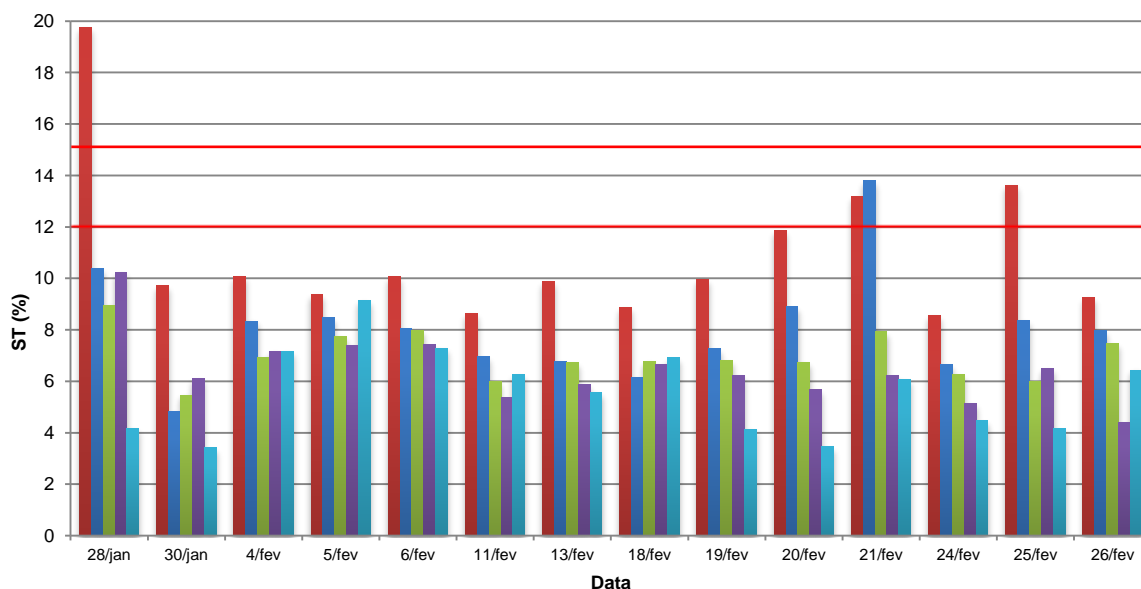


Figura 8-4 Variação do teor de ST na suspensão ao longo do TMH

Legenda: ■ Variação do teor de ST na suspensão à saída do pulper (ponto P3); ■ Variação do teor de ST na suspensão à saída do DS (ponto P10); ■ Variação do teor de ST na suspensão à entrada do HC2 (ponto P12); ■ Variação do teor de ST à saída do HC2 (ponto P14); ■ Variação do teor de ST à saída do TI (ponto P15); — Valores de dimensionamento entre os quais o *pulper* deve trabalhar

Tabela 8-4 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nas amostras da suspensão ao longo do TMH

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P3 | 11 | 20 | 9 |
| Ponto P10 | 8 | 14 | 5 |
| Ponto P12 | 7 | 9 | 5 |
| Ponto P14 | 6 | 10 | 4 |
| Ponto P15 | 6 | 9 | 3 |

No ponto P3, o teor médio de ST na suspensão à saída do *pulper* foi de 11%. De acordo com informações fornecidas pela ESRUC, o *pulper* está dimensionado para trabalhar com um teor de ST entre 12 % e 15%, confirmando-se assim que a hidratação da FORSU e o inerente consumo de água são mais elevados que os critérios de projeto. Este facto tem implicações ao nível da quantidade de água consumida e na operação do TMH, podendo igualmente acarretar problemas relevantes nos digestores anaeróbios.

Como é patente no gráfico da Figura 8-4 apenas no dia 28 de janeiro se trabalhou a cima deste valor (15%), assim sendo, a água adicionada no *pulper* para se atingir o teor de ST desejado na suspensão (E1) é passível de ser reduzida, aumentando-se o espessamento da suspensão neste local.

O gráfico da Figura 8-5 apresenta os resultados obtidos nas análises realizadas aos pesados removidos no fundo do *pulper* no ponto P2, para o qual foi obtido um teor médio percentual de 55% de ST.

Na Tabela 8-5 são ainda apresentados os valores médios, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST neste ponto.

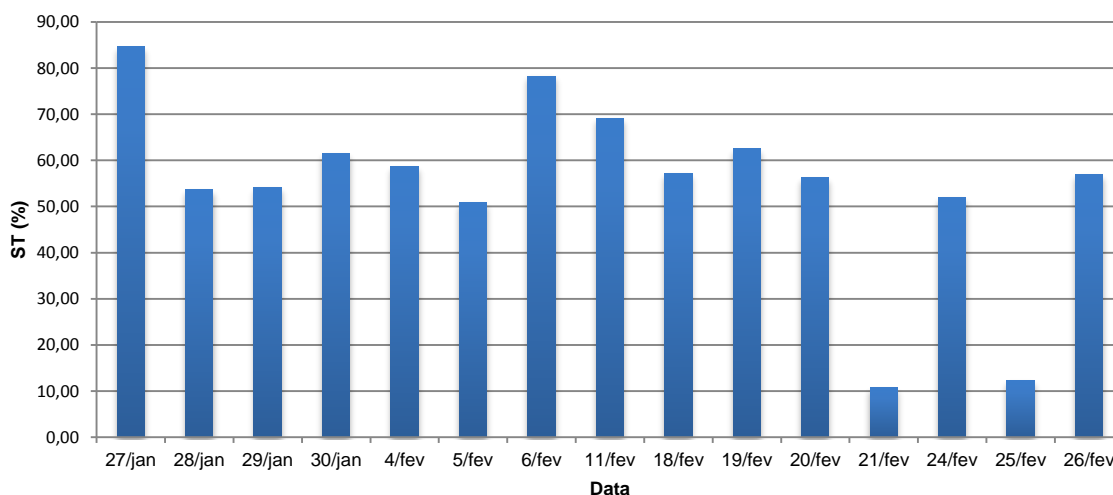


Figura 8-5 Variação do teor de ST nos pesados removidos no fundo do *pulper* (ponto P2)

Tabela 8-5 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados removidos no fundo do *pulper* (ponto P2)

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P2 | 55 | 84 | 11 |

Seguidamente será realizada uma análise comparativa entre o teor médio de ST obtido para a suspensão à saída do *pulper* (ponto P3) e à saída do DS (ponto P10).

No ponto P10 obteve-se um teor médio de ST de 8%, observando-se assim uma redução no teor de ST na ordem dos 3% relativamente ao ponto P3 (11%). Este decréscimo na concentração do teor médio de ST na suspensão é o mais elevado ao longo de todo o TMH, e pode ser justificado pela adição de água nos locais E3, E4 e E5 e pela remoção de pesados pelo CRH (ponto P4), pelo HC1 (ponto P8), e de leves e pesados pelo DS (ponto

P6 e P5, respetivamente). A redução do consumo de água na operação do *pulper* e do DS é algo que poderá reverter estes resultados.

No gráfico da Figura 8-4 é ainda possível observar-se, que no dia 21 de fevereiro o teor de ST no ponto P10 foi ligeiramente superior ao resultado obtido no ponto P3. Esta diferença de resultados poderá não ser relevante, uma vez que a composição da FORSU que alimenta todo o processo é bastante variável o que torna normal este tipo de oscilações ao longo do mesmo.

O gráfico da Figura 8-6 apresenta a variação do teor de ST nos pesados removidos pelo CRH (ponto P4), pelo HC1 (ponto P8), nos leves e nos pesados removidos pelo DS (pontos P6 e P5, respetivamente).

Na Tabela 8-6 são apresentadas as médias, os mínimos e os máximos obtidos para o teor de ST nos pesados do CRH (ponto P4), do HC1 (ponto P8) e dos leves (ponto P6) e dos pesados do DS (ponto P5).

Como é patente na Tabela 8-6, as amostras de pesados removidos no ponto P5 apresentam um teor médio de ST superior aos restantes, com 65%, seguem-se os leves do ponto P6, os pesados no ponto P8 e por fim os pesados no ponto P4, com teores médios de ST de 30%, 29% e 24%, respetivamente.

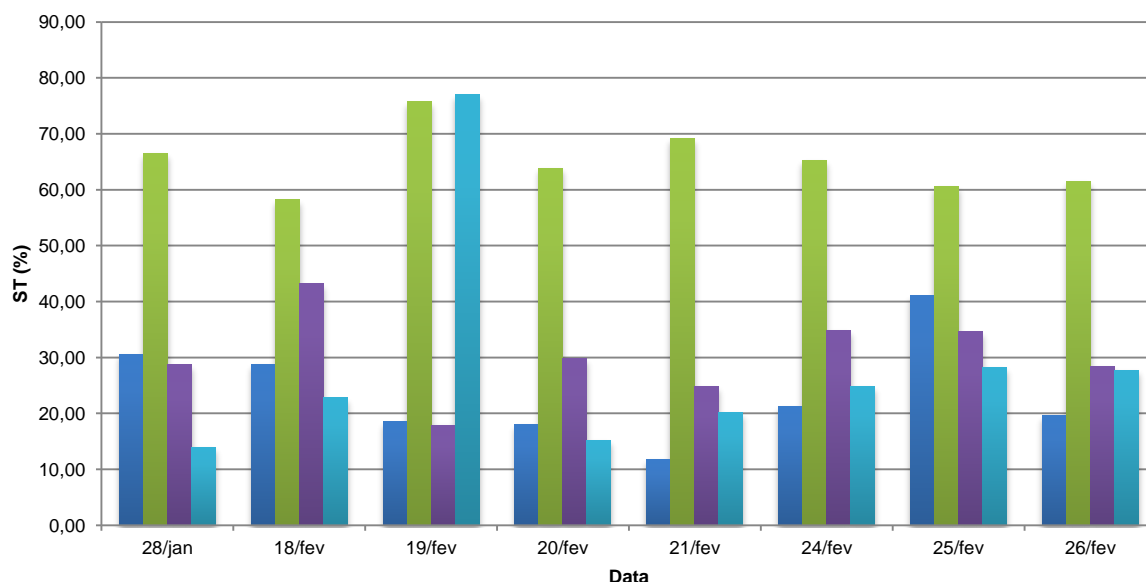


Figura 8-6 Variação do teor de ST nos pesados do CRH (ponto P4), do HC1 (ponto P8) e dos leves (ponto P6) e dos pesados do DS (ponto P5)

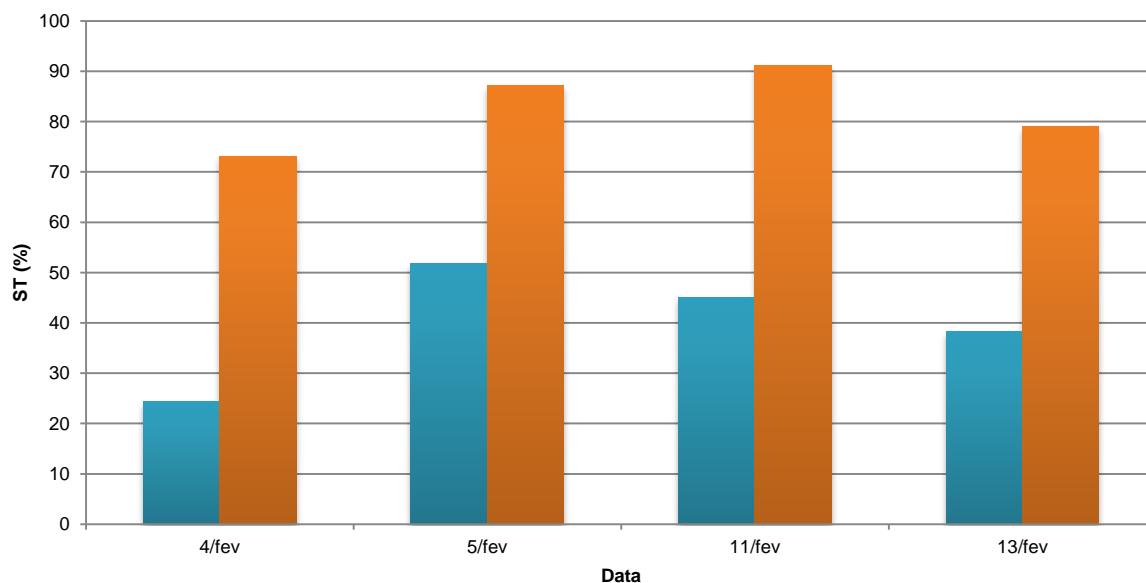
Legenda: ■ Teor de ST nos pesados do CRH (ponto P4); ■ Teor de ST nos pesados do DS (ponto P5); ■ Teor de ST nos leves do DS (ponto P6); ■ Teor de ST nos pesados do HC1 (ponto P8)

Tabela 8-6 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados do CRH (ponto P4), do HC1 (ponto P8) e dos leves (ponto P6) e dos pesados do DS (ponto p5)

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P4 | 24 | 41 | 12 |
| Ponto P5 | 65 | 76 | 59 |
| Ponto P6 | 30 | 43 | 18 |
| Ponto P8 | 29 | 77 | 14 |

Para o dia 19 de fevereiro verificou-se um resultado para o teor de ST na amostra recolhida no ponto P8 de 77%, resultado bastante diferente dos restantes. Este pode dever-se à lavagem realizada aos pesados, referida no subcapítulo 6.1.1., a lavagem poderá também ter influenciado outros resultados pois não é possível saber se no momento da recolha das amostras está ou não a ocorrer lavagem.

Para se perceber a influência da lavagem dos pesados quando estes são removidos, foram realizadas análises com e sem a lavagem dos mesmos. O gráfico da Figura 8-7 e a Tabela 8-7 apresentam respetivamente, os resultados das amostragens e os valores médios, máximos e mínimos obtidos.

**Figura 8-7 Variação do teor de ST nos pesados do HC1 com (P8') e sem (P8'') a realização da lavagem dos mesmos**

Legenda: ■ Teor de ST nos pesados removidos pelo HC1 com lavagem dos mesmos (ponto P8'); ■ Teor de ST nos pesados removidos pelo HC1 sem lavagem dos mesmos (ponto P8'')

Tabela 8-7 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados do HC1 com (P8') e sem (P8'') a realização da lavagem dos mesmos

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P8' | 40 | 52 | 24 |
| Ponto P8'' | 83 | 91 | 73 |

Como se pode observar no gráfico da Figura 8-7 a lavagem realizada aos pesados do HC1 influencia significativamente o seu teor de ST. Para as amostras recolhidas com a lavagem dos pesados foi obtido um teor médio de ST de 40%, por sua vez nas amostras recolhidas sem a lavagem dos pesados obteve-se uma média de 83% de ST.

Foi ainda estudado o comportamento da suspensão em termos de variação do teor de ST quando esta é recirculada no HC1, para complementar a remoção de pesados no DS (gráfico da Figura 8-8). O teor de ST obtido para a suspensão quando esta é encaminhada do DS para no interior do HC1 (ponto P7) foi, em termos médios, de 11%. Para a suspensão à saída do HC1 (ponto P9), após serem removidos os pesados, os resultados obtidos foram de 6%.

É de se salientar que quando a suspensão é encaminhada para o interior do HC1 é-lhe adicionada água (E4) para evitar entupimentos e deposições de resíduos na tubagem. Isto significa que as amostras recolhidas no ponto P7 são apenas representativas da suspensão à entrada do HC1, não representando a concentração de ST da suspensão no interior do DS antes de ser encaminhada para o mesmo.

Em termos médios, a suspensão que é recirculada pelo HC1 tem uma perda de cerca de 50% de ST, o que indica que uma grande quantidade de ST se encontra agregada aos pesados removidos. Contudo, deve-se ter em conta, que se desconhece a eficiência de remoção da lavagem que é realizada aos pesados, para a recuperação e reinserção de ST no processo.

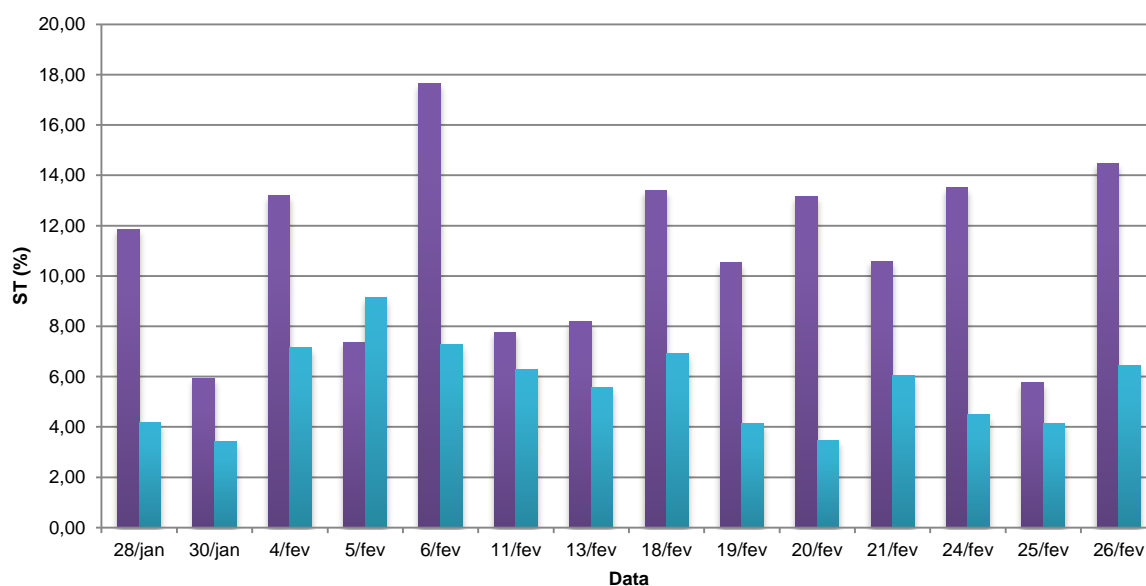


Figura 8-8 Variação do teor de ST na suspensão à entrada (P7) e à saída (P9) do HC1
Legenda: ■ Teor de ST na suspensão à entrada do HC1 (ponto P7); ■ Teor de ST na suspensão à saída do HC1 (ponto P9)

Tabela 8-8 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST na suspensão à entrada (P7) e à saída (P9) do HC1

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P7 | 11 | 18 | 6 |
| Ponto P9 | 6 | 7 | 4 |

Com o objetivo de clarificar a variação do teor em ST na suspensão durante o seu trajeto entre a saída do DS, ponto P10, a entrada desta para HC2, ponto P12, foi seguidamente realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos para ambos os pontos.

O valor médio obtido para o teor de ST na suspensão à entrada do HC2 foi de 7% (vide Tabela 8-9). Comparativamente ao valor médio obtido para o ponto P10 (8%), verifica-se um decréscimo em média de 1% de ST na suspensão. Este decréscimo deve-se, não só à adição de água na tubagem que encaminha a suspensão para o interior do HC2, como também à sedimentação de resíduos contidos na suspensão no interior do THC2 (ponto P11).

No gráfico da Figura 8-9 são apresentados os resultados obtidos nas análises realizadas ao teor de ST nos pontos P10, P11 (suspensão no interior do THC2), e P12.

Na Tabela 8-9 é possível observar-se a média percentual obtida e os máximos e mínimos observados para o teor de ST nos pontos P11 e P12.

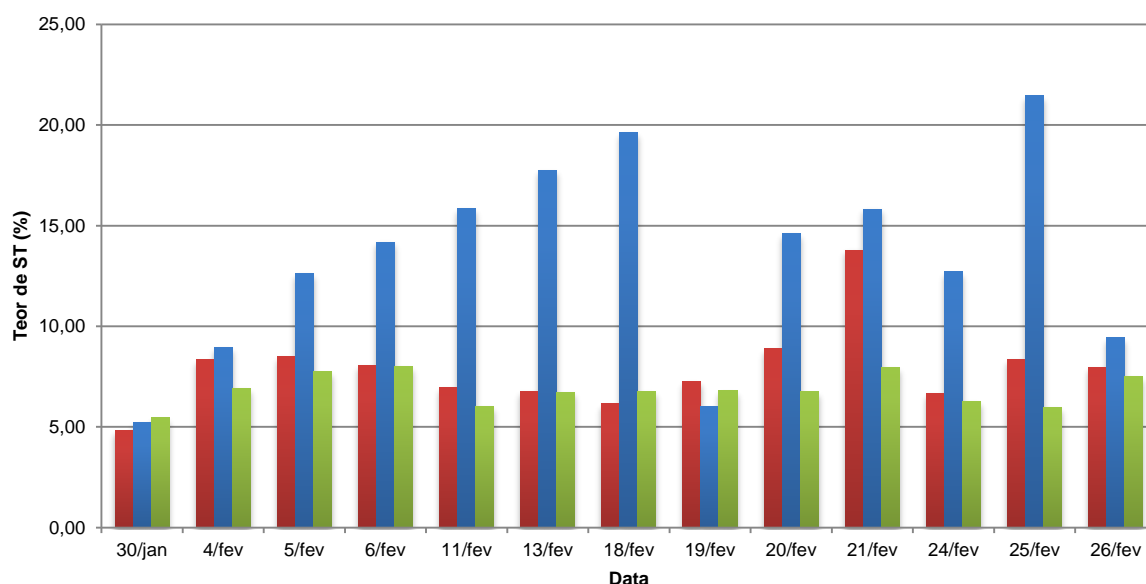


Figura 8-9 Variação do teor de ST na suspensão no seu trajeto entre a saída DS e a entrada no HC2

Legenda: ■ Teor de ST na suspensão à saída do DS (ponto P10), ■ Teor de ST na suspensão no interior do THC2 (ponto P11); ■ Teor de ST na suspensão à entrada do HC2 (ponto P12)

Tabela 8-9 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST na suspensão no interior do THC2 (ponto p11) e à entrada do HC2 (ponto P12)

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P11 | 13 | 21 | 5 |
| Ponto P12 | 7 | 9 | 5 |

Como se pode observar no gráfico da Figura 8-9, o teor de ST presente nas amostras do ponto P11 variou bastante ao longo do período de amostragem, não se verificando uma oscilação tão grande nos pontos P10 e P12. Comparativamente aos pontos P10 e P12, verifica-se uma diferença do teor médio de ST, entre estes pontos e o ponto P11, na ordem dos 5% e dos 6%, respetivamente.

Esta variação do teor de ST deve-se à sedimentação de uma parte da FORSU e de pesados e leves que a suspensão ainda poderá conter no interior do THC2, o que traduz um aumento da concentração de ST nas amostras do ponto P11.

Estes resultados poderão também ter sido influenciados pela forma como foi realizada a amostragem. Pois o único acesso ao THC2 era uma abertura no cimo do mesmo (*vide* Figura 7-7 do subcapítulo 6.1.1.), sendo a recolha das amostras condicionada pelo nível da suspensão no TCH2.

As amostras foram recolhidas na superfície da suspensão, onde, na grande maioria das vezes, se verificava uma grande quantidade de levas a sobrenadar. O facto de se verificar igualmente a sedimentação dos resíduos da suspensão neste local implica uma grande variabilidade – não controlável - na amostragem.

Outro fator que poderá ter influenciado os resultados das amostras foi a periodicidade da lavagem do tanque, uma vez que, quanto maior o período sem se realizar a limpeza, maior quantidade de sólidos este irá acumular.

Durante o período de caracterização e recolha de dados do TMH, o THC2 foi limpo no dia 29 de janeiro e nos dias 4, 18 e 25 de fevereiro após a conclusão da produção de suspensão, o que, como é patente no gráfico da Figura 8-9 se refletiu nos dias 30 de janeiro e 19 e 26 de fevereiro numa redução do teor de ST bastante significativa nas amostras, à exceção do dia 5 de fevereiro, no qual se verificou um aumento do teor de ST relativamente à campanha de amostragem realizada no dia anterior.

Entre o ponto P12 e o ponto P10, nos dias 30 de janeiro e 18 de fevereiro, a concentração de ST no ponto P12 foi ligeiramente superior ao resultado obtido no ponto P10. Este tipo de resultados dever-se ao facto da composição da FORSU que alimenta todo o processo ser bastante variável, o que, como referido anteriormente, torna normal este tipo de oscilações ao longo do mesmo. As maiores discrepâncias entre estes dois pontos de amostragem verificaram-se nos dias 20, 21 e 25 de fevereiro, sendo estas na ordem dos 2% para os dias 20 e 25 de fevereiro, e de 6% para o dia 21 de fevereiro.

Nos gráficos das Figura 8-10 e Figura 8-11 são apresentados os resultados obtidos para o teor de ST nos pesados removidos pelo HC2, e os resultados da análise realizada a este, com e sem a lavagem dos pesados, analogamente ao que fez para os pesados do HC1.

Nas Tabela 8-10 e Tabela 8-11 são ainda apresentados os valores médios, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nas amostras de pesados, e para as amostras realizadas com e sem a lavagem dos mesmos.

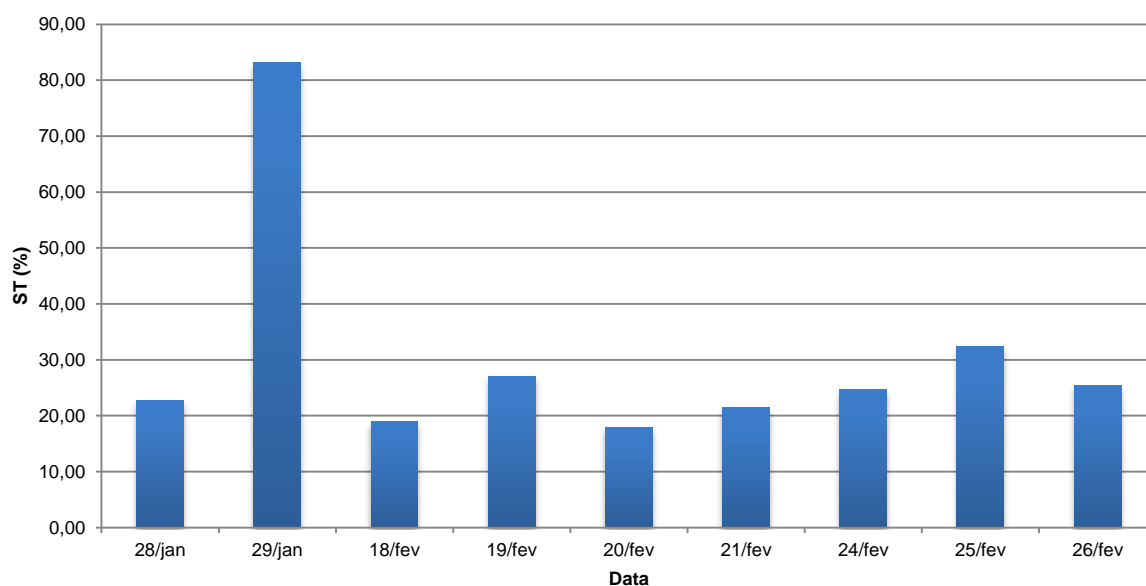


Figura 8-10 Variação do teor de ST nos pesados removidos pelo HC2 (ponto P13)

Tabela 8-10 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados removidos pelo HC2 (ponto P13)

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P13 | 30 | 83 | 18 |

A média obtida para o teor de ST nas amostras dos pesados no ponto P13 foi de 30%. Para a amostragem realizada com e sem a lavagem dos pesados a média dos resultados obtidos foi de 27 e 35%, respetivamente.

As médias obtidas para os três tipos de amostras são relativamente próximas, não se verificando uma diferença tão significativa como no caso do HC1, embora se tenha procedido de igual forma ao referido para a recolha das amostras dos pesados do HC1.

Tais resultados devem-se a uma diferença na quantidade de água adicionada em cada um dos hidrociclones, sendo a adição de água realizada no HC2 menor que a verificada para o HC1. Esta diferença deve-se ao facto de se verificar um maior número de entupimentos no HC1, relativamente ao HC2.

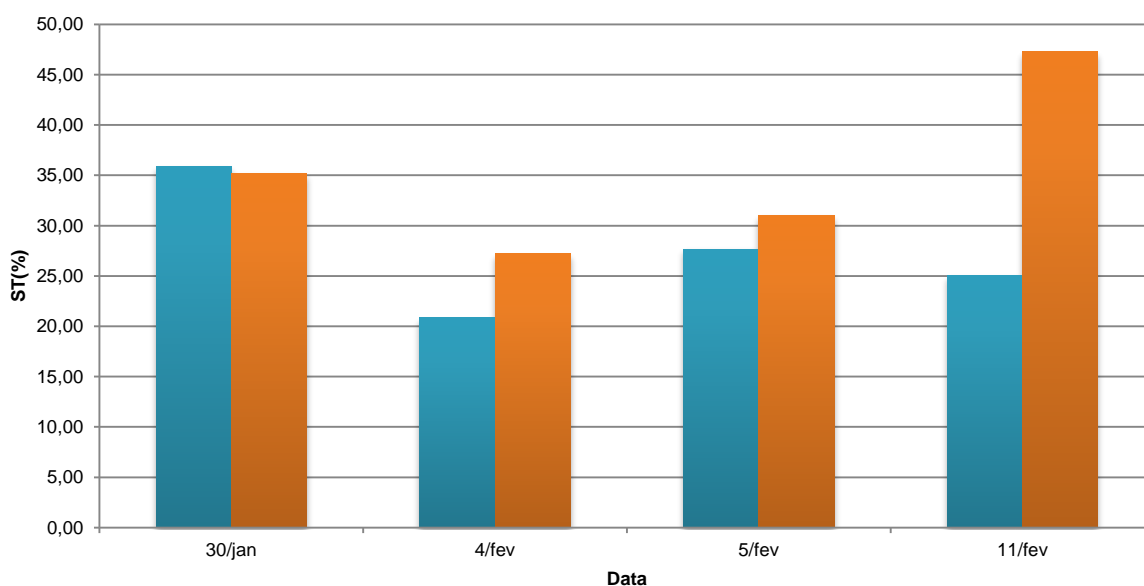


Figura 8-11 Variação do teor de ST nos pesados HC2 com e sem a realização da lavagem dos mesmos

Legenda: ■ ST nos pesados removidos pelo HC2 com lavagem dos mesmos (ponto P13'); ■ ST nos pesados removidos pelo HC2 sem lavagem dos mesmos (ponto P13'')

Tabela 8-11 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nos pesados do HC1 com (P8') e sem (P8'') a realização da lavagem dos mesmos

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|-------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P13' | 27 | 36 | 20 |
| Ponto P13'' | 35 | 47 | 27 |

Fazendo ainda uma análise aos resultados obtidos para o teor de ST no ponto P12, e após a remoção de pesados da suspensão pelo HC2, ponto P14, verifica-se que a média percentual do teor de ST presentes nas amostras do ponto P14 foi de 6%, o que comparado com a média obtida para o ponto P12 (7%), se traduz numa redução do teor de ST. Esta diminuição do teor de ST na suspensão deve-se à remoção de pesados existentes na mesma pelo HC2.

A partir do gráfico da Figura 8-12 é ainda possível realizar-se uma análise entre a diferença do teor de ST presente nas amostras no ponto P14 e à saída do TI, ponto P15. A Tabela 8-12 apresenta os valores médios, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST nestes dois pontos.

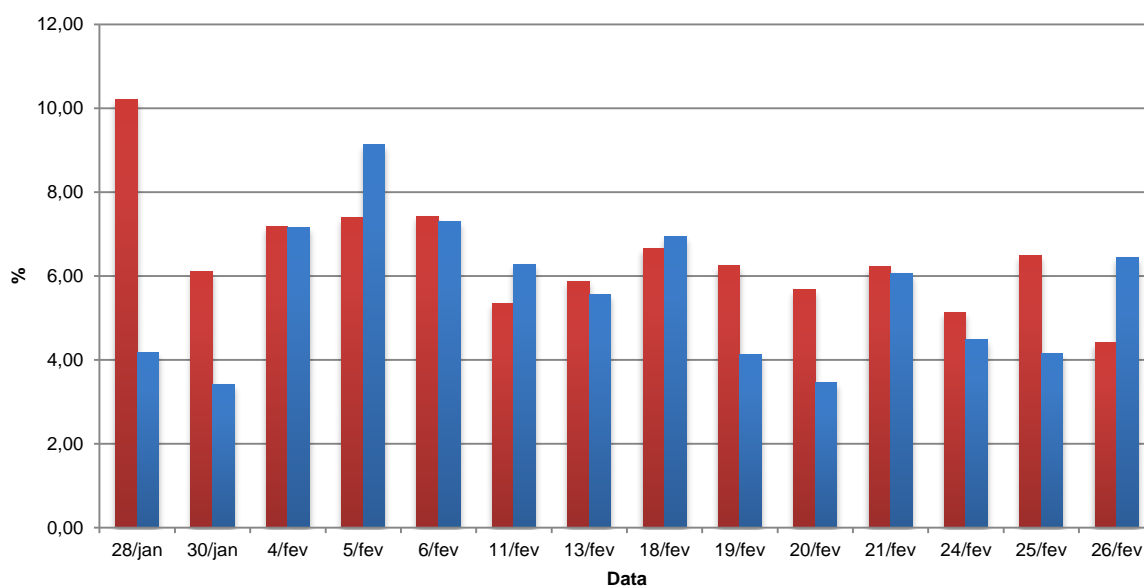


Figura 8-12 Variação do teor de ST na suspensão à saída do HC2 (Ponto P14) e à saída do TI (Ponto P15)

Legenda: ■ Teor de ST na suspensão à saída do HC2 (Ponto P14) ■ Teor de ST na suspensão à saída do TI (Ponto P15)

Tabela 8-12 Médias, máximos e mínimos obtidos para o teor de ST na suspensão à saída do HC2 (Ponto P14) e à saída do TI (Ponto P15)

| Teor de ST | Média (%) | Máximo (%) | Mínimo (%) |
|------------|-----------|------------|------------|
| Ponto P14 | 6 | 10 | 4 |
| Ponto P15 | 6 | 9 | 3 |

No ponto P15 obteve-se uma média de 6% de ST. Na grande maioria das vezes observou-se uma diferença entre os resultados obtidos entre este ponto e P14.

Embora exista uma adição de água na tubagem (E8) para evitar acumulação de resíduos e entupimentos da suspensão, não era esperado uma diferença tão expressiva de valores face à quantidade de água que é adicionada. Tal pode dever-se ao ponto de amostragem ser inadequado para a recolha de amostras.

Nos dias 5 e 26 de fevereiro no ponto P15 obtiveram-se respetivamente, 9% e 6% de ST, enquanto que no ponto P14, obteve-se um teor de ST foi respetivamente de 7% e 4%, observando-se um aumento do teor de ST na ordem dos 2%. Esta diferença de valores pode ser explicada por acumulações de resíduos existentes na tubagem aquando da amostragem.

Nos dias 28 e 30 de janeiro e 19, 20 e 25 de fevereiro obtiveram-se valores para o ponto P15 consideravelmente inferiores ao P14, diferenças na ordem dos 6%, e 2%, sendo que

estes resultados podem dever-se à recolha das amostras no ponto P15 ter sido realizada quando estava a ser bombeada água para a tubagem da suspensão.

Face à grande variação de valores verificada entre estes dois pontos, considera-se que o ponto P15 poderá não ser o local mais indicado para a recolha de amostras da suspensão à saída do TI.

Durante as campanhas de monitorização do processo para a recolha de dados e caracterização do processo, a razão água/FORSU no *pulper* variou entre 3,96 e 2,28 m³/ton, obtendo-se um valor médio para este período de 2,87m³/ton. Esta razão foi calculada pelo SCADA de forma automática. Os valores diários registados pelo SCADA podem ser consultados no Anexo II.

8.1.2 Balanços Mássicos Realizados ao Processo de TMH da FORSU

Para determinar o que ocorre em cada uma das etapas do TMH, após cada operação ao longo do processo de tratamento, foi determinado o teor de ST das várias entradas e saídas do processo.

Para a obtenção dos dados necessários para a realização dos balanços ao processo foi ainda determinada a massa volúmica nos vários pontos monitorizados durante o período de caracterização do TMH, tendo-se utilizado as médias dos valores obtidos. Estes valores podem ser consultados no Anexo II.

No Anexo III são ainda apresentados resultados obtidos na estimativa das entradas de água no TMH.

8.1.2.1 Balanço Mássico à Água

Para a realização do BM à água do processo, foram considerados como entradas:

- A água contida na FORSU à entrada do *pulper*;
- A água adicionada à FORSU no *pulper*;
- Todas as entradas de água existentes no processo.

As saídas consideradas foram:

- A água contida nos pesados removidos durante o processo;
- A água contida nos leves removida no DS;
- A água existente na suspensão após a adição de água quando esta saí do TI.

A Figura 8-13 apresenta os valores utilizados para a realização do BM aos fluxos de água do processo.

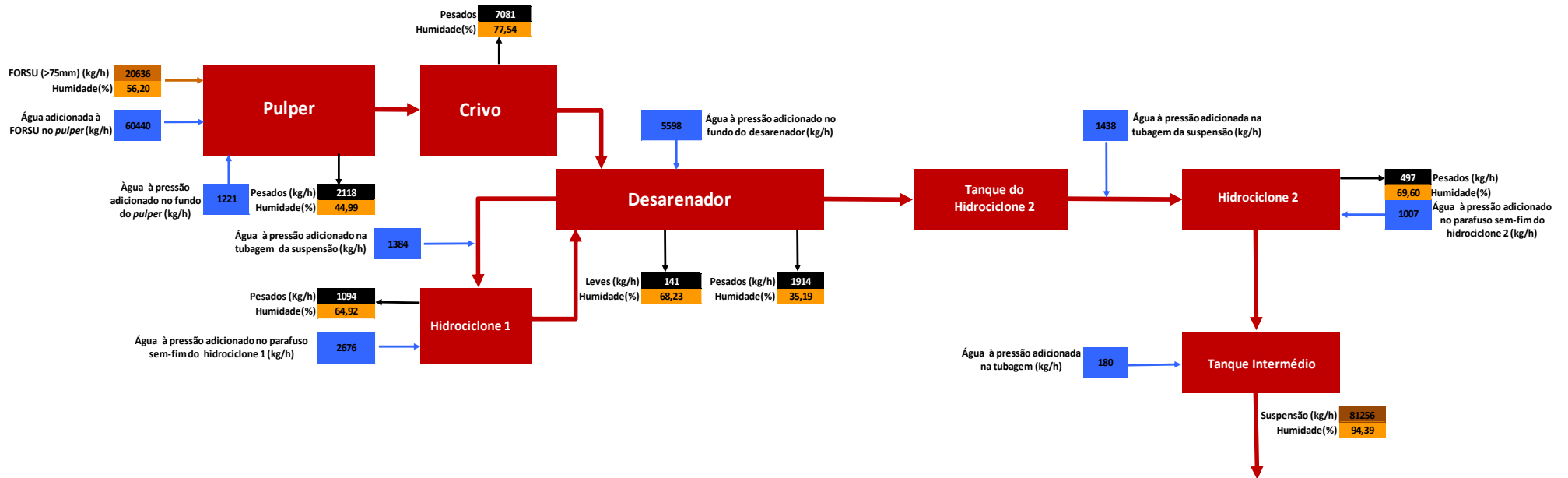


Figura 8-13 Fluxograma com as fronteiras do TMH e os dados utilizados para a realização do BM aos fluxos de água

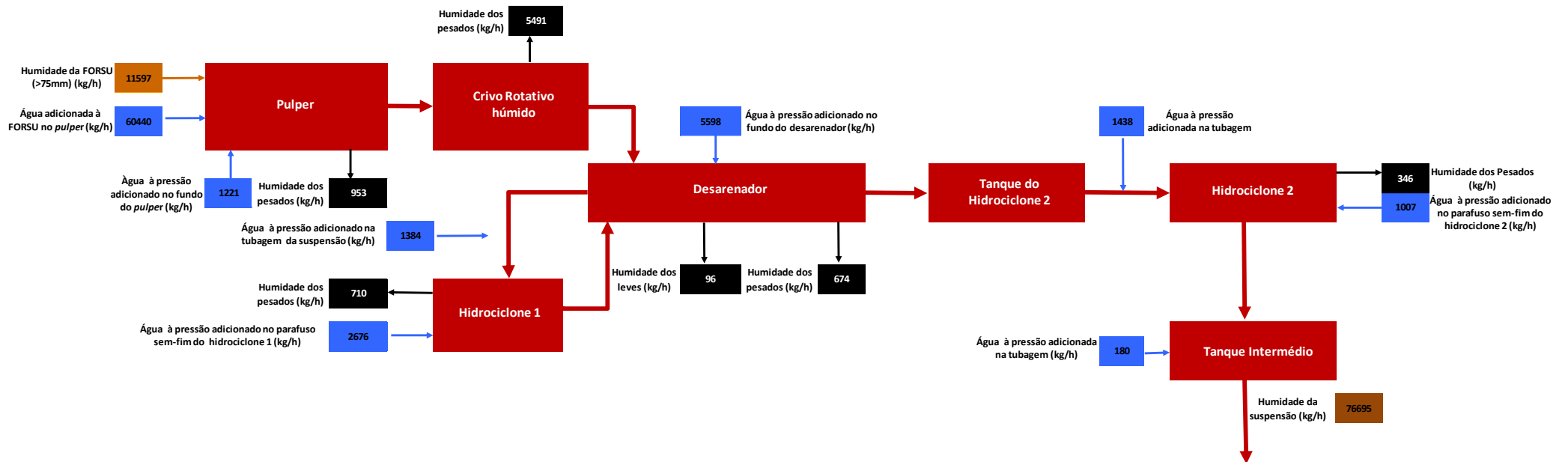


Figura 8-14 Fluxograma das fronteiras do TMH com os resultados obtidos para entradas e saídas do BM aos fluxos de água

A partir dos dados apresentados na Figura 8-13 foram obtidos os resultados apresentados na Figura 8-14, sendo realizado o BM aos fluxos de água do processo de TMH, apresentados na Tabela 8-13.

Tabela 8-13 BM aos fluxos de água do TMH

| Entradas | Kg/h | %* | Saídas | Kg/h | %** |
|--|---------------|------------|---|---------------|------------|
| Água da FORSU | 11 597 | 13,6 | Água dos pesados do fundo do <i>pulper</i> | 953 | 1,1 |
| Água adicionada à FORSU no <i>pulper</i> | 60 440 | 70,7 | Água dos pesados do CRH | 5 491 | 6,5 |
| Água adicionado no fundo do <i>pulper</i> | 1 221 | 1,4 | Água dos pesados do DS | 674 | 0,8 |
| Água adicionado no fundo do DS | 5 598 | 6,5 | Água dos leves do DS | 96 | 0,1 |
| Água adicionado na tubagem da suspensão | 1 384 | 1,6 | Água dos pesados do HC1 | 710 | 0,8 |
| Água adicionado no parafuso sem-fim do HC1 | 2 676 | 3,1 | Água dos pesados do HC2 | 346 | 0,4 |
| Água adicionada na tubagem da suspensão da suspensão do TH2 para o HC2 | 1 438 | 1,7 | | | |
| Água adicionado no parafuso sem-fim do HC2 | 1 007 | 1,2 | Água da suspensão proveniente TI depois da adição de água | 76 695 | 90,3 |
| Água adicionada na tubagem à suspensão depois do TI | 108 | 0,1 | | | |
| Total | 85 469 | 100 | Total | 84 865 | 100 |

*Expresso relativamente ao total de entra; **Expresso relativamente ao total de saídas

Como é patente na Tabela 8-13, a maior adição de água verifica-se no *pulper* para a obtenção do teor de ST desejado, correspondendo a 70,7% da água total adicionada ao processo.

As restantes adições de água, realizadas ao longo do TMH da suspensão da FORSU, correspondem a um total de 15,6% da água total do processo, sendo os pontos que mais contribuem para este valor, a água adicionada no fundo do DS e a água adicionada no sem-fim do HC1.

A água contida na FORSU representa 13,6% da água total adicionada no TMH, sendo este um valor significativo, e que deve ser considerado aquando da adição de água no *pulper* para se atingir o teor de ST desejado.

A diferença de adição de água verificada entre os dois sem-fins dos hidrociclones deve-se a estes terem diferentes ciclos de tempo de lavagem dos pesados, existindo uma maior necessidade de adição de água no sem-fim do HC1 devido à existência de um maior número de colmatações no mesmo.

De acordo com os resultados obtidos, o total de água perdida com a remoção dos leves do DS, e dos pesados nos diferentes pontos de remoção dos mesmos, representam um total de 9,7 % de água, sendo os pesados do CRH os que mais contribuem para esta perda.

Neste balanço verificou-se uma pequena diferença entre os valores totais de entrada e saídas do processo, 604 Kg/h, o que se considera ser um valor pouco significativo face à grandeza dos valores com que se está a trabalhar.

8.1.2.2 Balanço Mássico aos ST

Para a realização do BM aos ST considerou-se que a água do processo não continha sólidos, não sendo considerada neste balanço.

Como tal foi considerado como uma entrada:

- a fração de ST existente na FORSU á entrada do *pulper*.

Como saídas:

- A fração de ST existente nos pesados removidos durante o processo;
- A fração de ST nos leves removidos do DS;
- A fração de ST existente na suspensão após a adição de água quando esta sai do TI.

Na Figura 8-15 apresenta os valores utilizados para a realização do BM aos ST do processo.

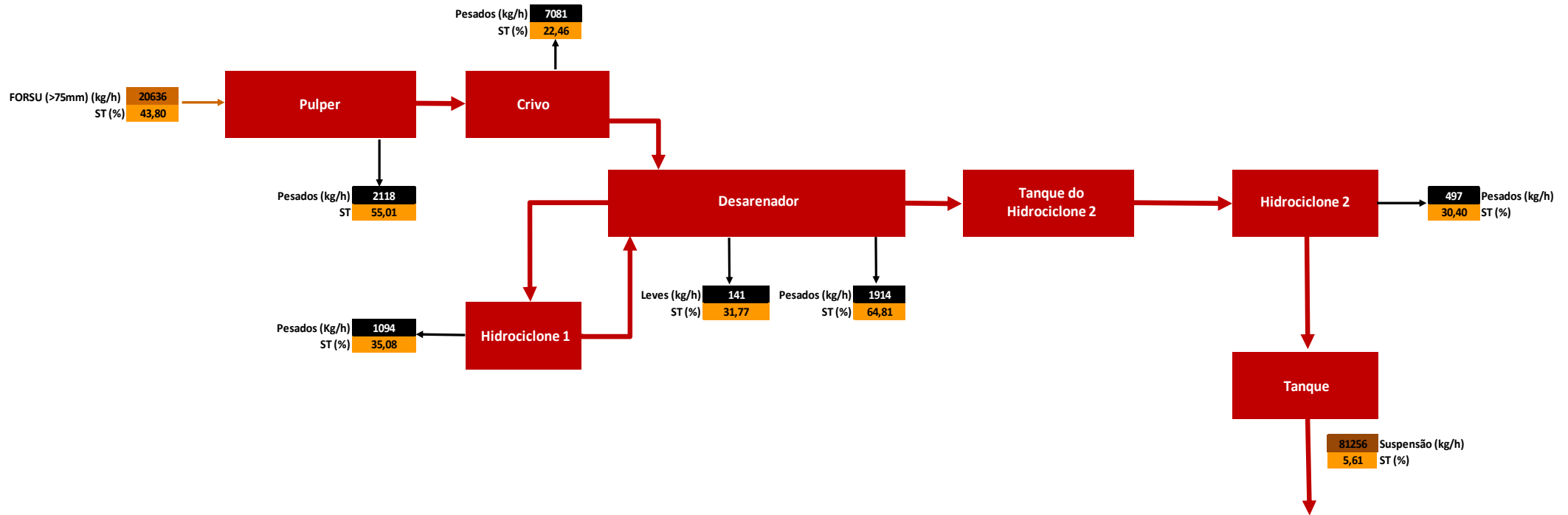


Figura 8-15 Fluxograma com as fronteiras do TMH e os dados utilizados para a realização do BM aos ST

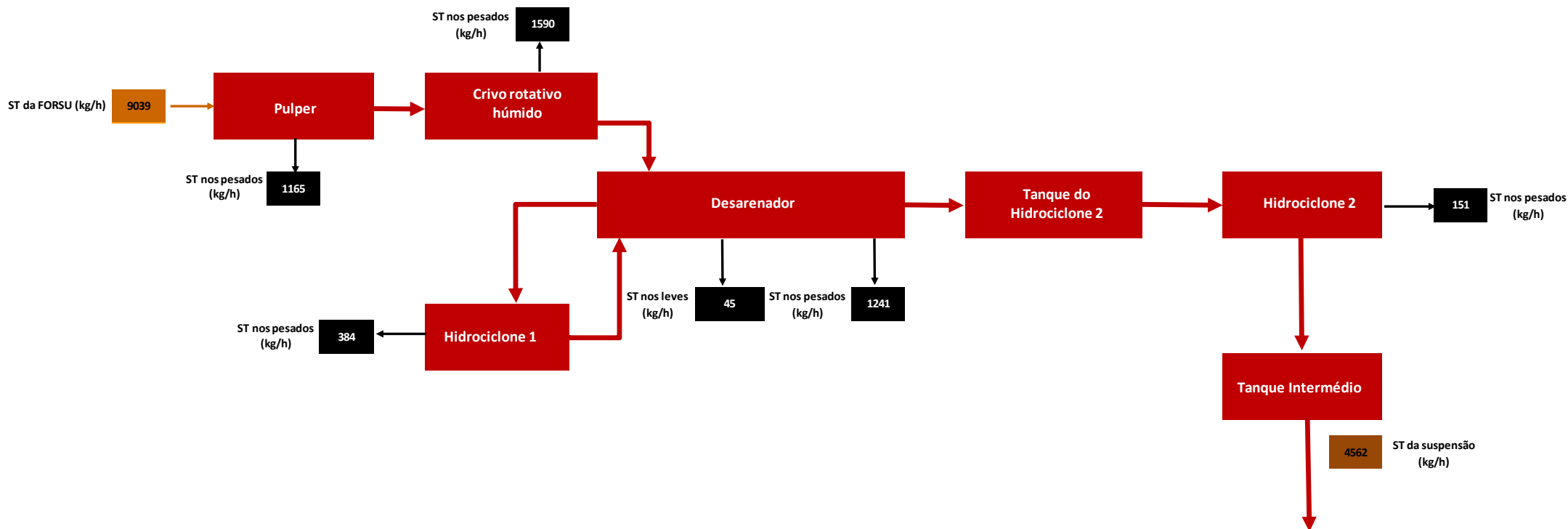


Figura 8-16 Fluxograma das fronteiras do TMH com os resultados obtidos para as entradas e saídas do BM aos ST

Tabela 8-14 Balanço mássico aos ST do TMH

| Entradas | Kg/h | %* | Saídas | Kg/h | %** |
|--------------|--------------|------------|--|--------------|------------|
| ST da FORSU | 9 039 | 100 | ST dos pesados do fundo do <i>pulper</i> | 1 165 | 12,6 |
| | | | ST dos pesados do CRH | 1 590 | 17,2 |
| | | | ST dos pesados do DS | 1 241 | 13,4 |
| | | | ST dos leves do DS | 45 | 0,5 |
| | | | ST dos pesados do HC1 | 384 | 4,2 |
| | | | ST dos pesados do HC2 | 151 | 1,6 |
| | | | ST da suspensão proveniente do TI depois da adição de água | 4 665 | 50,5 |
| Total | 9 039 | 100 | Total | 9 241 | 100 |

*Expresso relativamente ao total de entradas; **Expresso relativamente ao total de saídas

De acordo com os resultados obtidos, 49,5% dos ST existentes na suspensão de FORSU são removidos juntamente com os leves e os pesados durante o TMH, não sendo estabilizados biologicamente, indo diretamente para aterro sem serem devidamente estabilizados. Este valor tão elevado poderá dever-se a uma grande quantidade dos ST se encontrar agregada aos inertes e contaminantes removidos. Como tal, a redução da água que realiza a lavagem dos pesados para a recuperação dos ST, poderá não trazer benefícios para o espessamento da suspensão, uma vez que a sua diminuição poderá reduzir a quantidade de ST recuperados dos pesados.

De acordo com Lissens *et al.* (2001), referido por Ferreira (2010), o pré-tratamento da FORSU resulta numa perda total de SV na ordem dos 15 a 20%. Verifica-se contudo um valor superior ao referido na bibliografia para o caso de estudo, na ordem dos 31,7%.

No BM aos ST verificou-se, uma pequena diferença entre os valores totais de entradas e saídas do processo, 202 Kg/h de ST, o que se considera ser também um valor pouco significativo face à ordem de grandeza dos valores com que se está a trabalhar.

8.1.2.3 Balanço Mássico Global

O BM global realizado ao processo é apresentado na Figura 8-17 e na Tabela 8-15, este apresenta como entradas:

- A FORSU à entrada do *pulper*;
- A água adicionada à FORSU no interior do *pulper*;
- O somatório de todas as entradas de água existentes no decorrer do processo de TMH.

Como saídas este apresenta:

- O somatório dos pesados removidos à suspensão durante o processo;
- A suspensão à saída do TI após lhe ser realizada uma última adição de água na tubagem que a encaminha para o TP.

A Figura 8-17 e a Tabela 8-15 apresentam os resultados do BM global realizado ao TMH.

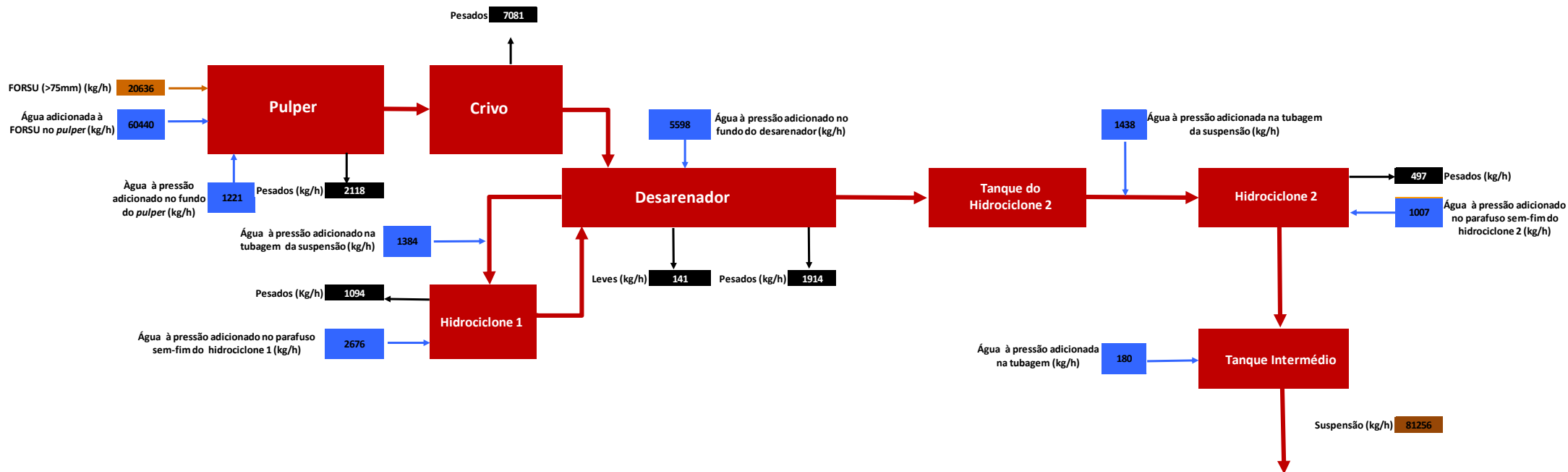


Figura 8-17 Fluxograma das fronteiras do TMH com os resultados das entradas e saídas para o BM global

Tabela 8-15 BM global ao TMH

| Entradas | Kg/h | %* | Saídas | Kg/h | %** |
|--|--------------|------------|--|--------------|------------|
| FORSU | 20 636 | 21,8 | Pesados do fundo do <i>pulper</i> | 2 118 | 2,3 |
| Água adicionada à FORSU no <i>pulper</i> | 60 440 | 64,0 | Pesados do CRH | 7 081 | 7,5 |
| Água adicionado no fundo do <i>pulper</i> | 1 221 | 1,3 | Pesados do DS | 1 914 | 2,0 |
| Água adicionado no fundo do DS | 5 598 | 5,9 | Leves do DS | 141 | 0,1 |
| Água adicionado na tubagem da suspensão | 1 384 | 1,5 | Pesados do HC1 | 1 094 | 1,2 |
| Água adicionado no parafuso sem-fim do HC1 | 2 676 | 2,8 | Pesados do HC2 | 497 | 0,5 |
| Água adicionada na tubagem da suspensão da suspensão do TH2 para o HC2 | 1 438 | 1,5 | | | |
| Água adicionado no parafuso sem-fim do HC2 | 1 007 | 1,1 | Suspensão proveniente do TI depois da adição de água | 81 256 | 86,3 |
| Água adicionada na tubagem à suspensão depois do TI | 108 | 0,1 | | | |
| Total | 94508 | 100 | Total | 94101 | 100 |

*Expresso relativamente ao total de entradas; **Expresso relativamente ao total de saídas

Como se pode verificar pela Tabela 8-15, para se tratar 21,8 Kg de FORSU são consumidos 78,2 Kg de água.

Durante o pré-tratamento realizado à suspensão, por cada 100 Kg de suspensão produzida no *pulper* são-lhe removidos cerca de 13,6 Kg de inertes e contaminantes.

A maior adição de água observada no processo é, naturalmente, no *pulper*. Aí, a FORSU afluyente é convertida em suspensão - com uma concentração de sólidos pré-definida – pela adição de um volume significativo de água.

Das restantes entradas de água existentes ao longo do TMH da suspensão, a água adicionada no fundo do DS e a água adicionada no sem-fim do HC1 são os mais significativos. Contudo, em ambos os locais são frequentemente verificadas colmatações

dos resíduos contidos na suspensão, devendo-se por isso, no caso de se proceder a uma redução de água nestes locais, realizar-se uma redução gradual.

A diferença obtida entre o total de entradas e saídas do TMH, 407 Kg/h, pode ser devido ao uso de valores reais e estimados, considerando-se contudo esta diferença pouco significativa.

8.1.3 Conclusões

Um dos objetivos implícitos do presente trabalho é o espessamento da suspensão da FORSU, o que pode trazer vantagens e desvantagens para o processo de DA e de TMH. Seguidamente são inumeradas algumas das vantagens e desvantagens que o espessamento da suspensão poderá trazer.

Vantagens:

- A diminuição do consumo de água no TMH realizado à FORSU;
- Benefícios operacionais, incluindo ao nível hidráulico, na manipulação da suspensão a jusante no restante TMH;
- A diminuição do volume de água no interior dos digestores, e, como consequência, a diminuição do TRH, e inerentemente o TRC;
- O espessamento da suspensão facilita ainda a desidratação do produto digerido e a sua operacionalidade, assim como a dos digestores ao nível do TRH (mais afastado do seu valor mínimo);
- A diminuição do consumo energético:
 - ✓ Na realização do aquecimento da suspensão no interior dos digestores,
 - ✓ No sistema de bombagem
 - ✓ Com a desidratação do produto digerido
- A melhoria do desempenho energético dos equipamentos na realização das atividades mencionadas, traduz-se numa diminuição da fatura energética da empresa, acarretando assim benefícios económicos.

Desvantagens:

- Aumento de colmatações de resíduos nos equipamentos, com necessidade de paragem do processo para proceder-se ao desentupimento dos mesmos;
- Aumento do atrito nas bombagens;
- Diminuição da homogeneização da suspensão da FORSU;
- Aumento dos custos com a agitação e mistura da suspensão no interior do digestor, para a mesma temperatura e TRH;
- Diminuição da produtividade biológica;
- Maior concentração de sólidos, o que terá como consequência uma maior agregação/floculação das partículas na suspensão e sedimentação-acumulação no DA;
- Aumentando a sedimentação-acumulação de inertes no DA.

A elevada diminuição do teor em ST na suspensão entre os pontos P3 e P10 verifica-se ser uma tendência no processo, o que deve ser considerado na fase de diminuição do consumo de água por forma a reverter-se esta tendência.

A partir da realização do BM global ao TMH, concluiu-se que para se tratarem 21,8 Kg de FORSU, são necessários 78,2 Kg de água. E que por cada 100 Kg de suspensão tratados, são removidos 13Kg de inertes e contaminantes

Verificou-se ainda que a maior adição de água no processo é no *pulper*, para se atingir o teor de sólidos desejado, seguindo-se da água adicionada no fundo do DS e a água adicionada no sem-fim do HC1.

Com a realização do BM à água do processo verificou-se que a adição de água no *pulper* para se atingir o teor de ST desejado na suspensão correspondia a 70,1% da água do processo, a água adicionada ao longo do mesmo correspondia a 15,6% e que a FORSU contém 13,6% da água do processo.

No BM aos ST verificou-se que 49,5 % de ST são removidos junto com os pesados e leves no decorrer do TMH. Como tal, a redução de água de lavagem dos mesmos não deve ser opção, pois umas reduções no consumo destas entradas de água traduzem-se num aumento de ST removidos ao longo do processo.

Esta perda tão elevada de ST no pré-tratamento da FORSU tem como consequência para a DA a diminuição da produção do biogás, o que indica que a eficiência do pré-tratamento pode e deve ser melhorada. Esta percentagem de ST não será tratada biologicamente indo diretamente para aterro sem ser estabilizada.

8.2 Redução dos Fluxos de Água no Processo de TMH da FORSU

Após a realização da caracterização e dos BMs do TMH, iniciou-se uma nova fase, intervindo-se na redução das entradas de água no sistema. Os dados obtidos na monitorização realizada durante este período encontram-se no Anexo IV.

Na monitorização realizada ao TMH durante este período, as caracterizações realizadas à FORSU à entrada do *pulper* foram feitas com ambos os crivos de 20 mm e 10mm. As caracterizações foram realizadas com os dois peneiros para se saber qual a maior contribuição de resíduos, com dimensões entre 10 e 20 mm, para as diferentes categorias. Os resultados são apresentados nos gráficos da Figura 8-18 e Figura 8-19.

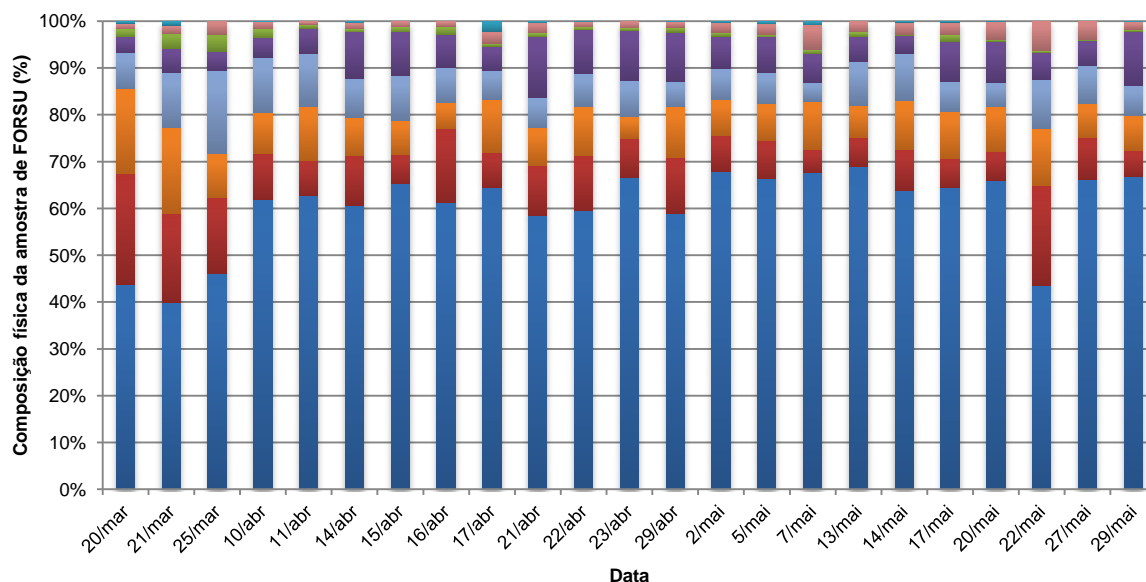


Figura 8-18 Resultados obtidos nas caracterizações realizadas à FORSU (finos $X < 20$ mm)
Legenda: Metal; Outros; Plástico; Vidro; MO jardim; MO cozinha; Papel; Finos ($X < 20$ mm)

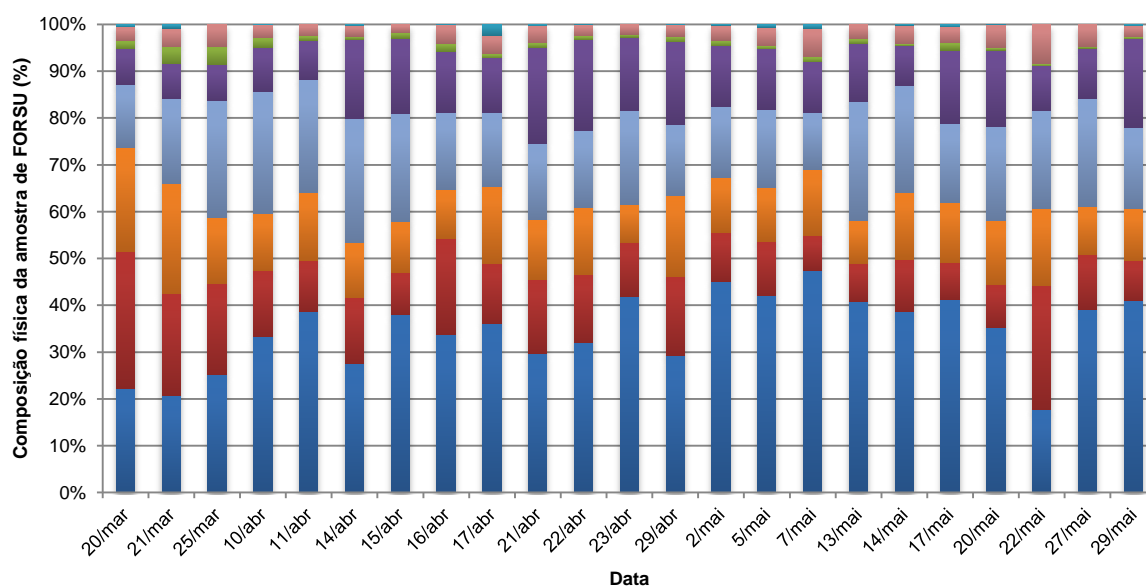


Figura 8-19 Resultados obtidos nas caracterização realizada à FORSU (finos $X < 10$ mm)
Legenda: Metal; Outros; Plástico; Vidro; MO jardim; MO cozinha; Papel; Finos ($X < 10$ mm)

Ao fim da primeira semana de estudo da redução dos consumos de água no TMH o crivo de malha elástica esteve com problemas operacionais, o que levou à suspensão do presente trabalho entre os dias 26 de março e 7 de abril.

Após a resolução dos referidos problemas no crivo, procedeu-se também à troca das malhas do mesmo, o que se verificou, “a olho nu”, ter um impacto significativo na constituição da FORSU. Como tal, foi realizada uma comparação das médias obtidas para cada uma das categorias da caracterização da FORSU à entrada do *pulper*, no período de recolha de dados e caracterização do processo (situação de referência) e na fase de redução da água antes e após a troca das malhas do crivo, para ambos os peneiros de 20 e 10 mm (Tabela 8-16).

A constituição da FORSU à entrada do *pulper* é fundamental para o TMH, especialmente na fase de redução do consumo de água, pois a presença de contaminantes em maior ou menor escala, assim como as suas dimensões e natureza têm uma grande influência no funcionamento do sistema e por consequência nas necessidades de água do mesmo.

Tabela 8-16 Médias, máximos e mínimos dos resultados obtidos para as caracterizações da FORSU à entrada no *pulper*, com os peneiros de 20 e 10 mm, da situação de referência do TMH, e da fase de redução dos consumos de água no mesmo, antes e após a troca das malhas do crivo de malha elástica

| Categorias | Situação de referência do TMH | | | | | | Período de redução do consumo de água no TMH | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------|--------|--------|------------|--------|--------|--|--------|--------|---------------|--------|--------|----------------------------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | | | | | | | Antes da troca das malhas do crivo | | | | | | Após a troca das malhas do crivo | | | | | |
| | Finos X<20 | | | Finos X<10 | | | Finos X<20 mm | | | Finos X<10 mm | | | Finos X<20 mm | | | Finos X<10mm | | |
| | Média | Máximo | Mínimo | Média | Máximo | Mínimo | Média | Máximo | Mínimo | Média | Máximo | Mínimo | Média | Máximo | Mínimo | Média | Máximo | Mínimo |
| Finos (%) | 45 | 55 | 35 | 26 | 31 | 19 | 43 | 46 | 39 | 22 | 25 | 20 | 62 | 68 | 43 | 36 | 47 | 17 |
| MO cozinha (%) | 14 | 18 | 10 | 18 | 24 | 12 | 15 | 18 | 9 | 20 | 23 | 14 | 9 | 12 | 5 | 12 | 17 | 8 |
| MO jardim (%) | 6 | 7 | 6 | 10 | 14 | 6 | 12 | 18 | 8 | 19 | 25 | 13 | 8 | 12 | 4 | 19 | 26 | 12 |
| Papel (%) | 20 | 25 | 13 | 25 | 35 | 14 | 19 | 23 | 16 | 23 | 29 | 19 | 9 | 21 | 5 | 12 | 26 | 7 |
| Vidro (%) | 6 | 9 | 5 | 11 | 14 | 8 | 4 | 5 | 3 | 7 | 8 | 7 | 8 | 13 | 4 | 14 | 20 | 8 |
| Plástico (%) | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Metal (%) | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Outros (%) | 6 | 9 | 3 | 5 | 10 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 5 | 3 | 2 | 6 | 1 | 4 | 8 | 2 |

Como é patente na Tabela 8-16, nas caracterizações realizadas antes da troca das malhas do crivo de malha elástica, a categoria onde se observou um maior aumento relativamente ao período inicial de recolha de dados, foi a MO de cozinha, com um aumento de 6% para as caracterizações realizadas com o peneiro de 20 mm e 9% com o peneiro de 10 mm. A categoria que registou a maior redução percentual média foi a dos outros RSU, com uma redução de 4% para as caracterizações com o peneiro de 20 mm. Contudo, nas caracterizações realizadas com o peneiro de 10 mm a maior diminuição observou-se na categoria dos finos, na ordem dos 4%.

Analisando-se a influência da troca das malhas do crivo de malha elástica na composição da FORSU, observou-se uma diminuição muito significativa nas médias percentuais de papel, e, em menor escala, de orgânicos (20% para as caracterizações com o peneiro de 20 mm, e 8% com o de 10 mm). Verificou-se ainda um aumento de vidro, na ordem 4%, para caracterizações com o peneiro de 20 mm e 6% com o de 10 mm. A categoria dos outros resíduos manteve-se praticamente inalterada.

Em seguida é realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos nos diferentes cenários da diminuição do consumo de água no TMH. Na Tabela 8-17 são apresentadas:

- As intervenções realizadas no TMH ao nível de reduções de água;
- Os resultados obtidos para cada cenário;
- Algumas observações pertinentes para o estudo;
- E uma avaliação do impacto da redução de água realizada no TMH.

A Tabela 8-18 mostra as razões água/FORSU obtidas para os dias em que foram realizadas campanhas de amostragem, sendo que no Anexo IV podem ser consultados os valores registado pelo SCADA para cada dia de amostragem.

Tabela 8-17 Reduções das entradas de água no TMH

Legenda:

↑- Bom

↓↑ - Pouco significativa

| Cenário | Data | Ação | Resultados | Observações | Avaliação |
|---------|------|--|---|---|-----------|
| 1º | 20/3 | - Eliminou-se a entrada de água na tubagem que liga o fundo do <i>pulper</i> ao seu sem-fim (E2) | - A variação do teor médio de ST na suspensão pouco significativo | - Não se verificaram entupimentos no fundo do <i>pulper</i> ,nem na maquinaria de remoção dos pesados do fundo do mesmo | ↓↑ |
| | 21/3 | | -Queda acentuada do teor médio de ST do ponto P3 para o ponto P10, à semelhança do que se verifica no cenário 0 | - O processo funcionou normalmente | |
| | 25/3 | | - Aumento da média de ST nos pesados do <i>pulper</i> comparativamente aos resultados obtidos durante a monitorização inicial realizado ao processo | | |
| | | | -O processo trabalhou com uma razão média real de água/FORSU de 2,37 m ³ /ton | | |

Tabela 8-17 Reduções das entradas de água no TMH (Cont.)

Legenda:

↑ - Bom
 ↓↑ - Pouco significante

| Cenário | Data | Ação | Resultados | Observações | Avaliação |
|---------|------|--|---|---|-----------|
| 2º | 10/4 | - Manteve-se a eliminação da entrada de água na tubagem que liga o fundo do <i>pulper</i> ao seu sem-fim - Reduziu-se em 10% a água bombeada para no interior do <i>pulper</i> (ponto E1) | - O teor médio de ST na suspensão diminui face ao 1º cenário e ao cenário 0, à exceção do ponto P15 onde se manteve estável relativamente aos 2 cenários anteriores. - A diminuição do teor médio de ST na suspensão ao longo do TMH não foi tão acentuada | - Apenas estava a funcionar uma 1 linha de alimentação no TMS dos RSU - As malhas do crivo foram substituídas por novas, tendo-se verificado uma diferença significativa no aspeto da constituição da FORSU a “olho nu” - Não se verificaram entupimentos no <i>pulper</i> , o processo trabalhou dentro da normalidade | ↑ |
| | 11/4 | | - Aumento significativo do teor médio de ST no ponto P2 comparativamente ao 1º cenário e ao cenário 0 - O processo trabalhou com uma razão média real de água/FORSU de 2,51 m³/ton, média superior a verificada no período do 1º cenário | - Apenas estava a funcionar uma 1 linha de alimentação no TMS dos RSU - Não se verificaram entupimentos no <i>pulper</i> , o processo trabalhou dentro da normalidade | |
| | 14/4 | | | - Não se verificaram entupimentos no <i>pulper</i> , o processo trabalhou dentro da normalidade | |
| | 15/4 | | | | |
| | 16/4 | | | | |
| | 17/4 | | | | |
| | 21/4 | | | | |
| | 22/4 | | | | |
| | 23/4 | | | | |
| | 29/4 | | | | |

Tabela 8-17 Reduções das entradas de água no TMH (Cont.)

Legenda:

↑ - Bom

↓↑ - Pouco significante

| Cenário | Data | Ação | Resultados | Observações | Avaliação |
|---------|------|--|--|---|-----------|
| 3º | 2/5 | <ul style="list-style-type: none"> - Manteve-se a eliminação da entrada de água na tubagem que liga o fundo do <i>pulper</i> ao seu sem-fim - Reduziu-se em 10% a água bombeada para no interior do <i>pulper</i> (ponto E1) - O processo trabalhou com uma razão água/FORSU programada no SCADA de 2 m³/ton | <ul style="list-style-type: none"> - Aumento do teor médio de ST na suspensão ao longo do processo face ao cenário anterior. À exceção do ponto P15 onde se obtiveram valores semelhantes aos cenários anteriores -A diminuição do teor médio de ST na suspensão ao longo do TMH não foi tão acentuada, à semelhança do que se passou no cenário anterior -O teor médio de ST nos pesados, teve um aumento mais significativo no pronto P4, tendo-se nos pontos P8 e P13 observado uma diminuição do mesmo -O processo trabalhou com uma razão média real de água/FORSU de 1,90 m³/ton, média inferior à verificada nos cenários anteriores | - o processo trabalhou dentro da normalidade | ↑ |
| | 5/5 | | | - Adicionamos 28 m ³ de lixiviado bruto do aterro para o tanque de água do processo | |
| | 7/5 | | | - o processo trabalhou inicialmente com o rácio de 2 m ³ /ton, tendo-se alterado neste mesmo dia o rácio para 1,8 m ³ /ton, após a campanha de amostragem | |
| | 13/5 | | | | |
| | 13/5 | | | | |

Tabela 8-17 Reduções das entradas de água no TMH (Cont.)

Legenda:

↑ - Bom
 ↓↑ - Pouco significante

| Cenário | Data | Ação | Resultados | Observações | Avaliação |
|---------|------|---|---|--|-----------|
| 4º | 14/5 | - Manteve-se a eliminação da entrada de água na tubagem que liga o fundo do <i>pulper</i> ao seu sem-fim | -Verificou-se um aumento do teor médio de ST na suspensão no ponto P3, relativamente ao 3º cenário, por sua vez no ponto P14 registou-se uma diminuição face ao cenário anterior - As variações mais significativas do teor médio de ST nos pesados face ao 3º cenário registaram-se no ponto P6, com uma diminuição do teor médio de ST, e nos pontos P8 e P13 com o aumento do mesmo -O processo trabalhou com uma razão média real de água/FORSU de 1,80 m³/ton, média inferior à verificada nos cenários anteriores | - Adicionamos 28 m³ de lixiviado bruto do aterro para o tanque de água do processo | ↑ |
| | 17/5 | - Reduziu-se em 10% a água bombeada para no interior do <i>pulper</i> (ponto E1) | | - Nos dias anteriores verificaram-se entupimentos no HC1, como tal teve que se adicionar mais água ao processo, contudo neste dia não foi necessário | |
| | 20/5 | - Diminui-se a razão água/FORSU no SCADA para 1,8 m³/ton | | | |
| | 22/5 | | | | |
| | 27/5 | | | | |
| 5º | 29/5 | - Manteve-se a eliminação da entrada de água na tubagem que liga o fundo do <i>pulper</i> ao seu sem-fim - Reduziu-se em 10% a água bombeada para no interior do <i>pulper</i> (ponto E1) -Diminui-se a razão água/FORSU no SCADA para 1,6 m³/ton | -Queda acentuada do teor médio de ST do ponto P3 para o ponto P10, à semelhança do que se verifica no cenário 0 e no 1º cenário -Observou-se uma diminuição mais expressiva do teor de ST do ponto P10 para o P12 do que nos cenários anteriores | | ↑ |

Tabela 8-17 Reduções das entradas de água no TMH (Cont.)

Legenda:

↑ - Bom

↓↑ - Pouco significante

| Cenário | Data | Ação | Resultados | Observações | Avaliação |
|---------|------|------|---|-------------|-----------|
| 5º | 29/5 | | <p>- No ponto P2 obteve-se um teor médio de ST bastante inferior relativamente aos anteriores três cenários, mas contudo similar ao 1º cenário e ao cenário 0</p> <p>-O processo trabalhou com uma razão média real de água/FORSU de 1,63 m³/ton, média inferior à verificada nos cenários anteriores</p> | | ↑ |

Tabela 8-18 Média da razão água/FORSU no pulper durante os diferentes períodos de redução de água

| Data | Cenário | Média |
|--------|---------|-----------------------|
| | | (m ³ /ton) |
| 20/mar | 1º | 2,37 |
| 21/mar | | |
| 25/mar | | |
| 10/abr | 2º | 2,51 |
| 11/abr | | |
| 14/abr | | |
| 15/abr | | |
| 16/abr | | |
| 17/abr | | |
| 21/abr | | |
| 22/abr | | |
| 23/abr | | |
| 29/abr | | |
| 2/mai | 3º | 1,90 |
| 5/mai | | |
| 7/mai | | |
| 13/mai | | |
| 14/mai | 4º | 1,80 |
| 17/mai | | |
| 20/mai | | |
| 22/mai | | |
| 27/mai | | |
| 29/mai | 5º | 1,63 |

As reduções de água no processo foram realizadas de forma gradual e cumulativa. Ou seja, para cada cenário em que se verificou que a redução de água realizada não afetava o normal funcionamento do TMH, ou que o influenciava positivamente, a redução foi adotada para o cenário seguinte, e introduzidas novas variações, nesse mesmo local ou noutros locais que se verificasse ser pertinente.

Os 5 cenários testados foram ainda comparados com os dados obtidos para a situação de referência do TMH. A situação de referência do processo foi denominada por cenário 0.

Os gráficos da Figura 8-20 e Figura 8-21 apresentam, respectivamente, a variação do teor de ST na suspensão e a variação do teor de ST nos pesados e leves removidos ao longo do TMH, antes e durante as reduções de água no mesmo, para os diferentes cenários.

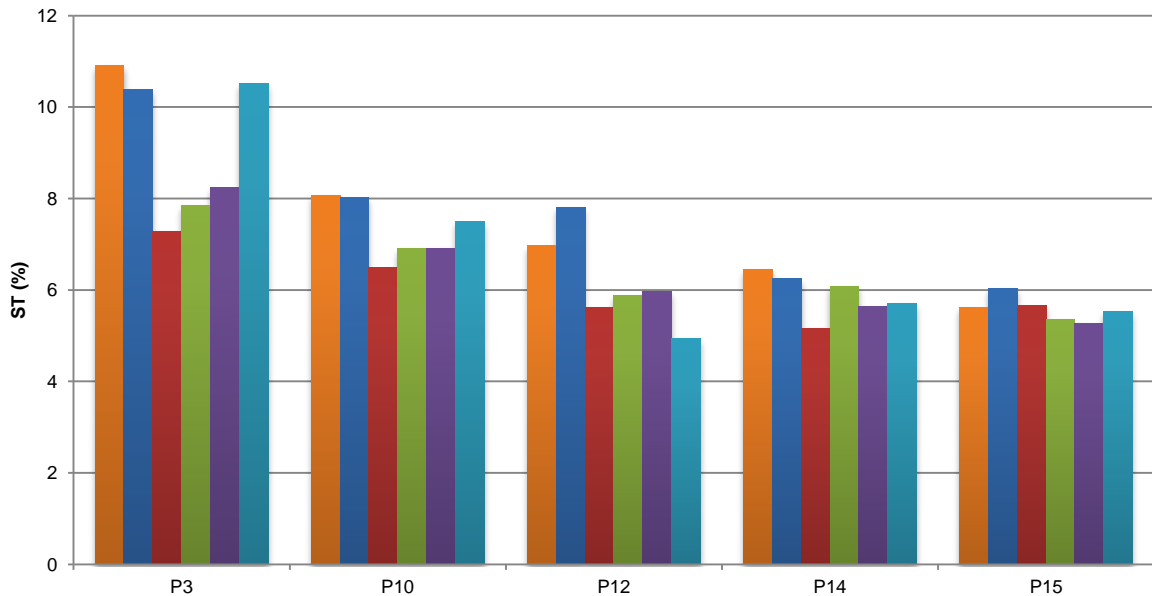


Figura 8-20 Variação do teor de ST na suspensão ao longo do TMH antes e durante as reduções do consumo de água no mesmo

Legenda: ■ Teor média ST na suspensão, Cenário 0 ; ■ Teor média ST na suspensão, 1º Cenário; ■ Teor média ST na suspensão, 2º Cenário; ■ Teor média ST na suspensão, 3º Cenário; ■ Teor média ST na suspensão, 4º Cenário; ■ Teor média ST na suspensão, 5º Cenário

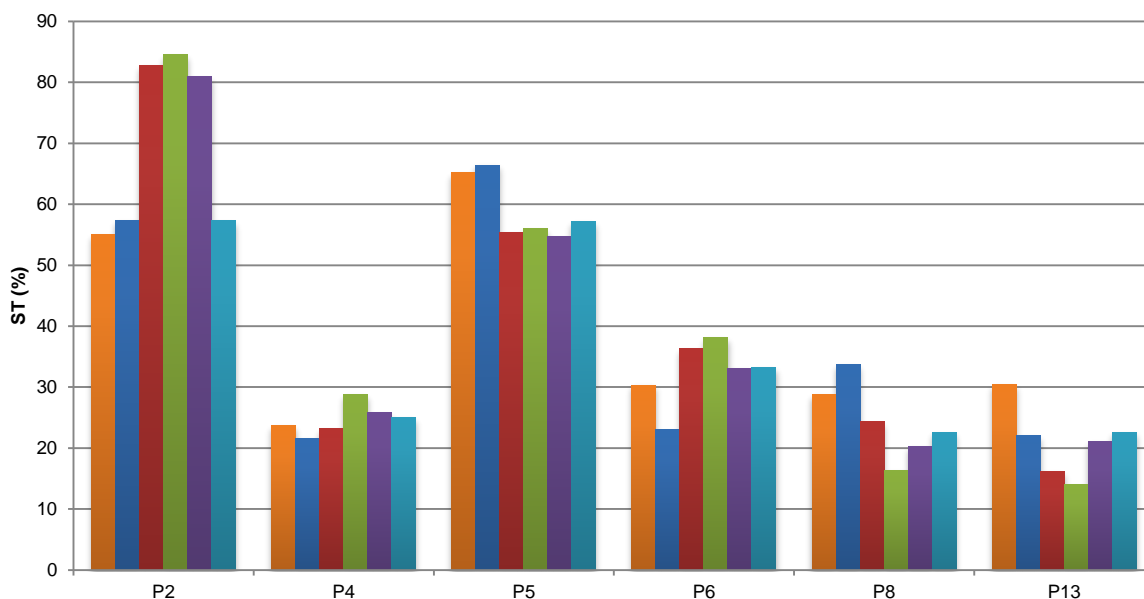


Figura 8-21 Variação do teor de ST nos pesados e leves removidos ao longo do TMH antes e durante as reduções do consumo de água no mesmo

Legenda: ■ Teor média ST nos pesados e nos leves, Cenário 0 ; ■ Teor média ST nos pesados e nos leves, 1^o Cenário; ■ Teor média ST nos pesados e nos leves, 2^o Cenário; ■ Teor média ST nos pesados e nos leves, 3^o Cenário; ■ Teor média ST nos pesados e nos leves, 4^o Cenário; ■ Teor média ST nos pesados e nos leves, 5^o Cenário

A primeira redução de água decorreu entre os dias 18 e 26 de março, dia em que o crivo de malha elástica deixou de funcionar. Esta redução consistiu no corte da água adicionada no fundo do *pulper* (ponto E2). A redução de água iniciou-se neste ponto pois esta é uma das entradas água iniciais do processo e por não se verificarem aí entupimentos frequentes.

Foram realizadas três campanhas de monitorização durante o período em que decorreu o 1^o cenário.

De uma forma global, considera-se que esta medida teve pouca influência no teor de ST na suspensão. Relativamente aos pesados e leves removidos durante o processo, como era esperado, houve um aumento do teor de ST nos pesados removidos do fundo do *pulper*, ponto P2, fruto do corte de água no ponto E2, pois ao deixar de se realizar a lavagem dos pesados neste ponto, estes naturalmente arrastaram consigo uma maior quantidade de ST.

Comparando a média dos resultados obtidos para o cenário 1 com os resultados médios obtidos no cenário 0, observou-se uma diminuição da concentração de ST na suspensão à saída do *pulper*, ponto P3.

Por sua vez os valores obtidos para a suspensão à saída do DS e à saída do HC2, pontos P10 e P14, respetivamente, mantiveram-se muito próximos dos obtidos no cenário 0.

No ponto P12, suspensão à entrada do HC2, houve um aumento do teor de ST nas amostras, o que se deverá à sedimentação de pesados no fundo do THC2, uma vez que a suspensão é bombeada para no interior do HC2, a partir do fundo do mesmo, podendo assim arrastar pesados sedimentados no fundo do tanque, traduzindo-se num aumento de ST na suspensão neste local.

No ponto P15, suspensão à saída do TI, embora o teor médio de ST seja superior relativamente ao resultado obtido no cenário 0, quando comparado com o resultado obtido no ponto P14 (6,03%) do mesmo cenário, os valores são muito próximos.

Quanto aos leves e aos pesados removidos no TMH, verificou-se uma diminuição do teor médio de ST nos pesados removidos pelo CRH, ponto P4, nos leves removidos no DS, ponto P6, e nos pesados removidos pelo HC2, ponto P13.

Por sua vez, nos pesados removidos do DS e pelo HC1, pontos P5 e P8, verificou-se um aumento do teor de ST. Todavia, não se considera que estas oscilações no teor de sólidos destes pontos estejam relacionadas com a redução da água realizada neste cenário, pois esta, de acordo com o BM realizado à água do TMH, representa um corte na ordem dos 1,4% do total de água adicionada durante o TMH.

Durante o período em que se experimentou o 1º cenário verificou-se ainda uma diminuição da média da razão água/FORSU de 2,87m³/ton (cenário 0) para 2,37m³/ton, tendo o processo funcionado normalmente e sem se ter verificado entupimentos no fundo do *pulper*, na maquinaria de remoção dos pesados do fundo do mesmo, e no resto do processo.

Considera-se contudo, que com este cenário não se obtiveram alterações muito significativas, o que também é justificável pois a alteração realizada no processo não foi muito grande.

Entre o período de finalização do 1º cenário e o início do 2º cenário deu-se o problema técnico do crivo de malha elástica.

O 2º cenário foi experimentado no processo entre os dias 8 de abril e 1 de maio, tendo-se realizado 10 campanhas de amostragem neste período. Para este cenário foram mantidas as condições de funcionamento do 1º cenário e reduziu-se em 10% a água bombeada para no interior do *pulper* (ponto E1).

O 2º cenário foi o que se estendeu por mais tempo em fase de experimentação no processo, pois na empresa considerou-se que devido ao elevado volume dos digestores (2x5 000m³) era necessário manterem-se os cenários por um maior período de tempo, para se observarem das repercussões das alterações realizadas no funcionamento dos digestores,

assim como qual o tempo de resposta destes a alterações mais significativas de água no TMH.

Como se pode verificar no gráfico da Figura 8-20, no 2º cenário observou-se uma diminuição do teor médio de ST na suspensão ao longo do TMH, relativamente ao cenário 0 e ao 1º cenário. À exceção do ponto P15, local onde o teor médio de ST é similar aos verificados nos dois cenários anteriores.

Este comportamento da suspensão é justificado por uma perda gradual do teor de ST ao longo do TMH (*vide* Figura 8-20). Ou seja, embora inicialmente o teor de ST no *pulper* fosse mais baixo comparativamente aos outros dois cenários, aqui não se verificou uma perda/diluição tão significativa dos mesmos no decorrer do processo, tendo assim a suspensão à saída do TI obtido valores muito similares aos dois cenários anteriores. Como tal, os resultados obtidos para a variação do teor médio de ST na suspensão no 2º cenário são bastante positivos.

Embora durante o 2º cenário os teores médios de ST na FORSU (ponto P1) se encontrem dentro dos resultados obtidos para os anteriores dois cenários, a diminuição do teor médio de ST no ponto P3 é bastante elevada, comparativamente com resultados dos cenários anteriores. Tal leva a crer que com o melhoramento da qualidade da peneiração da FORSU, devido à mudança das malhas do crivo de malha elástica, a razão água/FORSU proferida pelo SCADA se tenha tornado inadequada. Como tal houve uma adição excessiva de água no *pulper*, não se tendo observado um aumento do teor médio de ST na suspensão à saída do *pulper*, como era pretendido, nem nos restantes pontos a jusante deste.

Como se pode ver na Tabela 8-18, para o período experimental do 2º cenário obteve-se uma razão média água/FORSU de 2,51 m³/ton. Este valor é superior ao verificado durante a 1ª redução de água no processo. Contudo, este não é um resultado fundamentado, pois não se verificaram entupimentos de resíduos no *pulper* nem no resto do processo que justifiquem este aumento de água no ponto E1. Como tal este poderá dever-se a um cálculo sobredimensionado pelo SCADA da razão água/FORSU.

Relativamente ao teor médio de ST nos pesados removidos durante o TMH (Figura 8 21), verificou-se um aumento significativo do mesmo no ponto P2 do 2º cenário, relativamente aos dois cenários anteriores. Este resultado é consequência do corte de água realizado neste local, que embora tenha já sido realizado no 1º cenário, só neste período é que se verificou um efeito mais expressivo.

Nos pontos P5, P8 e P13 o teor médio de ST diminuiu, ao contrário do ponto P6 onde se verificou um aumento do teor médio de ST. Apenas no ponto P4 o teor médio de ST se manteve dentro dos valores obtidos nos cenários anteriores.

No 3º cenário experimentado no processo, mantiveram-se as alterações realizadas nos cenários anteriores. Contudo o processo passou a trabalhar com uma razão água/FORSU programada no SCADA para 2 m³/ton. O período experimental deste cenário foi realizado entre os dias 2 e 13 de Maio e foram efetuadas 4 campanhas de amostragem.

Com a alteração introduzida, como é patente no gráfico da Figura 8-20, os teores médios de ST na suspensão obtidos para os pontos P3, P10, P12 e P14 aumentaram comparativamente aos valores obtidos no 2º cenário. O local onde se observou o teor médio de ST mais elevado foi o ponto P14, tendo-se obtido no ponto P15 valores ligeiramente inferiores aos registados nos três cenários anteriores.

De forma análoga ao que aconteceu durante o 2º cenário, a suspensão embora não tivesse um teor médio de ST no ponto P3 tão elevado como no 1º cenário e no cenário 0, não se observou uma redução do teor médio de ST tão significativa entre o ponto P3 para o P10. Conseguir manter esta tendência no processo é um resultado bastante positivo.

Relativamente à variação do teor de ST médio nos pesados, o aumento mais significativo verificou-se no ponto P4, tendo nos pontos P2, P3, P5 e P6 apenas oscilado ligeiramente, e nos pontos P8 e P13 uma diminuição do teor de médio de ST nos mesmos. Tal poderá dever-se a uma diminuição do rendimento dos hidrociclones durante neste período.

Com o 3º cenário obteve-se uma média da razão água/lixo real de 1,90 m³/ton. Esta foi inferior ao obtido no 2º cenário, tendo o processo operado de forma normal sem ocorrência de entupimentos durante este período.

Devido aos bons resultados obtidos durante o 3º cenário, este teve um período mais curto, tendo-se experimentado um 4º cenário no processo ainda no dia 13 de maio após a campanha de monitorização realizada, prolongando-se até ao dia 27 de maio.

O 4º cenário consistiu numa nova redução da razão água/FORSU no *pulper* para 1,8 m³/ton, mantendo-se o corte de entrada de água ponto E2 e a redução em 10% da água bombeada para o interior do *pulper*. Foram realizadas cinco campanhas de amostragem durante este período, tendo-se obtido resultados para o teor médio de ST na suspensão ao longo do processo em muito semelhantes aos obtidos no 3º cenário. Apenas no ponto P3 se verificou uma subida do teor médio de ST, consequência da redução da razão água/FORSU no

pulper, e no ponto P14 uma diminuição do teor médio ST que poderá ser consequência de um rendimento superior do HC2.

Nos pesados o teor médio de ST comportou-se de forma similar ao registado durante o 3º cenário. As variações mais significativas foram no ponto P6, local onde se verificou uma diminuição do teor médio de ST, e nos pontos P8 e P13, onde se verificou uma subida do mesmo.

No 4º cenário obteve-se uma razão real água/FORSU de 1,80 m³/ton, igual à razão programada no SCADA. No dia 19 de maio o processo teve alguns entupimentos nos equipamentos, nomeadamente HC1, sendo necessária uma adição de água no DS superior ao ocorrido anteriormente, por forma a se proceder ao seu desentupimento. Os resultados da campanha de monitorização realizada no dia 20 de maio refletiram esta adição de água, notando-se uma diminuição do teor de ST no processo a partir do ponto P10 (*vide* Anexo IV).

Durante o período em que foi experimentado o 4º cenário, foram ainda adicionados no tanque de água do processo lixiviados do aterro sanitário de apoio, nos dias 12, 14 e 15 de maio. Esta adição de lixiviado foi realizada com o intuito de se potencializar a DA, contudo observou-se uma inibição significativa na produção de biogás, o que levou ao seu cessamento.

O 5º cenário foi o último experimentado no processo tendo-se mantido todas as reduções realizadas nos cenários anteriores, à exceção da razão água/FORSU, que foi reduzida para 1,6 m³/ton. Para caracterizar este cenário apenas foi possível realizar uma campanha de amostragem, utilizando-se os resultados desta para comparar os resultados dos cenários anteriores.

Como se pode observar no gráfico da Figura 8-20 com a redução da razão água/FORSU observou-se um aumento bastante significativo do teor de ST na suspensão no ponto P3, comparativamente aos três cenários anteriores a este. Observando-se, no entanto a mesma tendência do cenário 0 e do 1º cenário de uma queda significativa de ST entre este ponto e o P10.

Houve ainda uma diminuição mais expressiva do teor de ST do ponto P10 para o P12 que nos cenários anteriores. Isto pode não ser necessariamente uma tendência uma vez que só estão a ser tidos em conta dados de uma campanha, tanto que se verifica um aumento do

teor de ST nos pontos P14 e P15 relativamente ao ponto P12, sendo os valores obtidos para ambos bastante similares.

Relativamente ao teor de ST nos pesados e nos leves removidos durante o TMH, os valores são muito similares aos obtidos para o cenário anterior. Contudo no ponto P2 obteve-se um valor bastante inferior relativamente aos anteriores três cenários, mas similar ao 1º cenário e ao cenário 0, sendo este um resultado muito positivo.

A média da razão água/FORSU obtida para o dia da campanha de monitorização foi de 1,63 m³/ton, não se tendo verificado entupimentos no processo desde o início desta redução de água no mesmo até à conclusão do presente trabalho.

Este cenário foi mantido pela ERSUC após a conclusão deste trabalho, e de acordo com informações fornecidas pela empresa, o processo funcionou bastante bem nas condições estabelecidas para este cenário.

8.2.1 Conclusões

Dos 5 cenários experimentados no processo, conclui-se que o 1º cenário foi o que menos surtiu efeito no teor de ST na suspensão no decorrer do processo, muito devido à redução realizada ser pouco significativa para o processo.

No 2º cenário embora se tenha verificado um teor de ST inferior ao cenário 0 e ao 1º cenário, no decorrer do TMH da suspensão não houve uma variação do teor de ST tão significativa, tendo-se observado no ponto P15 um teor de ST similar ao observado nos dois cenários anteriores.

Com o 3º cenário, observou-se um aumento do teor de ST na suspensão ao longo do TMH da mesma comparativamente ao 2º cenário, à exceção do ponto P15. Verificou-se ainda a mesma tendência de uma variação pouco significativa do teor em ST no decorrer do processo observada no cenário anterior.

No 4º cenário a suspensão teve um comportamento muito similar ao verificado no 3º cenário, tendo-se apenas verificado um aumento do teor de ST no ponto P3.

Para o 5º cenário observou-se um aumento do teor de ST no ponto P3 para valores similares ao cenário 0 e ao 1º cenário, verificando-se também a mesma tendência observadas para estes dois cenários, de uma perda/diluição do teor de ST entre os pontos P3 e P10, observaram-se contudo, valores similares ao 4º cenário nos pontos P14 e P15.

A eliminação da entrada de água no fundo do *pulper*, que tem como consequência um aumento de ST nos pesados aí removidos, pode futuramente ter como efeito negativo num maior desgaste da maquinaria de remoção dos pesados e a existência de entupimentos dos resíduos neste local, assim como um aumento da quantidade de ST que seguem para aterro sem passarem pelo tratamento biológico e serem devidamente estabilizados.

Para uma monitorização diária do processo, após a realização do presente trabalho, conclui-se que é suficiente a monitorização dos pontos P3, P10 e P14, otimizar o controlo das entradas de água ao longo do processo.

Para um próximo passo na redução do consumo de água no TMH sugere-se a redução da entrada de água no ponto E3, pois é entre o ponto P3 e P10 que se verifica uma maior queda no teor de ST na suspensão, o que se acredita não ser apenas consequência da remoção de pesados e leves entre estes dois pontos, mas também de uma adição excessiva de água no fundo do DS.

9. Impacto da redução do consumo de água nos Digestores Anaeróbios e outras intervenções

Neste capítulo são analisados os possíveis impactos que a redução do consumo de água no TMH poderá ter tido na DA. Para o efeito, para além da recolha bibliográfica de critérios de conceção e operação deste tipo de digestores, foram analisados os parâmetros de conceção e operação dos digestores anaeróbios e os dados de controlo recolhidos da sua operação, antes e após a redução da hidratação da suspensão afluyente (valores fornecidos pela ERSUC), permitindo assim efetuar uma análise comparativa sistematizada.

Os critérios e os dados de operação e controlo fornecidos pela ERSUC, durante o período em que decorreu o presente estágio, encontram-se no Anexo V.

Para a realização do estudo do impacto da redução de água no processo de DA foram considerados dois períodos:

1. Janeiro a fevereiro de 2014. Neste período realizou-se a caracterização do TMH, estando esta com níveis elevados de hidratação (superiores a 90%)
2. Março a maio de 2014. Período em que se verificaram as reduções do consumo de água no TMH.

O primeiro período de tempo é assim uma caracterização da situação de referência, prévia às modificações inerentes ao presente estudo, cujo efeito é avaliado no segundo período.

Importa referir que entre o primeiro e o segundo período, para além da redução do consumo de água, outras intervenções de operação-manutenção foram realizadas nos digestores, com benefícios evidentes para a sua eficiência:

- Melhorias na agitação dos digestores, permitindo uma melhor homogeneização e aumento do contacto entre bactérias e substrato.
- Melhoria no sistema de aquecimento, aumentando a temperatura, contribuindo para um ecossistema bacteriano mais metanogénico.
- Aumento do volume da suspensão afluyente, o que permite reduzir os TRH e TRC a níveis mais ajustados, próximos do TRH de projeto e dos TRC mínimos, não sendo contudo

inferiores. O que permite uma população rejuvenescida, com taxas de crescimento, consumo de substrato e produção de biogás mais elevadas e equilibradas.

Entre o primeiro e o segundo período, foram ainda realizadas outras intervenções ao nível do TMH, contudo estas não tiveram efeito nas características da suspensão. Por exemplo, a percentagem de MO (aqui avaliada pela relação média SV/ST) manteve-se idêntica.

Para monitorizar a operação do digestor os parâmetros considerados foram o TRH (sendo o TRC idêntico a este), a temperatura e o pH. Para avaliar a eficiência do digestor foi considerada a percentagem de degradação do substrato (em termos de matéria orgânica), dada pelo quociente entre o teor de SV do produto digerido e o teor de SV à saída do TP, a produção diária de biogás e a produção de biogás por Kg de FORSU processada. Este parâmetro pode ser entendido como rendimento de produção de biogás ou produtividade. Foi ainda avaliada a produção de energia elétrica.

Para o TRH de cada digestor apenas foram considerados os valores obtidos para os dias em que a alimentação foi superior a 50 m³ de suspensão. Para um volume de alimentação inferior, os TRH são aparentemente muito elevados, estão contudo muito desfasados do valor médio efetivo, atendendo aos caudais médios diários bem superiores a 50m³/d.

Na estimativa do TRH e sua incidência na operação no digestor anaeróbio há a considerar um problema que o afeta. Durante períodos em que a agitação dos digestores não funcionou devidamente, foram-se sedimentando e acumulando no seu interior uma quantidade significativa de inertes. Refira-se que a sua estimativa fiável é muito difícil. Problemas operacionais no TMH durante a fase de arranque da unidade industrial, ao nível de uma menor eficiência de remoção de areias e outros resíduos inertes densos na suspensão, terão também contribuído para este problema.

Um sintoma evidente desta acumulação de materiais inertes é o constante entupimento dos permutadores de calor (que aquecem a mistura dos digestores), sendo necessário proceder periodicamente ao seu desmantelamento e limpeza.

9.1 Operação da DA prévia à redução do consumo de água

O gráfico da Figura 9-1 apresenta os valores do TRH para ambos os digestores durante o 1º período de caracterização do processo.

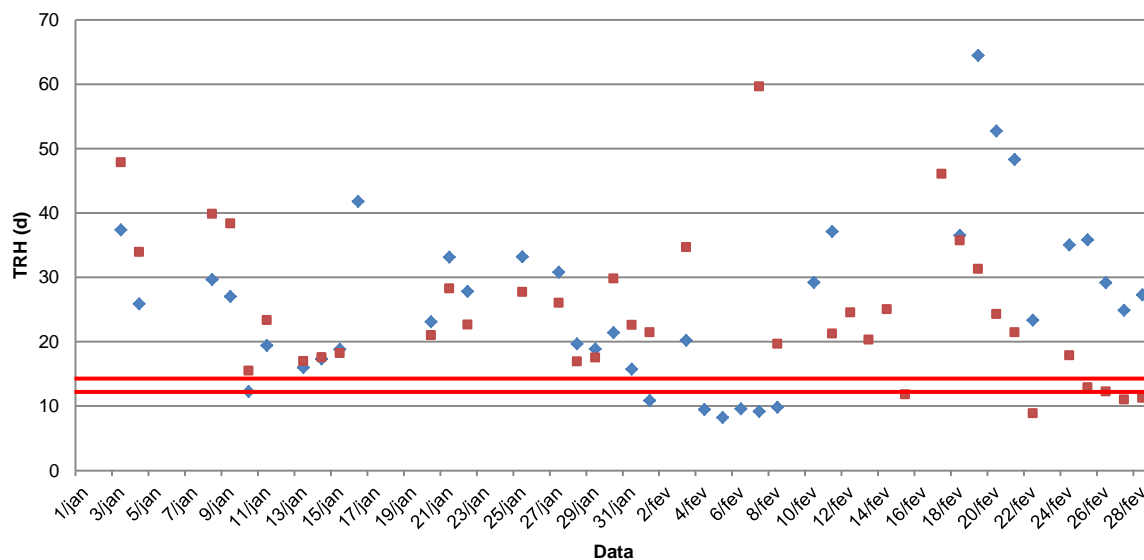


Figura 9-1 Variação do TRH nos digestores 1 e 2 para o 1º período

Legenda: ◆ Variação diária do TRH no DG1; ■ Variação diária do TRH no DG2 ; — Domínio de variação do TRH de acordo com os critérios de projeto dos digestores

No gráfico anterior são patentes valores similares entre os digestores, apresentando estes uma variação muito significativa, derivada da alimentação irregular realizada no período considerado.

Em termos médios os valores de TRH nos digestores foram de 26 dias para o DG1 e de 25 dias para o D2, sendo os valores mínimos e máximos obtidos de 8 e 64 dias para o DG1, e 9 e 60 dias para o DG2. Como tal, constata-se que na grande maioria dos dias o TRH verificado para ambos os digestores se encontrou acima dos critérios de projeto de 14 - 16 dias. Estes valores elevados de TRH, implicam TRC similarmente significativos, aumentando a idade da biomassa, baixando a renovação celular o que implica um metabolismo biológico relativo mais reduzido, diminuindo o consumo de substrato e – qualitativa e quantitativamente - a produção de biogás.

Como referido no subcapítulo 5.2.2., os digestores estão dimensionados para operar numa gama de temperaturas mesófilas entre os 37 e os 40 °C, o que, como se pode verificar pelo gráfico da Figura 9-2 não se verificou em nenhum dos digestores durante o 1º período.

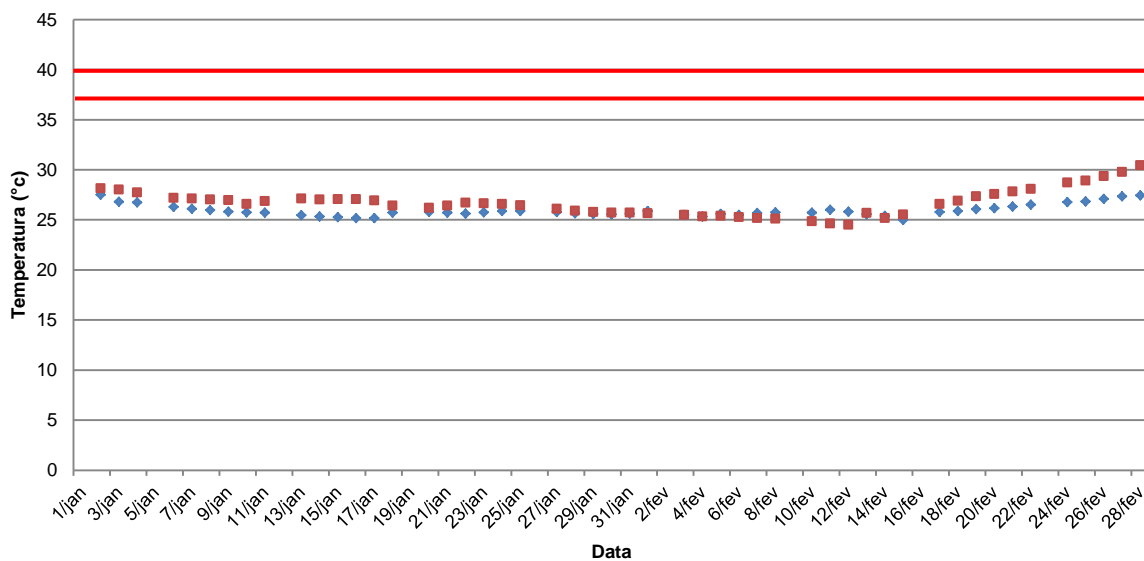


Figura 9-2 Variação da temperatura média nos digestores 1 e 2 para o 1º período

Legenda: ◆ Temperatura média diária DG1; ■ Temperatura média diária DG2; — Domínio de variação da temperatura de acordo com os critérios de projeto dos digestores

As temperaturas médias obtidas para o 1º período foram de 26 °C para o DG1 e 27 °C para o DG2, com uma variação entre 25 °C e 27 °C e 25 °C e 30 °C, respetivamente. Como se pode observar pelo gráfico, durante este período as temperaturas nos digestores foram inferiores às temperaturas de projeto.

As temperaturas observadas deveram-se a sucessivas paragens da recirculação da suspensão dos digestores. Entre os dias 24 de janeiro e 12 de fevereiro ocorreu uma paragem completa no aquecimento da suspensão nos permutadores de calor.

Por outro lado, contribuindo igualmente para a menor temperatura nos digestores, deve-se também salientar a redução da temperatura ambiente verificada durante os meses de janeiro e fevereiro.

A ocorrência destas temperaturas reduzidas pode implicar a eliminação de algumas estripes de bactérias no interior do digestor, assim como à redução da atividade metabólica de outras.

A temperatura é um fator muito influente na eficiência do processo de DA, uma pequena variação da mesma num curto espaço de tempo, mesmo de apenas alguns graus, afeta globalmente toda a atividade biológica (Gonçalves, 2008).

O gráfico da Figura 9-3 apresenta a taxa de crescimento das bactérias metanogénicas psicrófilas, mesófilas e termófilas em função da temperatura.

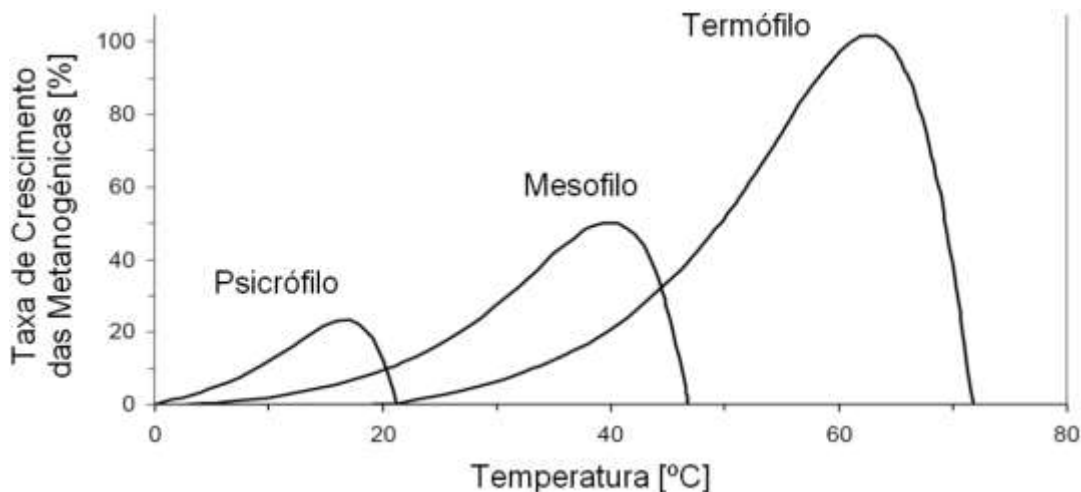


Figura 9-3 Taxa de crescimento das bactérias metanogénicas psicrófilas, mesófilas e termófilas em função da temperatura (Fonte: Gonçalves, 2008)

De acordo com o gráfico da Figura 9-3, para a temperatura média de 26 °C obtida no DG1 a taxa de crescimento das bactérias metanogénicas termófilas é de cerca de 2 a 3%, e de aproximadamente 20% para bactérias metanogénicas mesófilas.

Para a temperatura média de 27 °C verificada no DG2, a taxa de crescimento bacteriano para bactérias metanogénicas termófilas e mesófilas é ligeiramente superior relativamente ao DG1.

No gráfico da Figura 9-2, a partir do dia 14 de fevereiro, data em que a recirculação já se encontravam normalizada, é possível observar-se um aumento gradual da temperatura em ambos os digestores.

De facto, contrariamente ao caudal de entrada e suas implicações no TRH e eficiência do processo, a temperatura é um parâmetro controlável, devendo ser dada muita relevância à boa operação e manutenção dos equipamentos de que depende.

A paragem da recirculação dos digestores trás não só consequências para a temperatura interior como também uma diminuição da homogeneidade da suspensão no interior, contribuindo decisivamente para a sua eficiência. O que, para além de em termos cinéticos não favorecer o contacto da biomassa com o substrato, favorece a sedimentação-

acumulação de materiais inertes e de aglomerados de biomassa ativa no interior do digestor (Gonçalves, 2008).

O gráfico da Figura 9-4 apresenta a variação diária do pH no interior dos digestores durante o 1º período. Durante este o pH médio observado no DG1 foi de 7,6, com uma variação entre 7,3 e 7,9, enquanto o pH médio obtido no DG2 foi de 7,7, tendo-se observado uma variação do pH entre os 7,6 e 7,9.

É de se referir que o grande volume dos digestores (5000 m³) associado a entradas reduzidas de caudal como se verificou no período em análise, tem um efeito homogeneizante, atenuando variações que possam ocorrer ao nível do pH.

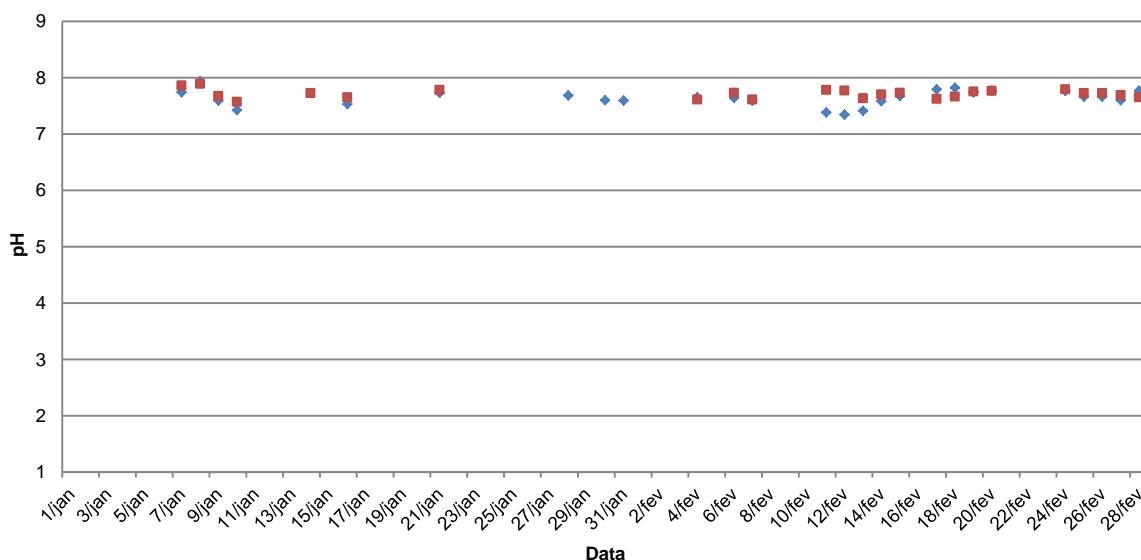


Figura 9-4 Variação do pH nos digestores 1 e 2 para o 1º período

Legenda: ◆ pH diário do DG1; ■ pH diário no DG2

De acordo com Gonçalves (2008), para tecnologias em que o processo de DA se realiza num único digestor, a DA dá-se numa gama ideal de pH entre os 6,0 a 8,0, e numa gama ótima de pH entre os 6,8 e os 7,2.

Como tal, e uma vez que para além da estabilização dos resíduos, um dos principais interesses da DA é a produção de biogás, os valores de pH observados durante este período são bastante bons. Embora os valores de pH no DG1 sejam ligeiramente superiores relativamente ao DG2, esta diferença é pouco significativa.

Ainda assim, considerando a reduzida divergência dos valores de pH face aos valores ideais, os valores de pH verificado parecem não ser causa ou efeito relevante n/da operação dos digestores em estudo.

Seguidamente é realizada uma análise à eficiência de remoção do substrato nos digestores. Para este critério de controlo, considerou-se a redução ao nível dos SV. Para processos biológicos como aqueles que ocorrem num digestor anaeróbio, este parâmetro é diretamente proporcional à MO. Sendo esta o substrato consumido no processo de DA.

O gráfico da Figura 9-5 apresenta os resultados obtidos para a eficiência de remoção do substrato para ambos os digestores.

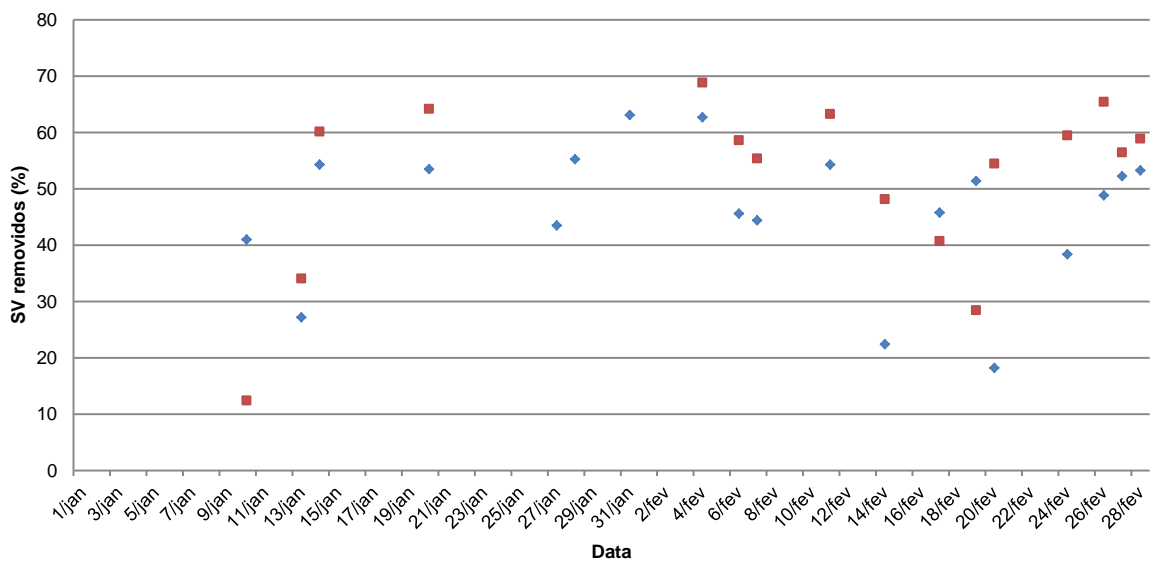


Figura 9-5 Eficiência de remoção do substrato nos digestores 1 e 2 para o 1º período
Legenda: ◆ % de remoção de SV DG1; ■ % de remoção de SV DG2

Como se pode observar pelo gráfico, a eficiência de remoção em ambos os digestores apresenta valores muito variáveis. Sendo que o DG1 apresenta de uma forma geral uma eficiência de remoção inferior ao DG2 durante o 1º período, com uma média percentual de 46%, e uma variação de valores entre os 18% e 63%. Por sua vez, o DG2 obteve uma média de 52% de eficiência de remoção, com uma variação dos valores a rondar os 12% e 69%.

Estes resultados, comparativamente aos observados para a eficiência de remoção do substrato de um caso de estudo da *Valorliz*, central em tudo muito semelhante à da ERSUC, e com problemas em muito semelhantes aos observados no processo em estudo, nomeadamente com variações na alimentação nos seus dois digestores, e com períodos de tempo sem alimentação dos mesmos. Foi observada uma taxa de remoção de substrato de

50%, valor semelhante aos valores médios observados nos digestores da ERSUC (Rita, n.d.).

Atendendo à variabilidade do caudal de alimentação e à decorrente variabilidade do TRH a estimativa da percentagem de remoção de SV – considerando amostras à entrada e saída do digestor – não é muito fiável.

O gráfico da Figura 9-6 apresenta os valores diários obtidos para a produção de biogás por cada tonelada de FORSU processada, tendo-se obtido para o 1º período um valor médio diário de 94 m³/ton, sendo que os valores variaram entre 377 e 28 m³/ton durante este período.

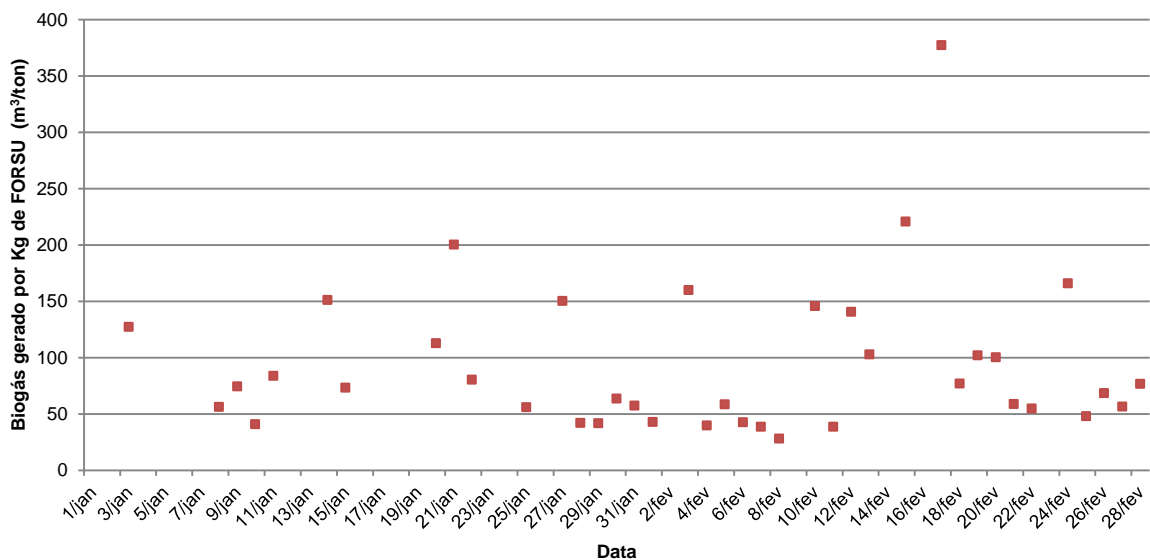


Figura 9-6 Biogás gerado por tonelada de FORSU no 1º Período

A Figura 9-7 apresenta o gráfico dos valores diários de produção de biogás e de energia elétrica.

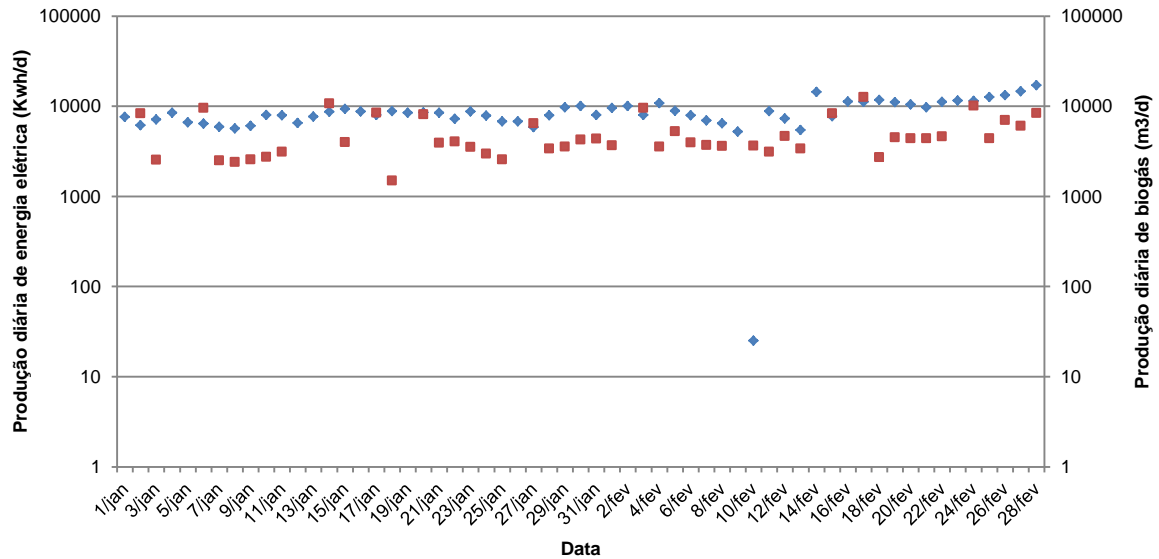


Figura 9-7 Produção diária de energia elétrica e biogás no 1º Período

Legenda: ◆ Produção diária de energia elétrica; ■ Produção diária de biogás

A média diária de produção de biogás no 1º período foi de 5 036 m³, com uma variação de valores entre os 1 503 m³ e 12 688 m³. A produção média diária de energia elétrica para este mesmo período foi de 8 705 kwh, tendo variado entre 25 kwh e 17 166 kwh.

Como tal, durante este período, para se produzir 1kwh de eletricidade foram consumidos cerca de 1,7m³ de biogás.

9.2 Operação da DA após redução do consumo de água e outras intervenções

No 2º período considerado neste estudo, em que foram reduzidos os consumos de água no TMH (*vide* Capítulo 8), importa ainda referir que, entre os dias 26 de março e 7 de abril, este esteve sem funcionar, não sendo possível o processamento da suspensão para alimentar os digestores.

Entre o 1º e o 2º período, na sequência de importantes operações de manutenção e requalificação de operações (de separação de inertes) a montante e nos digestores, o volume de suspensão afluente aumentou significativamente. Entre outros efeitos, como é patente na Figura 9-8 o TRH diminuiu muito.

Deve-se salientar que este 2º período, corresponderá em parte a um rearranque da operação do digestor anaeróbio, o que terá algumas consequências, incluindo na biomassa e respetiva atividade metabólica do processo de DA.

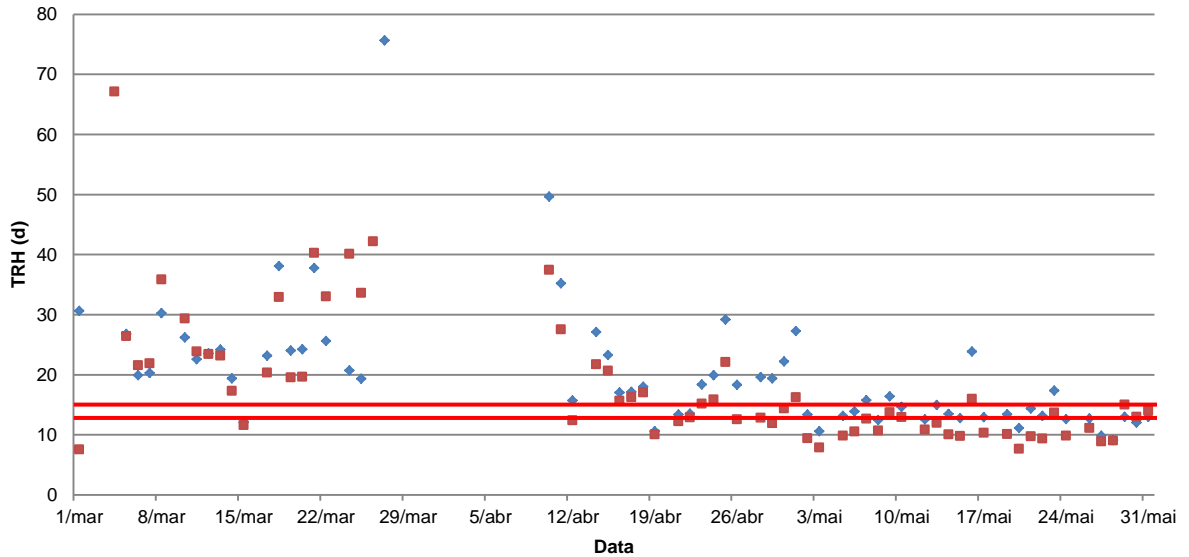


Figura 9-8 Variação do TRH nos digestores 1 e 2 para o 2º período

Legenda: ◆ Variação diária do TRH no DG1; ■ Variação diária do TRH no DG2; — Domínio de variação do TRH de acordo com os critérios de projeto dos digestores

O TRH para o 2º período variou entre 9 e 76 dias para o DG1 e entre 8 e 67 dias no DG2, sendo a média do TRH neste período de 20 dias para o DG1 e de 18 dias para o DG2. Embora estes valores se encontrem bastante acima do TRH de dimensionamento dos digestores (14–16 dias). Para além da redução do TRH é bem patente uma menor variação neste período.

Como se pode observar no gráfico da Figura 9-9 as temperaturas nos digestores durante o 2º período foram superiores às verificadas no 1º período, sendo em média no DG1 de 30 °C e de 32 °C no DG2, com variações de temperatura para o DG1 e DG2 entre 27 °C e 33 °C e 30 °C e 34 °C, respetivamente. Este aumento significativo de temperaturas nos digestores deve-se à melhoria da recirculação da suspensão nos permutadores de calor, tendo-se verificado menos paragens (e durante períodos de tempo mais curtos) neste período.

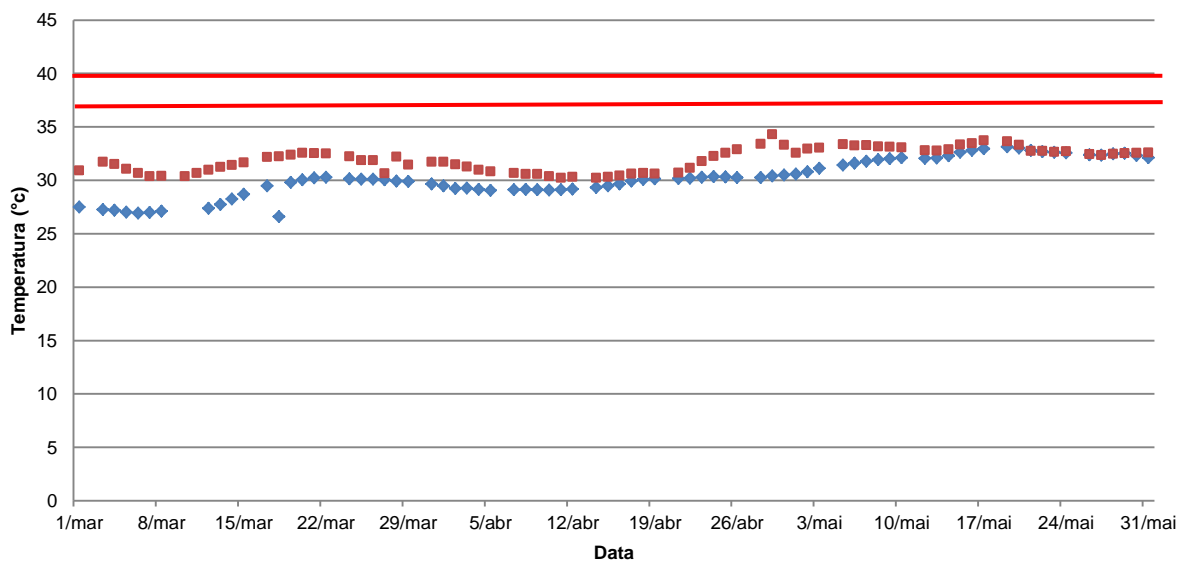


Figura 9-9 Variação da temperatura média nos digestores 1 e 2 para o 2º período

Legenda: ◆ Temperatura média diária DG1; ■ Temperatura média diária DG2; — Domínio de variação da temperatura de acordo com os critérios de projeto dos digestores

O aumento da temperatura nos digestores, mesmo que em apenas alguns graus, leva a um aumento significativo da taxa de crescimento das bactérias metanogénicas no interior dos digestores, e em consequência da produção de biogás (*vide* gráfico Figura 9-3).

Como tal, a taxa de crescimento das bactérias metanogénicas mesófilas e termófilas é superior relativamente ao 1º período, e como tal também a produção de biogás.

O gráfico da Figura 9-10 apresenta os resultados da variação do pH no 2º período. Neste período observou-se um pH médio para ambos os digestores de 8,0, tendo este variado no DG1 entre os 7,6 e os 8,2, e no DG2 entre os 7,7 e os 8,2.

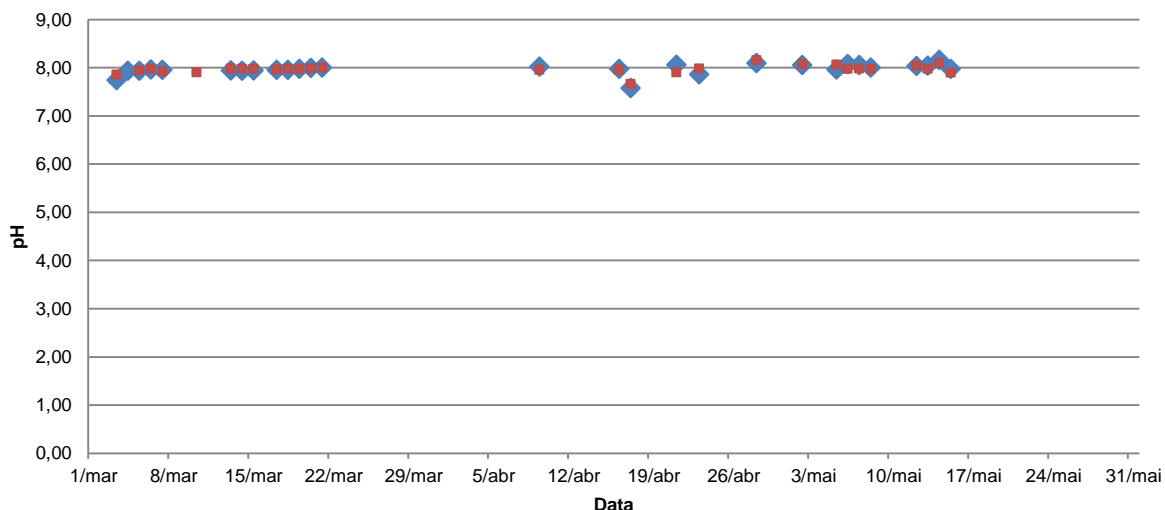


Figura 9-10 Variação do pH nos digestores 1 e 2 para o 2º período

Legenda: ◆ pH diário do DG1; ■ pH diário no DG2

O valor médio observado para o pH durante o 2º período é assim um pouco superior para ambos os digestores relativamente ao 1º período.

No 1º período, o valor de pH mais reduzido poderá decorrer da menor eficiência biológica do processo de DA, com uma maior retenção dos produtos da fase intermédia acidogénica (ácido acético e outros).

O gráfico da Figura 9-11 apresenta a variação dos valores da eficiência de degradação do substrato durante o 2º período.

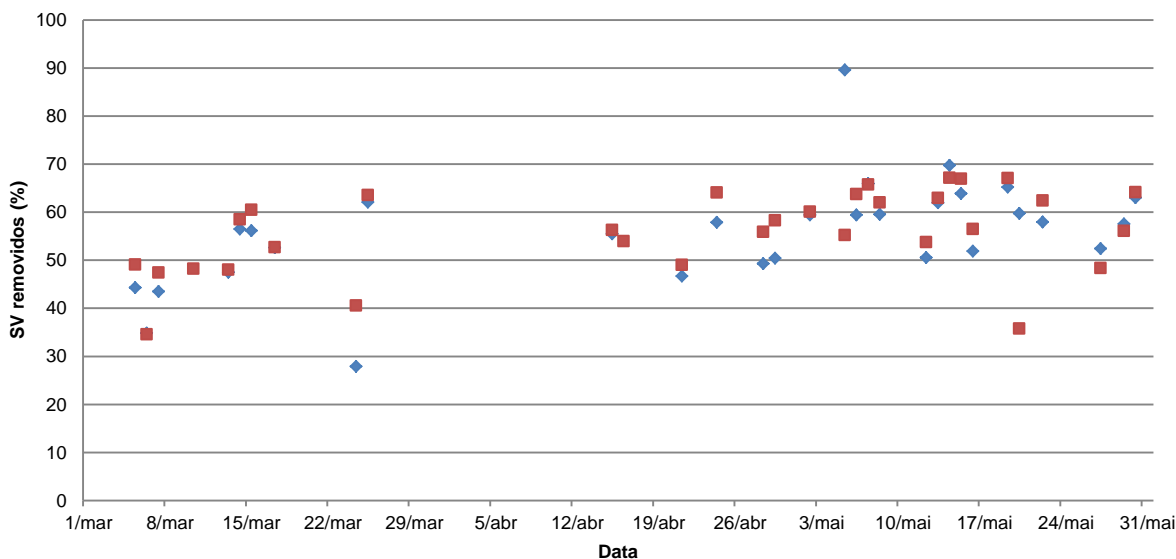


Figura 9-11 Eficiência de degradação do substrato nos digestores 1 e 2 para o 1º período

Legenda: ◆ % de remoção de SV DG1; ■ % de remoção de SV DG2

Neste 2º período de estudo, a eficiência de remoção do substrato foi em média de 56% para ambos os digestores, tendo os valores variado no DG1 entre 28% e 90% e no DG2 entre 35% e 67%.

Em termos médios a eficiência de degradação do substrato aumentou em ambos os digestores quando comparado com os valores do 1º período.

O gráfico da Figura 9-12 apresenta a variação diária da produção de biogás por cada tonelada de FORSU processada.

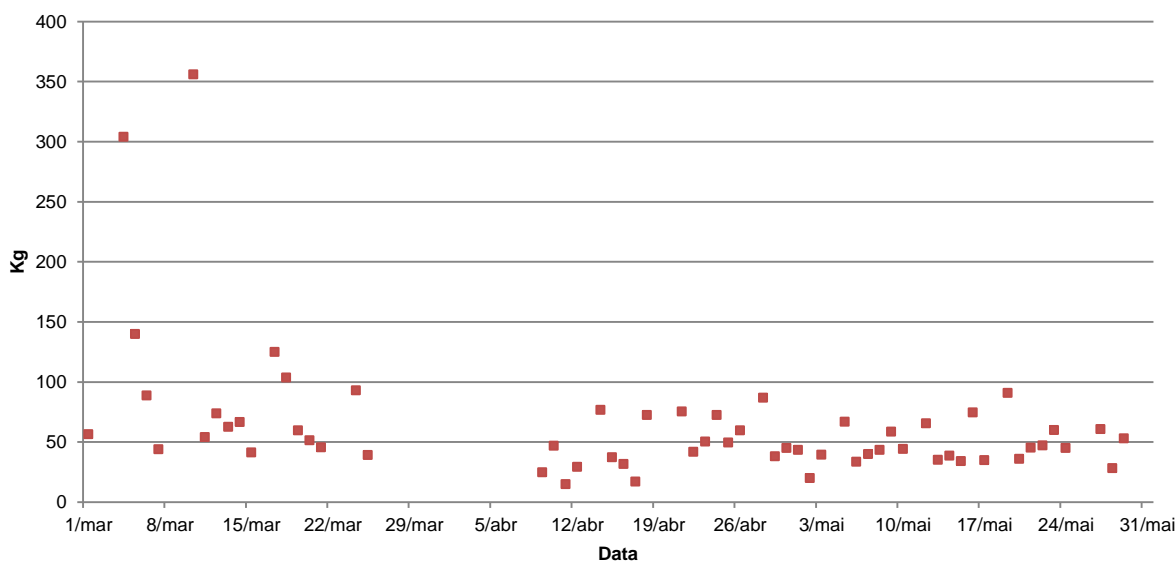


Figura 9-12 Biogás gerado por Kg de FORSU no 2º Período

No 2º período a produção de biogás por cada tonelada de FORSU processada tem um valor médio diário de 63 m³/ton, sendo que os valores variam entre 15 e 356 m³/ton. Este valor é mais reduzido que o verificado no 1º período, verificando-se assim uma menor produtividade na produção de biogás, sendo necessário processar-se mais FORSU para se gerar 1 m³ de biogás.

A média diária de produção de biogás no 2º período (Figura 9-13) foi de 6 295 m³, com uma variação de valores entre os 503 m³ e 17 354 m³, média a qual superior à verificada no 1º período. A produção média diária de energia elétrica para este mesmo período (Figura 9-13) foi de 12 248 kwh, tendo variado entre 511 kwh e 24 582 kwh.

Como tal, verifica-se que para este 2º período para a produção de 1Kwh de eletricidade foram consumidos cerca de 1,9 m³ de biogás. Tal, significa que embora haja um aumento na

produção de biogás em termos quantitativos, em termos qualitativos houve uma diminuição relativamente ao 1º período.

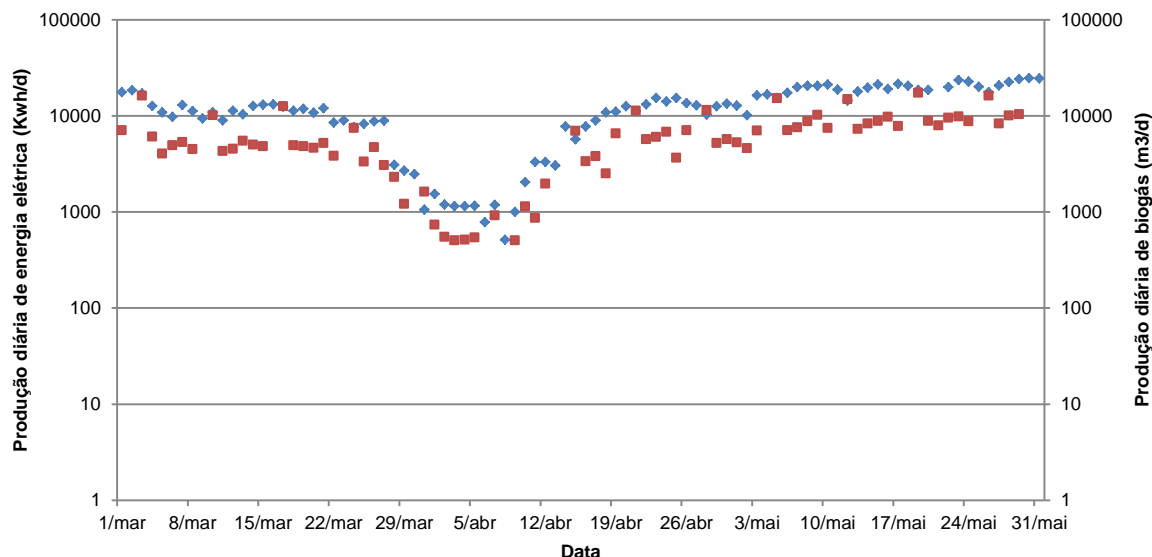


Figura 9-13 Produção diária de energia elétrica e biogás no 2º Período

Legenda: ◆ Produção diária de energia elétrica; ■ Produção diária de biogás

9.3 Benefícios da redução do consumo de água e mudanças operacionais nos digestores anaeróbios

Da análise dos gráficos anteriores, conclui-se que neste 2º período o processo de DA decorreu mais adequadamente, com níveis de eficiência muito mais significativos.

Numa análise de sensibilidade qualitativa, poder-se-ia afirmar que a eficiência dos digestores anaeróbios é muito mais sensível (beneficiou muito mais) com estas mudanças operacionais do que com a redução de consumo de água que ocorreu paralelamente.

A diminuição do consumo de água, implicando um grau de hidratação inferior dos resíduos não terá contribuído decisivamente para esta melhoria verificada na operação dos digestores anaeróbios. Antes pelo contrário, pode contribuir para uma ligeira diminuição do metabolismo bacteriano.

Porém, independentemente das vantagens em termos da diminuição do consumo de água, ao nível da estabilidade de operação e metabolismo bacteriano, esta redução da água e do volume da suspensão, para a mesma entrada de FORSU, vai permitir que o volume seja menor, sendo menos provável um TRH inferior ao TRC mínimo.

10. Desenvolvimentos Futuros

Com a realização do estágio curricular, e durante a elaboração do presente relatório de estágio foi possível compreender de uma forma mais sólida e os mecanismos que envolvem todo o processo da DA de uma forma real à escala industrial. Durante o estágio realizado surgiram ideias que poderão ser aplicadas futuramente e assim obter melhores resultados no processo industrial da DA da FORSU.

- Estudo do melhoramento de lavagem dos pesados, por forma a ser realizada uma recuperação mais eficiente dos ST para o pré-tratamento
- Estudo mais aprofundado da possível integração de lixiviados de aterro na água utilizada no TMH para a hidratação da FORSU
- Estudo do reaproveitamento dos pesados removidos pelo CRH, uma vez que estes apresentam uma elevada carga orgânica.

11. Atividades Desenvolvidas Durante o Estágio

Paralelamente à realização do estudo desenvolvido durante o presente estágio, foram ainda realizadas atividades que contribuíram para o desenvolvimento de aptidões técnicas na área da engenharia, para além das diretamente relacionadas com o trabalho desenvolvido para o estágio, assim como o acompanhamento das atividades diárias da Unidade de TMB e os problemas com que esta se depara diariamente. Das atividades desenvolvidas e do acompanhamento realizado, salientam-se os seguintes como os mais relevantes:

- Colaboração e seguimento diário da monitorização da ETARI existente na Central;
- Acompanhamento de auditorias externas;
- Acompanhamento das atividades diárias desenvolvidas na Empresa, assim como dos problemas diários existentes na mesma;
- Planeamento e realização da monitorização do processo industrial do pré-tratamento húmido da DA da FORSU;
- Coordenação de uma equipa de dois a três elementos na recolha de amostras necessárias para a realização da componente de investigação do estágio, assim como na elaboração de material necessário para a sua realização;
- Acompanhamento de alterações estruturais nos digestores anaeróbios, nomeadamente a da realização de orifícios na parte inferior dos digestores, para possibilitar a purga de inertes acumulados dentro dos digestores.

12. Conclusão

Com a realização do presente relatório de estágio, e do estágio que lhe deu origem, foi possível não só a aplicação de conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado em Tecnologias Ambientais, como também a aquisição de novos conhecimentos na área da engenharia e o aprofundamento de outros.

Salienta-se o facto da otimização dos consumos de água no processo de DA possibilitar uma melhoria da gestão dos consumos de água da ERSUC, traduzindo-se numa redução dos encargos financeiros da empresa com o consumo de água, e com a emissão de efluente para o emissário coletor de água residual municipal.

O objetivo principal do estágio realizado foi a redução dos consumos de água no TMH, o que foi conseguido com sucesso. Para a realização do estudo foi necessária a determinação das entradas e saídas existentes no processo, e a realização de uma série análises físico-químicas no mesmo de forma a realizar-se a caracterização da situação de referência do TMH. Com os dados obtidos foram realizados três BM ao processo, um BM à água do processo, um BM aos ST do processo e um BM global.

Na análise realizada à situação de referência do TMH, verificou-se que o *pulper* se encontrava a trabalhar, na maioria das vezes, com um teor de ST abaixo da sua capacidade. E que a maior redução do teor de ST na suspensão verificava-se, na sua maioria, entre o pronto P3 e P10.

Com a realização dos BMs ao TMH verificou-se que para tratar 21,8 Kg de FORSU são consumidos 78,2 Kg de água. E que o local com o consumo de água mais elevado é a água adicionada no *pulper* para dissolução da FORSU para a obtenção do teor de ST desejado, correspondendo a 70,7% da água total do processo. Com a realização do TMH, verificou-se que 49,5% dos ST do processo são removidos junto com os pesados e os leves removidos no TMH.

Durante a redução do consumo de água no TMH, dos 5 cenários experimentados no processo, conclui-se que o 1º cenário foi o que menos surtiu efeito no teor de ST na suspensão no decorrer do processo, muito devido à redução realizada ser pouco significativa para o processo. O cenário onde se conseguiu a maior redução de água foi o 5º cenário, com uma razão água/FORSU no *pulper* de 1,6 m³/ton.

Na sequência do trabalho desenvolvido para a redução dos consumos de água do TMH, foi ainda realizada uma análise do impacto desta nos digestores anaeróbios, assim como de outras intervenções realizadas aos mesmos durante o período de estágio.

No 2º período considerado na análise aos impactos da redução do consumo de água no TMH, e das intervenções realizadas paralelamente a este, ao nível dos digestores, estes encontram-se numa fase de rearranque do processo biológico, concluindo-se que as mudanças operacionais terão tido um maior contributo para a eficiência dos digestores anaeróbios do que a redução de consumo de água que ocorreu paralelamente.

Salienta-se ainda que o 2º período, corresponde em parte, a um rearranque da operação dos digestores anaeróbios, o que terá algumas consequências, incluindo na biomassa e respetiva atividade metabólica do processo de DA.

Paralelamente ao trabalho desenvolvido, foram elaborados dois modelos para a realização do tratamento de dados obtidos nas campanhas de amostragem, assim como dos dados de operação dos digestores. Estes dois modelos permitem registar, tratar e gerir os dados relativos aos BMs do TMH.

Com a utilização destes modelos, pode-se obter rapidamente um BM global, à água e aos ST do processo, bastando ao operador introduzir as variáveis verificadas no processo.

O estágio curricular realizado na ERSUC proporcionou um primeiro contacto com o mercado de trabalho e o ambiente profissional, tendo sido numa experiência enriquecedora e uma preparação para o futuro, em ambos os níveis profissional e pessoal.

Referências

APHA, AWWA, WEF, (2005). *Standard methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.). American Public Health Association, Washington, D.C

Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J., Dewil, R. (2008). Principles and potencial of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress. Energy and Combustion Science*, 34, 755 - 781. Recuperado de <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/224773/1/paper.pdf>

Aquim, P. (2004). *Balanço de Massa: uma ferramenta para otimizar os processos de ribeira e curtimento*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federam do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química. Recuperado de <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5049/000464394.pdf?sequence=1>

Azeitona, D. (2012). Efeitos de Pré-tratamentos Térmicos na Digestão Anaeróbia Termófila de Resíduos de Casca de Batata. (Tese de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Recuperado de http://run.unl.pt/bitstream/10362/8521/1/Azeitona_2012.pdf

Bolzonella, D., Pavan P., Mace S., Cecchi F. (2006). Dry anaerobic digestion of differently sorted organic municipal solid waste: a full-scale experience. *Water Science & Technology*, 53 (8), 23-32. Recuperado de <http://www.univr.it/documenti/ArticoloRivista/allegato/allegato045969.pdf>

Carlsson, M., Lagerkvist, A., Morgan-Sagastume, F. (2012). The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: A review. *Waste Manag*, 32 (9), 1634-50. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22633466>

Cesaro, A., Belgiorno, V. (2013). Pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions. *Chemical Engineering Journal*, 240, 24-37. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713015325>

Delgenès J., Penaud V., Moletta R. (2002). Pretreatments for the enhancement of anaerobic digestion of solid wastes. In J. Mata-Alvarez (Ed.) *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. London:IWA.

ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro, S.A.. (2013). *Manual de acolhimento: Revisão C* (nº ER12-12). Coimbra: Autor.

Ferreira, V. (2010). *Contribuição para o estudo da modelação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos: Estudo da influência da geometria do reator da cinética do processo*. Lisboa: Edições Colibri. ISBN 978-989-689-052-0.

Garcia, J. (2011). *Análise de sustentabilidade de sistemas de digestão anaeróbia*. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial. Recuperado de <http://ria.ua.pt/handle/10773/8238>

Gonçalves, Celso (2012). *Modelação do processo de digestão anaeróbia da FORSU à escala industrial*. (Dissertação de Mestrado) Instituto Superior Técnico de Lisboa Recuperado de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144989026/Tese%20de%20Mestrado.pdf>

Khalid, A., Arshad M., Anjum M., Mahmood T., Dawson L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31, 1737-1744. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11001668>

Labatut, R. & Gooch, C., (n.d.). *Monitoring of anaerobic digestion process to optimize performance and prevent system failure*. Cornell University, Department of Biological and Environmental Engineering. Recuperado em 25 de março de 2013 de http://www.manuremanagement.cornell.edu/Pages/General_Docs/Events/21.Rodrigo.Labatut.pdf

Leite, V., Povinelli, J., Vazquez, V. (n.d.). *Emprego do balanço de massa na avaliação do processo de digestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recuperado em 24 de fevereiro de 2014 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/balanco.pdf>

Li, Y., Park, S., Zh, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,15, 821–826. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002224>

Lopes, W., Leite, V., Sousa, J., Júnior, G., Silva, S., Sousa, M. (2002). Influência da umidade na digestão anaeróbia de resíduos sólidos. In *XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iv-041.pdf>

Monte, M. (2010). *Contributo para o estudo da valorização energética de biogás em estações de tratamento de águas residuais*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Recuperado de http://run.unl.pt/bitstream/10362/3941/1/Monte_2010.pdf

Morais, J. A.; Ducom, G.; Achour, F.; Rouez, M.; Bayard, R. (2007). Mass balance to assess the efficiency of a mechanical–biological treatment. *Wast Management*, 28, 1791-1800. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07002838>

Picanço, A. (2004). *Influência da recirculação de percolado em sistemas de batelada de uma fase e híbrido na digestão da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos*. (Tese de Doutorado) Universidade de São Paulo. Recuperado de www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde.../Tese_Aurelio.pdf

Pognani, M; Barrena, R.; Font, X.; Sánchez, A. (2012). A complete mass balance of a complex combined anaerobic/aerobic municipal source-separated waste treatment plant. *Waste Management*, 32, 799-805. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11005885>

Pytheas Business Guides (2008). *Treatment of Municipal Solid Waste – Anaerobic Digestion Technologies*. Recuperado em 13 de março de 2014

Reichert, G. (n.d.). Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. In *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recuperado em 24 de março de 2014 de www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/reichert.pdf

Ribeiro, N. (1999). *Estudos dinâmicos do processo de digestão anaeróbia com vista ao desenvolvimento de um sistema inteligente de supervisão baseado em conhecimento*. (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Biológica. Recuperado de http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3541/1/tese_nuno.pdf

Rita, J & Pires, S. (n.d.) Digestão anaeróbia da fracção biodegradável de resíduos urbanos de recolha indiferenciada: indicadores de controlo e desempenho. *In 12º Congresso de Água*.

Teixeira, N. (2009). *Recuperação de Resíduos de Embalagem através do Tratamento Mecânico e Biológico em Portugal Continental*. (Dissertação de Mestrado) Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10362/2524>

Vandevivere, P.; De Baere L.; Verstraete W. (2002). Types of anaerobic digesters for solid wastes. In J. Mata-Alvarez (Ed.) *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. London:IWA

Vaz, F. (2009) *As características da fracção orgânica dos RSU recolhidos selectivamente na área metropolitana de lisboa e a sua influência no comportamento do processo de digestão anaeróbia*. (Dissertação de Mestrado) Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10362/3976>

Verma, S (2002). *Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes*. (Dissertação de Mestrado). Colombia University, Foundation School of Engineering & Applied Science, Department of Earth & Environmental Engineering. Recuperado de <http://www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf>

WTERT- Wast to energy research and Tcnology Council (2009). *Anaerobic Digestion Systems*. Recuperado em 24 de março de 2014 de <http://www.wtert.eu/default.asp?Menu=13&ShowDok=17>

Anexo I – Folhas de registros

Figura AI-1 Folha de campo para a realização dos registos das amostras de massa recolhidas para a realização dos MBs

Data: __/__/2014

Folha de registos – Recolha de amostras de massa

| Local de Amostragem | | Amostra | Massa pote + amostra (Kg) | Massa pote (Kg) | Tempo de amostragem (s) | Hora da amostragem | Observações |
|---------------------|--|---|---------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|-------------|
| P2 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do <i>pulper</i> | Fração pesada do fundo do <i>pulper</i> | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| P4 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do CRH | Fração pesada do CRH (>20mm) | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| P5 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do DS | Fração pesada do DS | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| P6 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos leves do DS | Fração leve do DS | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Figura A1-1 Folha de campo para a realização dos registos das amostras de massa recolhidas para a realização dos MBs (Cont.)

| Local de Amostragem | | Amostra | Massa pote + amostra (Kg) | Massa pote (Kg) | Tempo de amostragem (s) | Hora da amostragem | Observações |
|---------------------|--|----------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---|
| P8 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do HC1 | Fração pesada do HC1 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| P8´ | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do HC1 | Fração pesada do HC1 sem lavagem | | | | | Avisar no SCADA para colocar em manual sem lavagem. |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| P8´´ | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do HC1 | Fração pesada do HC1 com lavagem | | | | | Avisar no SCADA para colocar em manual com lavagem. |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| P13 | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do HC2 | Fração pesada do HC2 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| P13´ | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do HC2 | Fração pesada do HC2 com lavagem | | | | | Avisar no SCADA para colocar em manual sem lavagem |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Figura AI-1 Folha de campo para a realização dos registos das amostras de massa recolhidas para a realização dos MBs (Cont.)

| Local de Amostragem | | Amostra | Massa pote + amostra (Kg) | Massa pote (Kg) | Tempo de amostragem (s) | Hora da amostragem | Observações |
|---------------------|--|----------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|--|
| P13'' | Ponto de descarga do parafuso sem-fim dos pesados do HC2 | Fração pesada do HC2 com lavagem | | | | | Avisar no SCADA para colocar em manual com lavagem |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Figura AI-1 Folha de registos da caracterização FORSU

Folha de registos - Caracterizações da FORSU no ponto P1

| Caracterização da m.o | Total | X< 20mm | Papel | Plástico | Vidro | Metal | M.o. Cozinha | M.o. Jardim | Outros | Observações |
|-----------------------|-------|---------|-------|----------|-------|-------|--------------|-------------|--------|-------------|
| 21/jan | | | | | | | | | | |
| 23/jan | | | | | | | | | | |
| 28/jan | | | | | | | | | | |
| 30/jan | | | | | | | | | | |
| 04/fev | | | | | | | | | | |
| 06/fev | | | | | | | | | | |
| 11/fev | | | | | | | | | | |
| 13/fev | | | | | | | | | | |
| 18/fev | | | | | | | | | | |
| 20/fev | | | | | | | | | | |
| 25/fev | | | | | | | | | | |
| 27/fev | | | | | | | | | | |
| 05/mar | | | | | | | | | | |
| 07/mar | | | | | | | | | | |
| 11/mar | | | | | | | | | | |
| 13/mar | | | | | | | | | | |

Figura AI-2 Folha de registos da caracterização FORSU (Cont.)

Folha de registos - Caracterizações da FORSU no ponto P1

| Caracterização da m.o | Total | X< 10mm | Papel | Plástico | Vidro | Metal | M.o. Cozinha | M.o. Jardim | Outros | Observações |
|-----------------------|-------|---------|-------|----------|-------|-------|--------------|-------------|--------|-------------|
| 21/jan | | | | | | | | | | |
| 23/jan | | | | | | | | | | |
| 28/jan | | | | | | | | | | |
| 30/jan | | | | | | | | | | |
| 04/fev | | | | | | | | | | |
| 06/fev | | | | | | | | | | |
| 11/fev | | | | | | | | | | |
| 13/fev | | | | | | | | | | |
| 18/fev | | | | | | | | | | |
| 20/fev | | | | | | | | | | |
| 25/fev | | | | | | | | | | |
| 27/fev | | | | | | | | | | |
| 05/mar | | | | | | | | | | |
| 07/mar | | | | | | | | | | |
| 11/mar | | | | | | | | | | |
| 13/mar | | | | | | | | | | |

Figura AI-2 Folha de registos resultados do teor de ST e SV

Folha de registos – Teor de ST e SV

| Data | Amostra | Massa do cadinho (g) | Massa do cadinho (g) + amostra fresca (g) | Massa do cadinho (g) + amostra seca (g) | Massa do cadinho (g) + amostra calcinada (g) | Observações |
|------|---------|----------------------|---|---|--|-------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Anexo II – Resultados experimentais das campanhas de amostragem do período de caracterização do TMH

Tabela AII-1 Resultados obtidos nas caracterizações da FORSU (X<20 mm)

| Data | Caracterização | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----|---------|-------|-------|-------|----------|------|-------|------|-------|------|------------|-------|-----------|------|--------|------|--------|------|
| | Total | | X< 20mm | | Papel | | Plástico | | Vidro | | Metal | | MO Cozinha | | MO Jardim | | Outros | | Perdas | |
| | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % |
| 21/jan | 2,111 | 100 | 0,794 | 37,61 | 0,416 | 19,71 | 0,054 | 2,56 | 0,100 | 4,74 | 0,008 | 0,38 | 0,360 | 17,05 | 0,148 | 7,01 | 0,126 | 5,97 | 0,105 | 4,97 |
| 27/jan | 2,692 | 100 | 1,482 | 55,05 | 0,360 | 13,37 | 0,046 | 1,71 | 0,144 | 5,35 | 0,018 | 0,67 | 0,320 | 11,89 | 0,152 | 5,65 | 0,152 | 5,65 | 0,018 | 0,67 |
| 28/jan | 2,564 | 100 | 0,908 | 35,41 | 0,510 | 19,89 | 0,026 | 1,01 | 0,228 | 8,89 | 0,002 | 0,08 | 0,454 | 17,71 | 0,144 | 5,62 | 0,224 | 8,74 | 0,068 | 2,65 |
| 29/jan | 2,818 | 100 | 1,346 | 47,76 | 0,548 | 19,45 | 0,024 | 0,85 | 0,170 | 6,03 | 0,002 | 0,07 | 0,446 | 15,83 | 0,156 | 5,54 | 0,094 | 3,34 | 0,032 | 1,14 |
| 30/jan | 2,994 | 100 | 1,302 | 43,49 | 0,760 | 25,38 | 0,072 | 2,40 | 0,152 | 5,08 | 0,004 | 0,13 | 0,290 | 9,69 | 0,222 | 7,41 | 0,166 | 5,54 | 0,026 | 0,87 |
| Média* | | | | 45 | | 20 | | 1 | | 6 | | 0 | | 14 | | 6 | | 6 | | 1 |
| Desvio padrão | | | | 8 | | 4 | | 1 | | 2 | | 0 | | 3 | | 1 | | 2 | | 2 |
| Coefficiente de variação | | | | 17 | | 22 | | 52 | | 26 | | 108 | | 25 | | 15 | | 33 | | 136 |
| Máximo* | | | | 55 | | 25 | | 2 | | 9 | | 1 | | 18 | | 7 | | 9 | | 3 |
| Mínimo* | | | | 35 | | 13 | | 1 | | 5 | | 0 | | 10 | | 6 | | 3 | | 1 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem de recolha de dados para a caracterização e realização de BMs ao processo

Tabela AII-2 Resultados obtidos nas caracterizações da FORSU (X<10 mm)

| Data | Caracterização | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----|---------|-------|-------|-------|----------|------|-------|-------|-------|------|------------|-------|-----------|-------|--------|------|--------|------|
| | Total | | X< 10mm | | Papel | | Plástico | | Vidro | | Metal | | MO Cozinha | | MO Jardim | | Outros | | Perdas | |
| | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % |
| 4/fev | 2,115 | 100 | 0,470 | 22,22 | 0,540 | 25,53 | 0,044 | 2,08 | 0,178 | 8,42 | 0,000 | 0,00 | 0,408 | 19,29 | 0,246 | 11,63 | 0,202 | 9,55 | 0,027 | 1,28 |
| 5/fev | 2,340 | 100 | 0,522 | 22,31 | 0,822 | 35,13 | 0,020 | 0,85 | 0,26 | 11,11 | 0,000 | 0,00 | 0,290 | 12,39 | 0,188 | 8,03 | 0,206 | 8,80 | 0,032 | 1,37 |
| 6/fev | 2,584 | 100 | 0,600 | 23,22 | 0,824 | 31,89 | 0,046 | 1,78 | 0,202 | 7,82 | 0,000 | 0,00 | 0,504 | 19,50 | 0,144 | 5,57 | 0,156 | 6,04 | 0,108 | 4,18 |
| 11/fev | 2,258 | 100 | 0,418 | 18,51 | 0,770 | 34,10 | 0,054 | 2,39 | 0,294 | 13,02 | 0,010 | 0,44 | 0,334 | 14,79 | 0,226 | 10,01 | 0,118 | 5,23 | 0,034 | 1,51 |
| 13/fev | 3,416 | 100 | 1,074 | 31,44 | 0,528 | 15,46 | 0,052 | 1,52 | 0,478 | 13,99 | 0,006 | 0,18 | 0,706 | 20,67 | 0,370 | 10,83 | 0,162 | 4,74 | 0,040 | 1,17 |
| 18/fev | 2,974 | 100 | 0,866 | 29,12 | 0,424 | 14,26 | 0,030 | 1,01 | 0,426 | 14,32 | 0,006 | 0,20 | 0,712 | 23,94 | 0,354 | 11,90 | 0,124 | 4,17 | 0,032 | 1,08 |
| 19/fev | 2,008 | 100 | 0,520 | 25,90 | 0,488 | 24,30 | 0,026 | 1,29 | 0,162 | 8,07 | 0,028 | 1,39 | 0,478 | 23,80 | 0,164 | 8,17 | 0,120 | 5,98 | 0,022 | 1,10 |
| 20/fev | 2,244 | 100 | 0,678 | 30,21 | 0,518 | 23,08 | 0,094 | 4,19 | 0,192 | 8,56 | 0,002 | 0,09 | 0,388 | 17,29 | 0,234 | 10,43 | 0,110 | 4,90 | 0,028 | 1,25 |
| 21/fev | 1,512 | 100 | 0,358 | 23,68 | 0,460 | 30,42 | 0,034 | 2,25 | 0,144 | 9,52 | 0,008 | 0,53 | 0,262 | 17,33 | 0,17 | 11,24 | 0,056 | 3,70 | 0,020 | 1,32 |
| 24/fev | 2,284 | 100 | 0,698 | 30,56 | 0,480 | 21,02 | 0,026 | 1,14 | 0,234 | 10,25 | 0,000 | 0,00 | 0,412 | 18,04 | 0,312 | 13,66 | 0,080 | 3,50 | 0,042 | 1,84 |
| 25/fev | 2,384 | 100 | 0,626 | 26,26 | 0,626 | 26,26 | 0,028 | 1,17 | 0,272 | 11,41 | 0,044 | 1,85 | 0,402 | 16,86 | 0,294 | 12,33 | 0,058 | 2,43 | 0,034 | 1,43 |
| 26/fev | 2,64 | 100 | 0,816 | 30,91 | 0,538 | 20,38 | 0,044 | 1,67 | 0,310 | 11,74 | 0,016 | 0,61 | 0,472 | 17,88 | 0,300 | 11,36 | 0,112 | 4,24 | 0,032 | 1,21 |
| Média | | | | 26 | | 25 | | 2 | | 11 | | 0 | | 18 | | 10 | | 5 | | 2 |
| Desvio padrão | | | | 4 | | 7 | | 1 | | 2 | | 1 | | 3 | | 2 | | 2 | | 1 |
| Coefficiente de variação | | | | 16 | | 27 | | 51 | | 21 | | 136 | | 18 | | 21 | | 40 | | 55 |
| Máximo | | | | 31 | | 35 | | 4 | | 14 | | 2 | | 24 | | 14 | | 10 | | 4 |
| Mínimo | | | | 19 | | 14 | | 1 | | 8 | | 0 | | 12 | | 6 | | 2 | | 1 |

Tabela All-3 Resultados experimentais ponto P1

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|----------------------|
| 21/jan | 46,72 | 22,79 | 49 | 53,28 | 707 | 17600 |
| 27/jan | 44,66 | 27,36 | 61 | 55,34 | - | - |
| 28/jan | 48,58 | 19,74 | 41 | 51,42 | 334 | 18200 |
| 29/jan | 40,95 | 26,10 | 64 | 59,05 | 373 | 20740 |
| 30/jan | 41,96 | 22,41 | 53 | 58,04 | 603 | 21700 |
| 4/fev | 36,85 | 18,96 | 51 | 63,15 | 344 | 21240 |
| 5/fev | 36,29 | 23,75 | 65 | 63,71 | 404 | 17986 |
| 6/fev | 40,10 | 26,19 | 65 | 59,90 | 346 | 25400 |
| 11/fev | 41,88 | 27,87 | 67 | 58,12 | 345 | 17814 |
| 13/fev | 45,43 | 12,23 | 27 | 54,57 | 453 | 21000 |
| 18/fev | 38,05 | 20,94 | 55 | 61,95 | 478 | 23900 |
| 19/fev | 40,50 | 21,80 | 54 | 59,50 | 383 | 24500 |
| 20/fev | 52,60 | 16,77 | 32 | 47,40 | 327 | 19900 |
| 21/fev | 63,06 | 16,25 | 26 | 36,94 | 330 | 23300 |
| 24/fev | 42,56 | 18,94 | 45 | 57,44 | 388 | 21000 |
| 25/fev | 36,41 | 21,05 | 58 | 63,59 | 419 | 14700 |
| 26/fev | 48,01 | 18,37 | 38 | 51,99 | 354 | 21200 |
| Média | 44 | 21 | 50 | 56 | 412 | 20636 |
| Desvio padrão | 7 | 4 | 13 | 7 | 106 | 2868 |
| Coefficiente de variação | 15 | 20 | 27 | 12 | 26 | 14 |
| Máximo | 63 | 28 | 67 | 64 | 707 | 25400 |
| Mínimo | 36 | 12 | 26 | 37 | 327 | 14700 |

Tabela All-4 Resultados experimentais ponto P2

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) | Caudal (Kg/h) |
|-------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|----------------------|
| 21/jan | 61,66 | 2,70 | 4 | 38,34 | 1509,4 | - |
| 27/jan | 84,68 | 1,67 | 2 | 15,32 | 1164,6 | 2538 |
| 28/jan | 53,60 | 3,25 | 6 | 46,40 | 1491,2 | 966 |
| 29/jan | 54,04 | 3,85 | 7 | 45,96 | 1460,4 | 1784 |
| 30/jan | 61,48 | 2,60 | 4 | 38,52 | 1570,8 | 1901 |
| 4/fev | 58,62 | 2,73 | 5 | 41,38 | 1526,2 | 1440 |
| 5/fev | 50,87 | 3,01 | 6 | 49,13 | 1485,5 | 2236 |
| 6/fev | 78,24 | 2,27 | 3 | 21,76 | 1343,0 | 2412 |
| 11/fev | 69,14 | 4,05 | - | 30,86 | 1211,1 | 1037 |
| 13/fev | - | - | - | - | - | - |

Tabela AII-5 Resultados experimentais ponto P2

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) | Caudal (Kg/h) |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|----------------------|
| 18/fev | 57,19 | 3,01 | 5 | 42,81 | 1618,8 | 1910 |
| 19/fev | 62,46 | 3,71 | 6 | 37,54 | 1252,2 | 310 |
| 20/fev | 56,23 | 3,22 | 6 | 43,77 | 1656,9 | 2066 |
| 21/fev | 10,74 | 4,27 | 40 | 89,26 | 1375,4 | 3349 |
| 24/fev | 51,97 | 3,57 | 7 | 48,03 | 1630,5 | 2171 |
| 25/fev | 12,21 | 4,73 | 39 | 87,79 | 1451,6 | 4056 |
| 26/fev | 56,97 | 2,98 | 5 | 43,03 | 1463,3 | 3600 |
| Média | 55 | 3 | 9 | 45 | 1451 | 2118 |
| Desvio padrão | 19 | 1 | 12 | 19 | 147 | 1006 |
| Coeficiente de variação | 35 | 24 | 125 | 43 | 10 | 47 |
| Máximo | 85 | 5 | 40 | 89 | 1657 | 4056 |
| Mínimo | 11 | 2 | 2 | 15 | 1165 | 310 |

Tabela All-6 Resultados experimentais ponto P3

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|
| 21/jan | 6,31 | 4,01 | 64 | 93,69 | 1057,3 |
| 27/jan | 7,65 | 4,46 | 58 | 92,35 | 1017,5 |
| 28/jan | 19,73 | 14,45 | 73 | 80,27 | 1052,6 |
| 29/jan | 9,88 | 6,14 | 62 | 90,12 | 1069,0 |
| 30/jan | 9,71 | 5,64 | 58 | 90,29 | 1035,1 |
| 4/fev | 10,06 | 6,26 | 62 | 89,94 | 1000,0 |
| 5/fev | 9,35 | 5,60 | 60 | 90,65 | 1035,7 |
| 6/fev | 10,07 | 5,78 | 57 | 89,93 | 1017,9 |
| 11/fev | 8,63 | 4,84 | 56 | 91,37 | 1035,1 |
| 13/fev | 9,87 | 5,24 | 53 | 90,13 | 1052,6 |
| 18/fev | 8,85 | 5,04 | 57 | 91,15 | 1000,0 |
| 19/fev | 9,97 | 5,24 | 53 | 90,03 | 1000,0 |
| 20/fev | 11,86 | 5,64 | 48 | 88,14 | 1052,6 |
| 21/fev | 13,17 | 5,59 | 42 | 86,83 | 1035,1 |
| 24/fev | 8,56 | 4,44 | 52 | 91,44 | 1017,5 |
| 25/fev | 13,62 | 5,86 | 43 | 86,38 | 1070,2 |
| 26/fev | 9,24 | 4,99 | 54 | 90,76 | 1017,5 |
| Média* | 10 | 6 | 56 | 90 | 1033 |
| Desvio padrão | 3 | 2 | 8 | 3 | 23 |
| Coefficiente de variação | 29 | 39 | 14 | 3 | 2 |
| Máximo* | 20 | 14 | 73 | 94 | 1070 |
| Mínimo* | 6 | 4 | 42 | 80 | 1000 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Média** | 11 | 6 | 55 | 89 |
| Desvio padrão | 3 | 2 | 8 | 3 |
| Coefficiente de variação | 27 | 41 | 14 | 3 |
| Máximo** | 20 | 14 | 73 | 91 |
| Mínimo** | 9 | 4 | 42 | 80 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem de recolha de dados para a caracterização e realização de BMS ao processo de TMH

**Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela AII-7 Resultados experimentais ponto P4

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| 21/jan | - | - | - | - | - | - |
| 27/jan | 29,74 | 25,55 | 86 | 70,26 | - | 5327 |
| 28/jan | 30,62 | 18,96 | 62 | 69,38 | 442,6 | 2644 |
| 29/jan | 21,36 | 15,56 | 73 | 78,64 | 487,7 | 10939 |
| 30/jan | 20,40 | 14,68 | 72 | 79,60 | 500,0 | 7705 |
| 4/fev | 21,19 | 17,64 | 83 | 78,81 | 486,7 | 10650 |
| 5/fev | 21,18 | 14,47 | 68 | 78,82 | 538,2 | 7881 |
| 6/fev | 10,83 | 3,57 | 33 | 89,17 | 542,6 | 7253 |
| 11/fev | - | - | - | - | - | - |
| 13/fev | - | - | - | - | - | - |
| 18/fev | 28,77 | 24,04 | 84 | 71,23 | 394,2 | 3167 |
| 19/fev | 18,56 | 14,75 | 80 | 81,44 | 483,9 | 7431 |
| 20/fev | 18,07 | 13,60 | 75 | 81,93 | 468,4 | 5698 |
| 21/fev | 11,78 | 4,42 | 38 | 88,22 | 464,5 | 10012 |
| 24/fev | 21,19 | 14,83 | 70 | 78,81 | 440,6 | 6579 |
| 25/fev | 41,10 | 13,62 | 33 | 58,90 | 491,9 | 5838 |
| 26/fev | 19,63 | 15,60 | 79 | 80,37 | 491,9 | 8015 |
| Média | 22 | 15 | 67 | 78 | 479 | 7081 |
| Desvio padrão | 8 | 6 | 19 | 8 | 40 | 2482 |
| Coefficiente de variação | 35 | 40 | 28 | 10 | 8 | 35 |
| Máximo | 41 | 26 | 86 | 89 | 543 | 10939 |
| Mínimo | 11 | 4 | 33 | 59 | 394 | 2644 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Média* | 24 | 15 | 65 | 76 |
| Desvio padrão | 9 | 6 | 20 | 9 |
| Coefficiente de variação | 39 | 37 | 30 | 12 |
| Máximo* | 41 | 24 | 84 | 88 |
| Mínimo* | 12 | 4 | 33 | 59 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela AII-8 Resultados experimentais ponto P5

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| 21/jan | 60,93 | 4,50 | 7 | 39,07 | 913,7931 | - |
| 27/jan | - | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 66,56 | 3,13 | 5 | 33,44 | 1391,0256 | 3124 |
| 29/jan | 75,57 | 5,86 | 8 | 24,43 | 1227,8665 | 1225 |
| 30/jan | 59,76 | 9,24 | 15 | 40,24 | 1222,2222 | 3145 |
| 4/fev | 65,57 | 5,23 | 8 | 34,43 | 1438,9535 | 2083 |
| 5/fev | 62,46 | 4,78 | 8 | 37,54 | 1244,1860 | 1903 |
| 6/fev | 73,17 | 3,53 | | 26,83 | 1366,2791 | 1354 |
| 11/fev | 40,69 | 4,55 | 11 | 59,31 | 1395,3488 | 1810 |
| 13/fev | 77,77 | 6,05 | 8 | 22,23 | 1078,4884 | 1669 |
| 18/fev | 58,26 | 5,74 | 10 | 41,74 | 1450,5814 | 1778 |
| 19/fev | 75,79 | 3,56 | 5 | 24,21 | 1293,6047 | 2097 |
| 20/fev | 63,89 | 4,19 | 7 | 36,11 | 1395,3488 | 2062 |
| 21/fev | 69,18 | 3,46 | 5 | 30,82 | 1444,7674 | 1683 |
| 24/fev | 65,17 | 2,70 | 4 | 34,83 | 1620,0581 | 1421 |
| 25/fev | 60,60 | 2,72 | 4 | 39,40 | 1549,4186 | 1597 |
| 26/fev | 61,56 | 4,94 | 8 | 38,44 | 1520,3488 | 1763 |
| Média | 65 | 5 | 7 | 35 | 1347 | 1914 |
| Desvio padrão | 9 | 2 | 3 | 9 | 180 | 558 |
| Coefficiente de variação | 14 | 35 | 41 | 25 | 13 | 29 |
| Máximo | 78 | 9 | 15 | 39 | 1620 | 3145 |
| Mínimo | 41 | 3 | 4 | 22 | 914 | 1225 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Média* | 65 | 4 | 6 | 35 |
| Desvio padrão | 6 | 1 | 2 | 6 |
| Coefficiente de variação | 8 | 28 | 34 | 16 |
| Máximo* | 76 | 6 | 10 | 42 |
| Mínimo* | 58 | 3 | 4 | 24 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela AII-9 Resultados experimentais ponto P6

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| 21/jan | 31,60 | 24,43 | 77 | 68,40 | 293,0 | - |
| 27/jan | - | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 28,79 | 20,51 | 71 | 71,21 | 288,5 | 285 |
| 29/jan | - | - | - | - | - | - |
| 30/jan | 33,88 | 30,96 | 91 | 66,12 | 302,3 | 68 |
| 4/fev | 38,19 | 25,65 | 67 | 61,81 | 320,8 | 79 |
| 5/fev | 34,01 | 30,89 | 91 | 65,99 | 476,9 | 88 |
| 6/fev | - | - | - | - | - | - |
| 11/fev | 29,42 | 25,30 | 86 | 70,58 | 361,3 | 78 |
| 13/fev | 35,18 | 28,62 | 81 | 64,82 | 341,0 | 30 |
| 18/fev | 43,26 | 30,07 | 70 | 56,74 | 352,6 | 155 |
| 19/fev | 17,94 | 14,47 | 81 | 82,06 | 309,2 | 201 |
| 20/fev | 29,92 | 25,56 | 85 | 70,08 | 323,7 | 165 |
| 21/fev | 24,77 | 21,75 | 88 | 75,23 | 323,7 | 143 |
| 24/fev | 34,84 | 30,93 | 89 | 65,16 | 277,5 | 211 |
| 25/fev | 34,62 | 28,24 | 82 | 65,38 | 375,7 | 101 |
| 26/fev | 28,41 | 25,57 | 90 | 71,59 | 248,6 | 233 |
| Média | 32 | 26 | 82 | 68 | 328 | 141 |
| Desvio padrão | 6 | 5 | 8 | 6 | 55 | 75 |
| Coefficiente de variação | 19 | 18 | 10 | 9 | 17 | 53 |
| Máximo | 43 | 31 | 91 | 82 | 477 | 285 |
| Mínimo | 18 | 14 | 67 | 57 | 249 | 30 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Média* | 30 | 25 | 82 | 70 |
| Desvio padrão | 8 | 6 | 8 | 8 |
| Coefficiente de variação | 25 | 22 | 10 | 11 |
| Máximo* | 43 | 31 | 90 | 82 |
| Mínimo* | 18 | 14 | 70 | 57 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela AII-10 Resultados experimentais ponto P7

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| 21/jan | 6,63 | 4,01 | 60% | 93,37 | 1051,0 | 193376 |
| 27/jan | - | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 11,86 | 5,05 | 43% | 88,14 | 1069,0 | 197759 |
| 29/jan | 7,72 | 4,09 | 53% | 92,28 | 1035,1 | 194596 |
| 30/jan | 5,94 | 3,30 | 56% | 94,06 | 1413,8 | 268621 |
| 4/fev | 13,19 | 6,06 | 46% | 86,81 | 1051,7 | 230328 |
| 5/fev | 7,37 | 3,81 | 52% | 92,63 | 1034,5 | 198621 |
| 6/fev | 17,64 | 5,27 | 30% | 82,36 | 1017,2 | 204466 |
| 11/fev | 7,77 | 4,31 | 55% | 92,23 | 1017,2 | 182086 |
| 13/fev | 8,20 | 3,92 | 48% | 91,80 | 1051,7 | 218759 |
| 18/fev | 13,38 | 6,24 | 47% | 86,62 | 1051,7 | 229276 |
| 19/fev | 10,51 | 4,28 | 41% | 89,49 | 1051,7 | 210345 |
| 20/fev | 13,16 | 4,50 | 34% | 86,84 | 1017,2 | 222776 |
| 21/fev | 10,59 | 4,05 | 38% | 89,41 | 1034,5 | 224483 |
| 24/fev | 13,50 | 4,45 | 33% | 86,50 | 1017,2 | 220741 |
| 25/fev | 5,77 | 2,95 | 51% | 94,23 | 1017,2 | 205483 |
| 26/fev | 14,48 | 4,39 | 30% | 85,52 | 1017,2 | 205483 |
| Média | 10 | 4 | 45 | 90 | 1059 | 212950 |
| Desvio padrão | 4 | 1 | 10 | 4 | 96 | 20479 |
| Coefficiente de variação | 34 | 20 | 22 | 4 | 9 | 10 |
| Máximo | 18 | 6 | 60 | 94 | 1414 | 268621 |
| Mínimo | 6 | 3 | 30 | 82 | 1017 | 182086 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Média* | 11 | 4 | 43 | 89 |
| Desvio padrão | 4 | 1 | 9 | 4 |
| Coefficiente de variação | 32 | 21 | 21 | 4 |
| Máximo* | 18 | 6 | 56 | 94 |
| Mínimo* | 6 | 3 | 30 | 82 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela AII-11 Resultados experimentais ponto P8

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| 21/jan | 50,57 | 4,08 | 8% | 49,43 | 1310,3 | - |
| 27/jan | - | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 13,95 | 9,28 | 67% | 86,05 | 1071,4 | 652 |
| 29/jan | 57,02 | 3,33 | 6% | 42,98 | 1503,6 | 1122 |
| 30/jan | 48,24 | 3,74 | 8% | 51,76 | 1667,6 | 1558 |
| 6/fev | - | - | - | - | - | - |
| 18/fev | 22,79 | 9,05 | 40% | 77,21 | 1400,0 | 633 |
| 19/fev | 77,04 | 16,10 | 21% | 22,96 | 1324,6 | 199 |
| 20/fev | 15,26 | 6,92 | 45% | 84,74 | 1127,5 | 2019 |
| 21/fev | 20,18 | 8,26 | 41% | 79,82 | 1176,8 | 1488 |
| 24/fev | 24,87 | 8,53 | 34% | 75,13 | 1200,0 | 421 |
| 25/fev | 28,23 | 7,60 | 27% | 71,77 | 1156,5 | 1479 |
| 26/fev | 27,77 | 9,67 | 35% | 72,23 | 1118,8 | 1362 |
| Média | 35, | 8 | 30 | 64 | 1278 | 1094 |
| Desvio padrão | 20 | 4 | 19 | 20 | 185 | 588 |
| Coefficiente de variação | 59 | 45 | 62 | 31 | 14 | 54 |
| Máximo | 77 | 16 | 67 | 86 | 1668 | 2019 |
| Mínimo | 14 | 3 | 6 | 23 | 1071 | 199 |

| | | | | |
|--------------------------|-------|-------|----|-------|
| Média* | 28,76 | 9,43 | 39 | 71,24 |
| Desvio padrão | 20,21 | 2,84 | 14 | 20,21 |
| Coefficiente de variação | 70,26 | 30,15 | 35 | 28,37 |
| Máximo* | 77,04 | 16,10 | 67 | 86,05 |
| Mínimo* | 13,95 | 6,92 | 21 | 22,96 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela AII-12 Resultados experimentais ponto P8´ e P8´´

| Ponto P8´ | Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|------------|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| | 4/fev | 24,35 | 7,22 | 30 | 75,65 | 1440,6 | 1362 |
| | 5/fev | 51,84 | 4,18 | 8 | 48,16 | 1507,2 | 2548 |
| | 11/fev | 45,12 | 5,37 | 12 | 54,88 | 1452,2 | 375 |
| | 13/fev | 38,20 | 7,94 | 21 | 61,80 | 1255,1 | 314 |
| | Média | 40 | 6 | 18 | 60 | 1414 | 1150 |
| | Desvio padrão | 12 | 2 | 10 | 12 | 110 | 1049 |
| | Coefficiente de variação | 29 | 28 | 55 | 20 | 8 | 91 |
| | Máximo | 52 | 8 | 30 | 76 | 1507 | 2548 |
| | Mínimo | 24 | 4 | 8 | 48 | 1255 | 314 |
| Ponto P8´´ | Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
| | 4/fev | 73,13 | 4,46 | 6 | 26,87 | 1169,1 | 1280 |
| | 5/fev | 87,17 | 2,76 | 3 | 12,83 | 1137,0 | 1087 |
| | 11/fev | 91,06 | 1,87 | 2 | 8,94 | 1075,8 | 987 |
| | 13/fev | 78,93 | 3,16 | 4 | 21,07 | 1125,4 | 656 |
| | Média* | 76 | 3 | 5 | 24 | 1167 | 1002 |
| | Desvio padrão | 16 | 1 | 3 | 16 | 96 | 261 |
| | Coefficiente de variação | 21 | 32 | 53 | 67 | 8 | 26 |
| | Máximo* | 91 | 4 | 8 | 49 | 1328 | 1280 |
| | Mínimo* | 51 | 2 | 2 | 9 | 1076 | 656 |
| | Média** | 83 | 3 | 4 | 17 | | |
| | Desvio padrão | 8 | 1 | 2 | 8 | | |
| | Coefficiente de variação | 10 | 35 | 45 | 46 | | |
| Máximo** | 91 | 4 | 6 | 27 | | | |
| Mínimo** | 73 | 2 | 2 | 9 | | | |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem de recolha de dados para a caracterização e realização de BMs ao sistema de TMH

**Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela AII-13 Resultados experimentais ponto P9

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| 21/jan | 5,10 | 3,08 | 60 | 94,90 | 1017,2 | 187172 |
| 27/jan | - | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 6,46 | 3,27 | 51 | 93,54 | 1017,5 | 188246 |
| 29/jan | - | - | - | - | - | - |
| 30/jan | 3,89 | 2,11 | 54 | 96,11 | 991,3 | 188348 |
| 4/fev | 6,15 | 3,56 | 58 | 93,85 | 1036,4 | 226964 |
| 5/fev | 5,21 | 2,92 | 56 | 94,79 | 1017,2 | 195310 |
| 6/fev | 5,20 | 2,95 | 57 | 94,80 | 1017,2 | 204466 |
| 11/fev | 5,18 | 2,87 | 55 | 94,82 | 1017,2 | 182086 |
| 13/fev | 4,99 | 2,70 | 54 | 95,01 | 1000,0 | 208000 |
| 18/fev | 6,03 | 3,02 | 50 | 93,97 | 1034,5 | 225517 |
| 19/fev | 5,53 | 2,69 | 49 | 94,47 | 1017,2 | 203448 |
| 20/fev | 7,11 | 3,05 | 43 | 92,89 | 1017,2 | 222776 |
| 21/fev | 6,08 | 2,76 | 45 | 93,92 | 1034,5 | 224483 |
| 24/fev | 4,99 | 2,53 | 51 | 95,01 | 1018,2 | 220945 |
| 25/fev | 4,23 | 2,21 | 52 | 95,77 | 1017,2 | 205483 |
| 26/fev | 6,21 | 2,94 | 47 | 93,79 | 1017,2 | 205483 |
| Média | 5 | 3 | 52 | 95 | 1018 | 205915 |
| Desvio padrão | 1 | 0 | 5 | 1 | 12 | 15463 |
| Coefficiente de variação | 16 | 13 | 9 | 1 | 1 | 8 |
| Máximo | 7 | 4 | 60 | 96 | 1036 | 226964 |
| Mínimo | 4 | 2 | 43 | 93 | 991 | 182086 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Média | 6 | 3 | 52 | 94 |
| Desvio padrão | 1 | 0 | 4 | 1 |
| Coefficiente de variação | 16 | 13 | 9 | 1 |
| Máximo | 7 | 4 | 58 | 96 |
| Mínimo | 4 | 2 | 43 | 93 |

Tabela All-14 Resultados experimentais ponto P10

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) |
|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|
| 21/jan | 5,46 | 3,49 | 64 | 94,54 | 1025,5 |
| 27/jan | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 10,38 | 5,04 | 49 | 89,62 | 1052,6 |
| 29/jan | 6,84 | 4,14 | 60 | 93,16 | 1087,7 |
| 30/jan | 4,83 | 2,83 | 59 | 95,17 | 1000,0 |
| 4/fev | 8,34 | 4,46 | 54 | 91,66 | 1069,0 |
| 5/fev | 8,47 | 4,94 | 58 | 91,53 | 1053,6 |
| 6/fev | 8,07 | 4,88 | 60 | 91,93 | 1071,4 |
| 11/fev | 6,96 | 4,10 | 59 | 93,04 | 1035,7 |
| 13/fev | 6,78 | 3,87 | 57 | 93,22 | 1035,7 |
| 18/fev | 6,15 | 3,53 | 57 | 93,85 | 1035,7 |
| 19/fev | 7,26 | 4,17 | 57 | 92,74 | 1035,7 |
| 20/fev | 8,89 | 5,08 | 57 | 91,11 | 1053,6 |
| 21/fev | 13,78 | 10,84 | 79 | 86,22 | 1017,9 |
| 24/fev | 6,66 | 3,75 | 56 | 93,34 | 1035,7 |
| 25/fev | 8,34 | 4,50 | 54 | 91,66 | 1053,6 |
| 26/fev | 7,97 | 4,40 | 55 | 92,03 | 1035,7 |
| Média* | 8 | 5 | 59 | 92 | 1044 |
| Desvio padrão | 2 | 2 | 6 | 2 | 22 |
| Coefficiente de variação | 27 | 38 | 11 | 2 | 2 |
| Máximo* | 14 | 11 | 79 | 95 | 1088 |
| Mínimo* | 5 | 3 | 49 | 86 | 1000 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Média** | 8 | 5 | 1 | 91 |
| Desvio padrão | 2 | 2 | 0 | 2 |
| Coefficiente de variação | 26 | 39 | 11 | 2 |
| Máximo** | 14 | 11 | 1 | 95 |
| Mínimo** | 5 | 3 | 0 | 86 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem de recolha de dados para a caracterização e realização de BMs ao sistema de TMH

**Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem em que se obtiveram dados para todos os pontos de amostragem a analisar

Tabela All-15 Resultados experimentais ponto P11

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|
| 21/jan | - | - | - | - | - |
| 27/jan | - | - | - | - | - |
| 28/jan | - | - | - | - | - |
| 29/jan | 6,84 | 4,14 | 60 | 93,16 | 1034,5 |
| 30/jan | 5,21 | 3,30 | 63 | 94,79 | 1034,5 |
| 4/fev | 8,93 | 5,40 | 60 | 91,07 | 983,1 |
| 5/fev | 12,60 | 10,47 | 83 | 87,40 | 745,8 |
| 6/fev | 14,18 | 7,93 | 56 | 85,82 | 983,1 |
| 11/fev | 15,85 | 10,01 | 63 | 84,15 | 983,1 |
| 13/fev | 17,75 | 10,69 | 60 | 82,25 | 1033,9 |
| 18/fev | 19,62 | 14,42 | 73 | 80,38 | 966,1 |
| 19/fev | 6,02 | 3,99 | 66 | 93,98 | 1033,9 |
| 20/fev | 14,59 | 9,53 | 65 | 85,41 | 1000,0 |
| 21/fev | 15,82 | 9,94 | 63 | 84,18 | 1000,0 |
| 24/fev | 12,71 | 10,41 | 82 | 87,29 | 945,5 |
| 25/fev | 21,46 | 20,89 | 97 | 78,54 | 881,4 |
| 26/fev | 9,44 | 5,74 | 61 | 90,56 | 1033,9 |
| Média | 13 | 9 | 68 | 87 | 976 |
| Desvio padrão | 5 | 5 | 12 | 5 | 79 |
| Coefficiente de variação | 39 | 52 | 17 | 6 | 8 |
| Máximo | 21 | 21 | 97 | 95 | 1034 |
| Mínimo | 5 | 3 | 56 | 79 | 746 |

Tabela All-16 Resultados experimentais ponto P12

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|
| 21/jan | - | - | - | - | - |
| 27/jan | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 8,96 | 4,62 | 52 | 91,04 | 1035,1 |
| 29/jan | - | - | - | - | - |
| 30/jan | 5,46 | 3,15 | 58 | 94,54 | 1053,6 |
| 4/fev | 6,92 | 4,03 | 58 | 93,08 | 1071,4 |
| 5/fev | 7,75 | 4,45 | 57 | 92,25 | 1035,7 |
| 6/fev | 7,98 | 4,29 | 54 | 92,02 | 1071,4 |
| 11/fev | 6,00 | 3,67 | 61 | 94,00 | 1017,9 |
| 13/fev | 6,73 | 3,80 | 57 | 93,27 | 1035,7 |
| 18/fev | 6,76 | 3,81 | 56 | 93,24 | 1035,7 |
| 19/fev | 6,81 | 3,88 | 57 | 93,19 | 1053,6 |
| 20/fev | 6,73 | 3,69 | 55 | 93,27 | 1053,6 |
| 21/fev | 7,93 | 4,32 | 54 | 92,07 | 1035,7 |
| 24/fev | 6,26 | 3,17 | 51 | 93,74 | 1036,4 |
| 25/fev | 5,98 | 3,42 | 57 | 94,02 | 1017,9 |
| 26/fev | 7,48 | 4,16 | 56 | 92,52 | 1053,6 |
| Média | 7 | 4 | 56 | 93 | 1043 |
| Desvio padrão | 1 | 0 | 3 | 1 | 17 |
| Coeficiente de variação | 14 | 12 | 5 | 1 | 2 |
| Máximo | 9 | 5 | 61 | 95 | 1071 |
| Mínimo | 5 | 3 | 51 | 91 | 1018 |

Tabela All-17 Resultados experimentais ponto P13

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) | Caudal (Kg/h) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|----------------------|
| 21/jan | - | - | | - | - | - |
| 27/jan | - | - | | - | - | - |
| 28/jan | 22,65 | 7,00 | 31 | 77,35 | 1455,1 | 657 |
| 29/jan | 83,11 | 4,86 | 6 | 16,89 | 1099,7 | - |
| 6/fev | - | - | - | - | - | - |
| 13/fev | - | - | * | - | - | - |
| 18/fev | 19,01 | 9,86 | 52 | 80,99 | 1203,5 | 555 |
| 19/fev | 26,96 | 8,43 | 31 | 73,04 | 1142,4 | 597 |
| 20/fev | 17,96 | 11,96 | 67 | 82,04 | 1101,7 | 289 |
| 21/fev | 21,40 | 11,06 | 52 | 78,60 | 1110,5 | 36 |
| 24/fev | 24,61 | 8,67 | 35 | 75,39 | 1191,9 | 575 |
| 25/fev | 32,46 | 9,81 | 30 | 67,54 | 1482,6 | 702 |
| 26/fev | 25,41 | 7,16 | 28 | 74,59 | 1157,0 | 566 |
| Média | 30 | 9 | 37 | 70 | 1216 | 497 |
| Desvio padrão | 20 | 2 | 18 | 20 | 148 | 223 |
| Coefficiente de variação | 67 | 25 | 48 | 29 | 12 | 45 |
| Máximo | 83 | 12 | 67 | 82 | 1483 | 702 |
| Mínimo | 18 | 5 | 6 | 17 | 1100 | 36 |

Tabela AII-18 Resultados experimentais ponto P13' e P13''

| Ponto P13' | Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
|-------------|-------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| | 30/jan | 35,87 | 7,94 | 22 | 64,13 | 1244,9 | 604 |
| | 4/fev | 20,84 | 7,48 | 36 | 79,16 | 1174,4 | 472 |
| | 5/fev | 27,67 | 7,37 | 27 | 72,33 | 1194,8 | 458 |
| | 11/fev | 25,00 | 10,62 | 42 | 75,00 | 1113,4 | 49 |
| | Média | 27 | 8 | 32 | 73 | 1182 | 396 |
| | Desvio padrão | 6 | 2 | 9 | 6 | 54 | 240 |
| | Coeficiente de variação | 23 | 18 | 29 | 9 | 5 | 61 |
| | Máximo | 36 | 11 | 42 | 79 | 1245 | 604 |
| | Mínimo | 21 | 7 | 22 | 64 | 1113 | 49 |
| Ponto P13'' | Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m ³) | Caudal (Kg/h) |
| | 30/jan | 35,14 | 6,77 | 19% | 64,86 | 104,7 | 579 |
| | 4/fev | 27,20 | 6,83 | 25% | 72,80 | 94,1 | 515 |
| | 5/fev | 31,04 | 5,76 | 19% | 68,96 | 83,7 | 467 |
| | 11/fev | 47,24 | 8,74 | 19% | 52,76 | 166,3 | 45 |
| | Média | 35 | 7 | 20 | 65 | 112 | 402 |
| | Desvio padrão | 9 | 1 | 3 | 9 | 37 | 242 |
| | Coeficiente de variação | 25 | 18 | 16 | 13 | 33 | 60 |
| | Máximo | 47 | 9 | 25 | 73 | 166 | 579 |
| | Mínimo | 27 | 6 | 19 | 53 | 83,7 | 45 |

Tabela All-19 Resultados experimentais ponto P14

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) | Caudal (Kg/h) |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|----------------------|
| 21/jan | - | - | - | - | - | - |
| 27/jan | - | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 10,22 | 4,86 | 48 | 89,78 | 1087,7193 | 119910 |
| 29/jan | - | - | - | - | - | - |
| 30/jan | 6,10 | 3,95 | 65 | 93,90 | 1000,0000 | 103600 |
| 4/fev | 7,17 | 4,66 | 65 | 92,83 | 1051,7241 | 93793 |
| 5/fev | 7,39 | 4,60 | 62 | 92,61 | 1034,4828 | 86607 |
| 6/fev | 7,41 | 4,06 | 55 | 92,59 | 1017,2414 | 103820 |
| 11/fev | 5,35 | 3,34 | 62 | 94,65 | 1052,6316 | 123589 |
| 13/fev | 5,87 | 3,79 | 65 | 94,13 | 1017,5439 | 98722 |
| 18/fev | 6,65 | 4,22 | 64 | 93,35 | 1052,6316 | 104589 |
| 19/fev | 6,24 | 3,90 | 62 | 93,76 | 1035,0877 | 113032 |
| 20/fev | 5,68 | 3,40 | 60 | 94,32 | 1052,6316 | 102000 |
| 21/fev | 6,22 | 3,83 | 62 | 93,78 | 1000,0000 | 105610 |
| 24/fev | 5,13 | 3,18 | 62 | 94,87 | 1035,0877 | 111065 |
| 25/fev | 6,49 | 3,44 | 53 | 93,51 | 1052,6316 | 108516 |
| 26/fev | 4,41 | 2,28 | 52 | 95,59 | 1017,5439 | 105519 |
| Média | 6 | 4 | 60 | 94 | 1036 | 105741 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 6 | 1 | 24 | 9569 |
| Coeficiente de variação | 21 | 18 | 9 | 1 | 2 | 9 |
| Máximo | 10 | 5 | 65 | 96 | 1088 | 123589 |
| Mínimo | 4 | 2 | 48 | 90 | 1000 | 86607 |

Tabela All-20 Resultados experimentais ponto P15

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Massa volúmica (Kg/m³) | Caudal (Kg/h) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|--|----------------------|
| 21/jan | 6,38 | 3,63 | 57 | 93,62 | 1052,6 | 67158 |
| 27/jan | - | - | - | - | - | - |
| 28/jan | 4,17 | 2,35 | 56 | 95,83 | 1456,1 | 136732 |
| 29/jan | 6,87 | 3,90 | 57 | 93,13 | 1017,2 | 89924 |
| 30/jan | 3,41 | 1,89 | 55 | 96,59 | 1017,2 | 65612 |
| 4/fev | 7,14 | 4,40 | 62 | 92,86 | 983,1 | 82822 |
| 5/fev | 9,13 | 6,01 | 66 | 90,87 | 983,1 | 80905 |
| 6/fev | 7,29 | 4,00 | 55 | 92,71 | 1016,9 | 88017 |
| 11/fev | 6,26 | 3,76 | 60 | 93,74 | 1000,0 | 74850 |
| 13/fev | 5,57 | 3,47 | 62 | 94,43 | 983,1 | 65569 |
| 18/fev | 6,93 | 4,62 | 67 | 93,07 | 1016,9 | 70983 |
| 19/fev | 4,13 | 2,19 | 53 | 95,87 | 1000,0 | 83900 |
| 20/fev | 3,45 | 1,84 | 53 | 96,55 | 1000,0 | 89900 |
| 21/fev | 6,05 | 3,46 | 57 | 93,95 | 1016,9 | 78610 |
| 24/fev | 4,48 | 2,68 | 60 | 95,52 | 1018,2 | 84916 |
| 25/fev | 4,15 | 2,25 | 54 | 95,85 | 1000,0 | 63900 |
| 26/fev | 6,43 | 3,72 | 58 | 93,57 | 1000,0 | 76300 |
| Média | 6 | 3 | 58 | 94 | 1035 | 81256 |
| Desvio padrão | 2 | 1 | 4 | 2 | 114 | 17253 |
| Coefficiente de variação | 30 | 36 | 8 | 2 | 11 | 21 |
| Máximo | 9 | 6 | 67 | 97 | 1456 | 136732 |
| Mínimo | 3 | 2 | 53 | 91 | 983 | 63900 |

Tabela AII-21- Variação da razão água/FORSU no pulper durante o período de caracterização do sistema de TMH da FORSU

| Data | Razão Água/FORSU (Real) |
|--------|----------------------------|
| | (m ³ /ton) |
| 21/jan | 3,21 |
| 27/jan | 3,96 |
| 28/jan | 3,25 |
| 29/jan | 2,86 |
| 30/jan | 2,71 |
| 4/fev | 2,56 |
| 5/fev | 2,84 |
| 6/fev | 2,28 |
| 11/fev | 2,45 |
| 13/fev | 3,22 |
| 18/fev | 2,82 |
| 19/fev | 2,58 |
| 20/fev | 3,11 |
| 21/fev | 2,8 |
| 24/fev | 3,03 |
| 25/fev | 2,59 |
| 26/fev | 2,57 |
| Média | 2,87 |
| Máximo | 3,96 |
| Mínimo | 2,28 |

**Anexo III – Resultados obtidos na estimativa das entradas
de água no sistema de TMH**

Tabela AIII-22 Dados utilizados para estimativa do caudal de entrada de água no ponto E1

| Data | Água do processo a pulpers (m3/d) | Tempo de trabalho bomba (h) | Tempo de trabalho bomba (min) | Volume de água a pulper numa hora (m3) | Caudal (Kg/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|---------------|
| 21/jan | 63 | 1:07 | 67 | 56 | 56418 |
| 27/jan | 171 | 2:58 | 178 | 58 | 57640 |
| 28/jan | 262 | 4:26 | 266 | 59 | 59098 |
| 29/jan | 246 | 4:09 | 249 | 59 | 59277 |
| 30/jan | 182 | 3:06 | 186 | 59 | 58710 |
| 4/fev | 230 | 3:46 | 226 | 61 | 61062 |
| 5/fev | 256 | 4:14 | 254 | 60 | 60472 |
| 6/fev | 213 | 3:31 | 211 | 61 | 60569 |
| 11/fev | 199 | 3:04 | 184 | 65 | 64891 |
| 13/fev | 106 | 1:36 | 96 | 66 | 66250 |
| 18/fev | 100 | 1:41 | 101 | 59 | 59406 |
| 19/fev | 115 | 1:56 | 116 | 59 | 59483 |
| 20/fev | 137 | 2:14 | 134 | 61 | 61343 |
| 21/fev | 210 | 3:26 | 206 | 61 | 61165 |
| 24/fev | 185 | 3:02 | 182 | 61 | 60989 |
| 25/fev | 238 | 3:57 | 237 | 60 | 60253 |
| 26/fev | 263 | 4:21 | 261 | 60 | 60460 |
| Média | | | | | 60440 |
| Desvio padrão | | | | | 2343 |
| Coeficiente de variação | | | | | 4 |
| Máximo | | | | | 66250 |
| Mínimo | | | | | 56418 |

Tabela AIII-2 Dados usados para a estimativa do caudal de água que entra no ponto E2

| Dados ponto E2 | |
|--|--------|
| Z _{bomba} (m) | -5,32 |
| Z _{conduta do pulper} (m) | 4 |
| P _{bomba} (Pa) | 400000 |
| P _{conduta do pulper 1} (Pa) | 0 |
| Q _{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 25,7 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,8 |
| H _{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem á entrada do pulper 1 (m) | 0,035 |
| Período de tempo que a válvula permanece aberta (s) | 15 |
| Período de tempo que a válvula permanece fechada (s) | 60 |

Tabela AIII-23 Resultados da estimativa do caudal de água que entra no ponto E2

| Resultados ponto E2 | |
|---|------|
| U_{bomba} (m/s) | 1,38 |
| $U^2_{\text{conduta do pulper 1}}$ (m/s) | 3,11 |
| $U_{\text{conduta do pulper 1}}$ (m/s) | 1,76 |
| $Q_{\text{água à pressão que entra no sem-fim do pulper 1}}$ (m ³ /h) | 6,11 |
| $V_{\text{água à pressão que entra no sem-fim do pulper 1 durante 1 hora}}$ (m ³) | 1,22 |
| $\text{Fluxo}_{\text{água à pressão que entra no sem-fim do pulper 1 durante 1 hora}}$ (Kg/h) | 1221 |

Tabela AIII-24 Dados usados para a estimativa do caudal de água que entra no ponto E3, para os dois pontos de entradas existentes

| Dados 1ª entrada ponto E3 | |
|--|--------|
| Z_{bomba} (m) | -5,32 |
| $Z_{\text{conduta do desarenador}}$ (m) | 1 |
| P_{bomba} (Pa) | 400000 |
| $P_{\text{conduta do desarenador}}$ (Pa) | 0 |
| Q_{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 52,5 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,8 |
| H_{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem á entrada do desarenador (m) | 0,06 |
| Período de tempo que a válvula permanece aberta (s) | 180 |
| Período de tempo que a válvula permanece fechada (s) | 300 |
| Dados 2ª entrada ponto E3 | |
| Z_{bomba} (m) | -5,32 |
| $Z_{\text{conduta do desarenador}}$ (m) | 1 |
| P_{bomba} (Pa) | 400000 |
| $P_{\text{conduta do desarenador}}$ (Pa) | 0 |
| Q_{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 52,5 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,8 |
| H_{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem á entrada do desarenador (m) | 0,06 |
| Período de tempo que a válvula permanece aberta (s) | 60 |
| Período de tempo que a válvula permanece fechada (s) | 7200 |

Tabela AIII-25 Resultados da estimativa do caudal de água que entra no ponto E3, para os dois pontos de entrada existentes

| Resultados 1ª entrada ponto E3 | |
|---|-------|
| U_{bomba} (m/s) | 1,38 |
| $U^2_{\text{conduta do desarenador}}$ (m/s) | 2,06 |
| $U_{\text{conduta do desarenador}}$ (m/s) | 1,44 |
| $Q_{\text{água à pressão que entra no sem-fim do desarenador}}$ (m ³ /h) | 14,61 |
| $V_{\text{água à pressão que entra no fundo do desarenador durante 1 hora}}$ (m ³) | 5,48 |
| Fluxo água à pressão que entra no fundo do desarenador durante 1 hora (Kg/h) | 5477 |
| Resultados 2ª entrada ponto E3 | |
| U_{bomba} (m/s) | 1,38 |
| $U^2_{\text{conduta do desarenador}}$ (m/s) | 2,06 |
| $U_{\text{conduta do desarenador}}$ (m/s) | 1,44 |
| $Q_{\text{água à pressão que entra no sem-fim do desarenador}}$ (m ³ /h) | 14,61 |
| $V_{\text{água à pressão que entra no fundo do desarenador durante 1 hora}}$ (m ³) | 0,12 |
| Fluxo água à pressão que entra no fundo do desarenador durante 1 hora (Kg) | 121 |
| Fluxo Total água à pressão que entra no fundo do desarenador durante 1 hora das duas bombas (Kg/h) | 5598 |

Tabela AIII-26 Dados usados para a estimativa do caudal de água que entra no ponto E4, para os dois pontos de entradas existentes

| Dados ponto E4 | |
|--|--------|
| Z_{bomba} (m) | -5,32 |
| $Z_{\text{conduta entrada da suspensão no hidrociclone 1}}$ (m) | 0,6 |
| P_{bomba} (Pa) | 400000 |
| $P_{\text{conduta entrada de suspensão no hidrociclone 1}}$ (Pa) | 0 |
| Q_{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 28,3 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,8 |
| Comprimento total das condutas PVC (m) | 1,5 |
| Perda de carga nas tubagens PVC | 0,7 |
| H_{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem á entrada do desarenador (m) | 0,05 |
| Período de tempo que a válvula permanece aberta (s) | 15 |
| Período de tempo que a válvula permanece fechada (s) | 120 |

Tabela AIII-27 Resultados da estimativa do caudal de água que entra no ponto E4, para os dois pontos de entrada existentes

| Resultados ponto E4 | |
|---|-------|
| U_{bomba} (m/s) | 1,38 |
| $U^2_{\text{conduta entrada de suspensão no hidrociclone 1}}$ (m/s) | 3,11 |
| $U_{\text{conduta hidrociclone 1}}$ (m/s) | 1,76 |
| $Q_{\text{água à pressão que entra na tubagem da suspensão à entrada do hidrociclone 1}}$ (m ³ /h) | 12,46 |
| $V_{\text{água à pressão que entra na tubagem à entrada do hidrociclone 1 durante 1 hora}}$ (m ³) | 1,38 |
| $\text{Fluxo}_{\text{água à pressão que entra na tubagem à entrada do hidrociclone 1 durante 1 hora}}$ (Kg/h) | 1384 |

Tabela AIII-28 Dados usados para a estimativa do caudal de água que entra no ponto E5

| Dados ponto E5 | |
|--|--------|
| Z_{bomba} (m) | -5,32 |
| $Z_{\text{conduta entrada de água á pressão no hidrociclone 1}}$ (m) | 6,3 |
| P_{bomba} (Pa) | 400000 |
| $P_{\text{conduta do desarenador}}$ (Pa) | 0 |
| Q_{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 34,92 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,7 |
| Comprimento total das condutas PVC (m) | 8 |
| Perda de carga nas tubagens PVC | 0,7 |
| H_{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem á entrada do desarenador (m) | 0,065 |
| Período de tempo que a válvula permanece aberta (s) | 15 |
| Período de tempo que a válvula permanece fechada (s) | 90 |

Tabela AIII-29 Resultados da estimativa do caudal de água que entra no ponto E5

| Resultados ponto E5 | |
|---|-------|
| U_{bomba} (m/s) | 1,38 |
| $U^2_{\text{conduta do desarenador}}$ (m/s) | 2,46 |
| $U_{\text{conduta do desarenador}}$ (m/s) | 1,57 |
| $Q_{\text{água à pressão que entra no sem-fim do hidrociclone 1}}$ (m ³ /h) | 18,73 |
| $V_{\text{água à pressão que entra no sem-fim do hidrociclone 1 durante 1 hora}}$ (m ³) | 2,68 |
| Fluxo água à pressão que na tubagem do sem-fim do hidrociclone 1 durante 1hora (Kg/h) | 2676 |

Tabela AIII-10 Dados usados para a estimativa do caudal de água que entra no ponto E6

| Dados ponto E6 | |
|---|--------|
| Z_{bomba} (m) | -5,32 |
| $Z_{\text{conduta entrada de água á pressão no TH2}}$ (m) | 0,5 |
| P_{bomba} (Pa) | 400000 |
| $P_{\text{conduta do TH2}}$ (Pa) | 0 |
| Q_{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 34 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,8 |
| Comprimento total das condutas (m) PVC | 4 |
| Perda de carga nas tubagens PVC | 0,7 |
| H_{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem na entrada da tubagem (m) | 0,035 |
| Período de tempo que a válvula permanece aberta (s) | 30 |
| Período de tempo que a válvula permanece fechada (s) | 90 |

Tabela AIII-11 Resultados da estimativa do caudal de água que entra no ponto E6

| Resultados ponto E6 | |
|---|------|
| U_{bomba} (m/s) | 1,38 |
| $U^2_{\text{conduta do TH2}}$ (m/s) | 2,76 |
| $U_{\text{conduta do TH2}}$ (m/s) | 1,66 |
| $Q_{\text{água à pressão que entra na tubagem TH2 para o hidrociclone 2}}$ (m ³ /h) | 5,75 |
| $V_{\text{água à pressão que entra na tubagem TH2 para o hidrociclone 2 durante 1 hora}}$ (m ³) | 1,44 |
| Fluxo água à pressão que entra na tubagem TH2 para o hidrociclone 2 durante 1hora (Kg/h) | 1438 |

Tabela AIII-12 Dados usados para a estimativa do caudal de água que entra no ponto E7

| Dados ponto E7 | |
|---|--------|
| Z _{bomba} (m) | -5,32 |
| Z _{conduta entrada de água á pressão no sem-fim do Hidrociclone 2} (m) | 3,8 |
| P _{bomba} (Pa) | 400000 |
| P _{conduta do sem-fim do Hidrociclone 2} (Pa) | 0 |
| Q _{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 35 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,8 |
| Comprimento total das condutas PVC (m) | 5 |
| Perda de carga nas tubagens PVC | 0,7 |
| H _{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem á entrada do desarenador (m) | 0,03 |
| Período de tempo que a válvula permanece aberta (s) | 20 |
| Período de tempo que a válvula permanece fechada (s) | 60 |

Tabela AII-13 Resultados da estimativa do caudal de água que entra no ponto E7

| Resultados no ponto E7 | |
|---|------|
| U _{bomba} (m/s) | 1,38 |
| U ² _{conduta do TH2} (m/s) | 2,51 |
| U _{conduta do TH2} (m/s) | 1,58 |
| Q _{água á pressão que entra no sem-fim do hidrociclone 2} (m ³ /h) | 4,03 |
| V _{água á pressão que entra no sem-fim do hidrociclone 2 durante 1 hora} (m ³) | 1,01 |
| Fluxo _{água á pressão que entra no sem-fim do hidrociclone 2 durante 1 hora} (Kg/h) | 1007 |

Tabela AIII-14 Dados usados para a estimativa do caudal de água que entra no ponto E8

| Dados ponto E8 | |
|--|--------|
| Z _{bomba} (m) | -5,32 |
| Z _{conduta entrada de água na tubagem do TI} (m) | 0,4 |
| P _{bomba} (Pa) | 400000 |
| P _{conduta de entrada de água à pressão do TI} (Pa) | 0 |
| Q _{bomba} (m ³ /h) | 25 |
| Comprimento total das condutas INOX (m) | 40,9 |
| Perda de carga nas tubagens INOX | 0,8 |
| H _{bomba} (m) | 52 |
| Diâmetro da tubagem á entrada do desarenador (m) | 0,035 |
| Período de tempo que a válvula BE10 permanece aberta (s) | 60 |
| Período de tempo que a válvula BE10 permanece fechada (s) | 1800 |
| Período de tempo que a válvula BE11 permanece aberta (s) | 60 |
| Período de tempo que a válvula BE11 permanece fechada (s) | 1800 |

Tabela AIII-15 Resultados da estimativa do caudal de água que entra no ponto E8

| Resultados ponto E8 | |
|--|------|
| U _{bomba} (m/s) | 1,38 |
| U ² _{conduta da água à pressão do TI} (m/s) | 2,61 |
| U _{conduta da água á pressão do TI} (m/s) | 1,62 |
| Q _{água à pressão que entra na tubagem do TI para o TP} (m ³ /h) | 5,60 |
| V _{água à pressão que entra na tubagem do TI para o TP durante 1 hora (V-INF-BE10)} (m ³) | 0,18 |
| V _{água à pressão que entra na tubagem do TI para o TP durante 1 hora (V-INF-BE11)} (m ³) | 0,18 |
| Fluxo _{água à pressão que entra na tubagem do TI para o TP durante 1 hora (V-INF-BE10)} (Kg/h) | 180 |
| Fluxo _{água à pressão que entra na tubagem do TI para o TP durante 1 hora (V-INF-BE11)} (Kg/h) | 180 |

**Anexo IV – Resultados experimentais das campanhas
de amostragem no período redução do consumo de
água do TMH da FORSU**

Tabela IV-1 Resultados obtidos nas caracterizações da FORSU (X<20 mm)

| Data | Caracterização | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----|---------|-------|-------|-------|----------|------|-------|-------|-------|------|--------------|-------|-------------|-------|--------|------|--------|------|
| | Total | | X< 20mm | | Papel | | Plástico | | Vidro | | Metal | | M.o. Cozinha | | M.o. Jardim | | Outros | | Perdas | |
| | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % |
| 20/mar | 1,828 | 100 | 0,786 | 43,00 | 0,428 | 23,41 | 0,030 | 1,64 | 0,062 | 3,39 | 0,008 | 0,44 | 0,326 | 17,83 | 0,138 | 7,55 | 0,022 | 1,20 | 0,028 | 1,53 |
| 21/mar | 2,940 | 100 | 1,158 | 39,39 | 0,552 | 18,78 | 0,094 | 3,20 | 0,150 | 5,10 | 0,024 | 0,82 | 0,530 | 18,03 | 0,340 | 11,56 | 0,050 | 1,70 | 0,042 | 1,43 |
| 25/mar | 2,262 | 100 | 1,032 | 45,62 | 0,360 | 15,92 | 0,082 | 3,63 | 0,090 | 3,98 | 0,000 | 0,00 | 0,210 | 9,28 | 0,398 | 17,60 | 0,062 | 2,74 | 0,028 | 1,24 |
| 10/abr | 3,132 | 100 | 1,915 | 61,14 | 0,304 | 9,71 | 0,060 | 1,92 | 0,130 | 4,15 | 0,001 | 0,03 | 0,270 | 8,62 | 0,362 | 11,56 | 0,048 | 1,53 | 0,042 | 1,34 |
| 11/abr | 2,482 | 100 | 1,546 | 62,29 | 0,182 | 7,33 | 0,020 | 0,81 | 0,134 | 5,40 | 0,000 | 0,00 | 0,286 | 11,52 | 0,276 | 11,12 | 0,016 | 0,64 | 0,022 | 0,89 |
| 14/abr | 3,724 | 100 | 2,244 | 60,26 | 0,398 | 10,69 | 0,022 | 0,59 | 0,368 | 9,88 | 0,010 | 0,27 | 0,298 | 8,00 | 0,310 | 8,32 | 0,050 | 1,34 | 0,024 | 0,64 |
| 15/abr | 3,264 | 100 | 2,112 | 64,71 | 0,198 | 6,07 | 0,034 | 1,04 | 0,306 | 9,38 | 0,000 | 0,00 | 0,240 | 7,35 | 0,306 | 9,38 | 0,038 | 1,16 | 0,030 | 0,92 |
| 16/abr | 3,161 | 100 | 1,902 | 60,17 | 0,486 | 15,37 | 0,052 | 1,65 | 0,224 | 7,09 | 0,000 | 0,00 | 0,176 | 5,57 | 0,228 | 7,21 | 0,034 | 1,08 | 0,059 | 1,87 |
| 17/abr | 3,620 | 100 | 2,322 | 64,14 | 0,268 | 7,40 | 0,024 | 0,66 | 0,186 | 5,14 | 0,078 | 2,15 | 0,408 | 11,27 | 0,224 | 6,19 | 0,090 | 2,49 | 0,020 | 0,55 |
| 21/abr | 4,336 | 100 | 2,510 | 57,89 | 0,458 | 10,56 | 0,034 | 0,78 | 0,558 | 12,87 | 0,012 | 0,28 | 0,350 | 8,07 | 0,274 | 6,32 | 0,094 | 2,17 | 0,046 | 1,06 |
| 22/abr | 3,398 | 100 | 2,006 | 59,03 | 0,390 | 11,48 | 0,020 | 0,59 | 0,316 | 9,30 | 0,002 | 0,06 | 0,358 | 10,54 | 0,234 | 6,89 | 0,038 | 1,12 | 0,034 | 1,00 |
| 23/abr | 2,942 | 100 | 1,938 | 65,87 | 0,246 | 8,36 | 0,014 | 0,48 | 0,314 | 10,67 | 0,000 | 0,00 | 0,136 | 4,62 | 0,220 | 7,48 | 0,042 | 1,43 | 0,032 | 1,09 |
| 29/abr | 4,276 | 100 | 2,500 | 58,47 | 0,506 | 11,83 | 0,042 | 0,98 | 0,448 | 10,48 | 0,006 | 0,14 | 0,460 | 10,76 | 0,230 | 5,38 | 0,050 | 1,17 | 0,034 | 0,80 |
| 2/mai | 3,836 | 100 | 2,586 | 67,41 | 0,290 | 7,56 | 0,034 | 0,89 | 0,266 | 6,93 | 0,008 | 0,21 | 0,288 | 7,51 | 0,252 | 6,57 | 0,080 | 2,09 | 0,032 | 0,83 |
| 5/mai | 3,444 | 100 | 2,264 | 65,74 | 0,284 | 8,25 | 0,020 | 0,58 | 0,260 | 7,55 | 0,018 | 0,52 | 0,268 | 7,78 | 0,224 | 6,50 | 0,076 | 2,21 | 0,030 | 0,87 |
| 7/mai | 3,402 | 100 | 2,286 | 67,20 | 0,164 | 4,82 | 0,030 | 0,88 | 0,208 | 6,11 | 0,026 | 0,76 | 0,350 | 10,29 | 0,138 | 4,06 | 0,176 | 5,17 | 0,024 | 0,71 |
| 13/mai | 3,330 | 100 | 2,280 | 68,47 | 0,206 | 6,19 | 0,030 | 0,90 | 0,182 | 5,47 | 0,000 | 0,00 | 0,222 | 6,67 | 0,310 | 9,31 | 0,076 | 2,28 | 0,024 | 0,72 |
| 14/mai | 3,028 | 100 | 1,910 | 63,08 | 0,264 | 8,72 | 0,008 | 0,26 | 0,114 | 3,76 | 0,006 | 0,20 | 0,312 | 10,30 | 0,306 | 10,11 | 0,076 | 2,51 | 0,032 | 1,06 |
| 17/mai | 3,416 | 100 | 2,164 | 63,35 | 0,206 | 6,03 | 0,048 | 1,41 | 0,292 | 8,55 | 0,006 | 0,18 | 0,336 | 9,84 | 0,214 | 6,26 | 0,088 | 2,58 | 0,062 | 1,81 |
| 20/mai | 3,546 | 100 | 2,322 | 65,48 | 0,216 | 6,09 | 0,016 | 0,45 | 0,308 | 8,69 | 0,002 | 0,06 | 0,334 | 9,42 | 0,184 | 5,19 | 0,132 | 3,72 | 0,032 | 0,90 |
| 22/mai | 3,300 | 100 | 1,426 | 43,21 | 0,702 | 21,27 | 0,012 | 0,36 | 0,188 | 5,70 | 0,000 | 0,00 | 0,400 | 12,12 | 0,344 | 10,42 | 0,206 | 6,24 | 0,022 | 0,67 |
| 27/mai | 2,966 | 100 | 1,942 | 65,48 | 0,260 | 8,77 | 0,010 | 0,34 | 0,156 | 5,26 | 0,000 | 0,00 | 0,212 | 7,15 | 0,238 | 8,02 | 0,112 | 3,78 | 0,036 | 1,21 |
| 29/mai | 3,830 | 100 | 2,546 | 66,48 | 0,210 | 5,48 | 0,012 | 0,31 | 0,446 | 11,64 | 0,006 | 0,16 | 0,288 | 7,52 | 0,238 | 6,21 | 0,062 | 1,62 | 0,022 | 0,57 |
| Média | | | | 43 | | 19 | | 3 | | 4 | | 0 | | 15 | | 12 | | 2 | | 1 |
| Desvio padrão | | | | 3 | | 4 | | 1 | | 1 | | 0 | | 5 | | 5 | | 1 | | 0 |
| Coefficiente de variação | | | | 7 | | 20 | | 37 | | 21 | | 98 | | 33 | | 41 | | 42 | | 11 |

Tabela IV-1 Resultados obtidos nas caracterizações da FORSU (X<20 mm)

| Data | Caracterização | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---|---------|----|-------|----|----------|----|-------|----|-------|-----|--------------|----|-------------|----|--------|----|--------|----|
| | Total | | X< 20mm | | Papel | | Plástico | | Vidro | | Metal | | M.o. Cozinha | | M.o. Jardim | | Outros | | Perdas | |
| | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % |
| Máximo | | | | 46 | | 23 | | 4 | | 5 | | 1 | | 18 | | 18 | | 3 | | 2 |
| Mínimo | | | | 39 | | 16 | | 2 | | 3 | | 0 | | 9 | | 8 | | 1 | | 1 |
| Média | | | | 62 | | 9 | | 1 | | 8 | | 0 | | 9 | | 8 | | 2 | | 1 |
| Desvio padrão | | | | 6 | | 4 | | 0 | | 3 | | 0 | | 2 | | 2 | | 1 | | 0 |
| Coefficiente de variação | | | | 9 | | 42 | | 56 | | 34 | | 195 | | 23 | | 27 | | 62 | | 37 |
| Máximo | | | | 68 | | 21 | | 2 | | 13 | | 2 | | 12 | | 12 | | 6 | | 2 |
| Mínimo | | | | 43 | | 5 | | 0 | | 4 | | 0 | | 5 | | 4 | | 1 | | 1 |

Tabela IV-2 Resultados obtidos nas caracterizações da FORSU (X<10 mm)

| Data | Caracterização | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------------|-----|---------|-------|-------|-------|----------|------|-------|-------|-------|------|------------|-------|------------|-------|--------|------|--------|------|
| | Total | | X< 10mm | | Papel | | Plástico | | Vidro | | Metal | | MO Cozinha | | MO. Jardim | | Outros | | Perdas | |
| | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % | Kg | % |
| 20/mar | 1,828 | 100 | 0,400 | 21,88 | 0,522 | 28,56 | 0,030 | 1,64 | 0,136 | 7,44 | 0,010 | 0,55 | 0,398 | 21,77 | 0,242 | 13,24 | 0,054 | 2,95 | 0,036 | 1,97 |
| 21/mar | 2,940 | 100 | 0,600 | 20,41 | 0,624 | 21,22 | 0,102 | 3,47 | 0,215 | 7,31 | 0,024 | 0,82 | 0,678 | 23,06 | 0,524 | 17,82 | 0,116 | 3,95 | 0,057 | 1,94 |
| 25/mar | 2,262 | 100 | 0,560 | 24,76 | 0,434 | 19,19 | 0,088 | 3,89 | 0,170 | 7,52 | 0,000 | 0,00 | 0,310 | 13,70 | 0,558 | 24,67 | 0,104 | 4,60 | 0,038 | 1,68 |
| 10/abr | 3,132 | 100 | 1,024 | 32,69 | 0,436 | 13,92 | 0,064 | 2,04 | 0,288 | 9,20 | 0,001 | 0,03 | 0,376 | 12,01 | 0,800 | 25,54 | 0,088 | 2,81 | 0,055 | 1,76 |
| 11/abr | 2,482 | 100 | 0,944 | 38,03 | 0,262 | 10,56 | 0,024 | 0,97 | 0,206 | 8,30 | 0,000 | 0,00 | 0,356 | 14,34 | 0,584 | 23,53 | 0,060 | 2,42 | 0,046 | 1,85 |
| 14/abr | 3,724 | 100 | 1,016 | 27,28 | 0,512 | 13,75 | 0,026 | 0,70 | 0,620 | 16,65 | 0,010 | 0,27 | 0,432 | 11,60 | 0,978 | 26,26 | 0,083 | 2,23 | 0,047 | 1,26 |
| 15/abr | 3,264 | 100 | 1,218 | 37,32 | 0,286 | 8,76 | 0,040 | 1,23 | 0,514 | 15,75 | 0,000 | 0,00 | 0,352 | 10,78 | 0,738 | 22,61 | 0,056 | 1,72 | 0,060 | 1,84 |
| 16/abr | 3,161 | 100 | 1,056 | 33,41 | 0,638 | 20,18 | 0,056 | 1,77 | 0,406 | 12,84 | 0,004 | 0,13 | 0,324 | 10,25 | 0,516 | 16,32 | 0,122 | 3,86 | 0,039 | 1,23 |
| 17/abr | 3,620 | 100 | 1,280 | 35,36 | 0,460 | 12,71 | 0,032 | 0,88 | 0,414 | 11,44 | 0,082 | 2,27 | 0,584 | 16,13 | 0,558 | 15,41 | 0,142 | 3,92 | 0,068 | 1,88 |

Tabela IV-3 Resultados obtidos nas caracterizações da FORSU (X<10 mm)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| 21/abr | 4,336 | 100 | 1,254 | 28,92 | 0,672 | 15,50 | 0,042 | 0,97 | 0,866 | 19,97 | 0,014 | 0,32 | 0,540 | 12,45 | 0,694 | 16,01 | 0,154 | 3,55 | 0,100 | 2,31 |
| 22/abr | 3,398 | 100 | 1,064 | 31,31 | 0,480 | 14,13 | 0,024 | 0,71 | 0,648 | 19,07 | 0,003 | 0,09 | 0,474 | 13,95 | 0,544 | 16,01 | 0,080 | 2,35 | 0,081 | 2,38 |
| 23/abr | 2,942 | 100 | 1,200 | 40,79 | 0,332 | 11,28 | 0,020 | 0,68 | 0,450 | 15,30 | 0,000 | 0,00 | 0,230 | 7,82 | 0,574 | 19,51 | 0,060 | 2,04 | 0,076 | 2,58 |
| 29/abr | 4,276 | 100 | 1,228 | 28,72 | 0,710 | 16,60 | 0,052 | 1,22 | 0,738 | 17,26 | 0,006 | 0,14 | 0,730 | 17,07 | 0,638 | 14,92 | 0,100 | 2,34 | 0,074 | 1,73 |
| 2/mai | 3,836 | 100 | 1,696 | 44,21 | 0,394 | 10,27 | 0,043 | 1,12 | 0,490 | 12,77 | 0,008 | 0,21 | 0,442 | 11,52 | 0,566 | 14,75 | 0,122 | 3,18 | 0,075 | 1,96 |
| 5/mai | 3,444 | 100 | 1,422 | 41,29 | 0,396 | 11,50 | 0,022 | 0,64 | 0,436 | 12,66 | 0,022 | 0,64 | 0,392 | 11,38 | 0,564 | 16,38 | 0,134 | 3,89 | 0,056 | 1,63 |
| 7/mai | 3,402 | 100 | 1,586 | 46,62 | 0,244 | 7,17 | 0,036 | 1,06 | 0,360 | 10,58 | 0,030 | 0,88 | 0,474 | 13,93 | 0,408 | 11,99 | 0,202 | 5,94 | 0,062 | 1,82 |
| 13/mai | 3,330 | 100 | 1,328 | 39,88 | 0,268 | 8,05 | 0,032 | 0,96 | 0,406 | 12,19 | 0,000 | 0,00 | 0,296 | 8,89 | 0,825 | 24,77 | 0,102 | 3,06 | 0,073 | 2,19 |
| 14/mai | 3,028 | 100 | 1,136 | 37,52 | 0,326 | 10,77 | 0,012 | 0,40 | 0,250 | 8,26 | 0,006 | 0,20 | 0,422 | 13,94 | 0,672 | 22,19 | 0,116 | 3,83 | 0,088 | 2,91 |
| 17/mai | 3,416 | 100 | 1,376 | 40,28 | 0,262 | 7,67 | 0,054 | 1,58 | 0,523 | 15,31 | 0,018 | 0,53 | 0,432 | 12,65 | 0,562 | 16,45 | 0,112 | 3,28 | 0,077 | 2,25 |
| 20/mai | 3,546 | 100 | 1,226 | 34,57 | 0,316 | 8,91 | 0,018 | 0,51 | 0,566 | 15,96 | 0,002 | 0,06 | 0,478 | 13,48 | 0,694 | 19,57 | 0,172 | 4,85 | 0,074 | 2,09 |
| 22/mai | 3,300 | 100 | 0,576 | 17,45 | 0,866 | 26,24 | 0,016 | 0,48 | 0,310 | 9,39 | 0,000 | 0,00 | 0,532 | 16,12 | 0,686 | 20,79 | 0,274 | 8,30 | 0,040 | 1,21 |
| 27/mai | 2,966 | 100 | 1,130 | 38,10 | 0,340 | 11,46 | 0,012 | 0,40 | 0,314 | 10,59 | 0,000 | 0,00 | 0,296 | 9,98 | 0,666 | 22,45 | 0,136 | 4,59 | 0,072 | 2,43 |
| 29/mai | 3,830 | 100 | 1,546 | 40,37 | 0,320 | 8,36 | 0,016 | 0,42 | 0,712 | 18,59 | 0,012 | 0,31 | 0,418 | 10,91 | 0,658 | 17,18 | 0,088 | 2,30 | 0,060 | 1,57 |
| Média* | | | | 22 | | 23 | | 3 | | 7 | | 0 | | 20 | | 19 | | 4 | | 2 |
| Desvio padrão | | | | 2 | | 5 | | 1 | | 0 | | 0 | | 5 | | 6 | | 1 | | 0 |
| Coefficiente de variação | | | | 10 | | 21 | | 40 | | 1 | | 92 | | 26 | | 31 | | 22 | | 9 |
| Máximo* | | | | 25 | | 29 | | 4 | | 8 | | 1 | | 23 | | 25 | | 5 | | 2 |
| Mínimo* | | | | 20 | | 19 | | 2 | | 7 | | 0 | | 14 | | 13 | | 3 | | 2 |
| Média** | | | | 36 | | 12 | | 1 | | 14 | | 0 | | 12 | | 19 | | 4 | | 2 |
| Desvio padrão | | | | 7 | | 5 | | 0 | | 4 | | 1 | | 2 | | 4 | | 2 | | 0 |
| Coefficiente de variação | | | | 19 | | 38 | | 49 | | 27 | | 172 | | 20 | | 22 | | 44 | | 23 |
| Máximo** | | | | 47 | | 26 | | 2 | | 20 | | 2 | | 17 | | 26 | | 8 | | 3 |
| Mínimo** | | | | 17 | | 7 | | 0 | | 8 | | 0 | | 8 | | 12 | | 2 | | 1 |

*Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem antes da troca das malhas do crivo de malha elástica

**Apenas foram considerados os valores obtidos nas campanhas de amostragem depois da troca das malhas do crivo de malha elástica

Tabela IV-4 Resultados experimentais ponto P1

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) | Caudal (Kg/h) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|----------------------|
| 20/mar | 44,86 | 26,55 | 59,17 | 55,14 | 18878,05 |
| 21/mar | 53,85 | 18,62 | 34,59 | 46,15 | 22625,74 |
| 25/mar | 45,98 | 21,06 | 45,80 | 54,02 | 21377,50 |
| 10/abr | 41,21 | 22,31 | 54,12 | 58,79 | 17985,19 |
| 11/abr | 51,19 | 15,16 | 29,61 | 48,81 | 12650,00 |
| 14/abr | 48,79 | 25,72 | 52,71 | 51,21 | 19221,20 |
| 15/abr | 45,80 | 23,13 | 50,51 | 54,20 | 16993,06 |
| 16/abr | 43,19 | 19,77 | 45,77 | 56,81 | 19540,76 |
| 17/abr | 42,73 | 17,46 | 40,86 | 57,27 | 21136,49 |
| 21/abr | 56,35 | 16,88 | 29,95 | 43,65 | 21334,29 |
| 22/abr | 50,22 | 26,03 | 51,84 | 49,78 | 16976,25 |
| 23/abr | 42,33 | 26,69 | 63,04 | 57,67 | 20594,83 |
| 29/abr | 49,06 | 27,94 | 56,95 | 50,94 | 21547,89 |
| 2/mai | 41,42 | 26,98 | 65,13 | 58,58 | 22504,82 |
| 5/mai | 53,05 | 21,49 | 40,51 | 46,95 | 21856,59 |
| 7/mai | 58,80 | 18,30 | 31,13 | 41,20 | 18008,49 |
| 13/mai | 46,57 | 24,47 | 52,54 | 53,43 | 17994,79 |
| 14/mai | 48,58 | 27,71 | 57,04 | 51,42 | 20633,07 |
| 17/mai | 39,34 | 22,57 | 57,37 | 60,66 | 20604,61 |
| 20/mai | 50,80 | 27,95 | 55,01 | 49,20 | 17069,52 |
| 22/mai | 35,98 | 23,15 | 64,34 | 64,02 | 17047,95 |
| 27/mai | 43,49 | 21,59 | 49,65 | 56,51 | 17267,03 |
| 29/mai | 49,13 | 20,65 | 42,03 | 50,87 | 17599,07 |
| Média | 47 | 23 | 49 | 53 | 19193 |
| Desvio padrão | 6 | 4 | 11 | 6 | 2403 |
| Coefficiente de variação | 12 | 17 | 22 | 11 | 13 |
| Máximo | 59 | 28 | 65 | 64 | 22626 |
| Mínimo | 36 | 15 | 30 | 41 | 12650 |

Tabela IV-5 Resultados experimentais ponto P2

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | % Humidade |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------|-------------------|
| 20/mar | 66,37 | 4,22 | 6,35 | 33,63 |
| 21/mar | 50,13 | 4,56 | 9,10 | 49,87 |
| 25/mar | 55,52 | 4,08 | 7,34 | 44,48 |
| 10/abr | 83,37 | 1,57 | 1,89 | 16,63 |
| 11/abr | 84,91 | 1,74 | 2,05 | 15,09 |
| 14/abr | 79,02 | 2,77 | 3,51 | 20,98 |
| 15/abr | 73,96 | 2,16 | 2,92 | 26,04 |
| 16/fev | 84,57 | 1,96 | 2,32 | 15,43 |
| 17/abr | 86,53 | 1,12 | 1,29 | 13,47 |
| 21/abr | 79,97 | 2,14 | 2,68 | 20,03 |
| 22/abr | 84,22 | 1,58 | 1,87 | 15,78 |
| 23/abr | 83,53 | 1,55 | 1,86 | 16,47 |
| 29/jan | 87,50 | 0,96 | 1,10 | 12,50 |
| 2/mai | 90,83 | 1,63 | 1,80 | 9,17 |
| 5/mai | 84,15 | 1,32 | 1,57 | 15,85 |
| 7/mai | 78,52 | 2,12 | 2,70 | 21,48 |
| 13/mai | 85,22 | 2,07 | 2,43 | 14,78 |
| 14/mai | 70,99 | 3,05 | 4,30 | 29,01 |
| 17/mai | 80,81 | 1,85 | 2,28 | 19,19 |
| 20/mai | 80,88 | 2,30 | 2,85 | 19,12 |
| 22/mai | 80,50 | 2,92 | 3,63 | 19,50 |
| 27/mai | 87,45 | 1,53 | 1,75 | 12,55 |
| 29/mai | 57,35 | 2,37 | 4,13 | 42,65 |
| Média | 78 | 2 | 3 | 22 |
| Desvio padrão | 11 | 1 | 2 | 11 |
| Coeficiente de variação | 14 | 43 | 64 | 50 |
| Máximo | 91 | 5 | 9 | 50 |
| Mínimo | 50 | 1 | 1 | 9 |

Tabela IV-6 Resultados experimentais ponto P3

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 9,73 | 5,15 | 52,86 | 90,27 |
| 21/mar | 9,58 | 5,07 | 52,95 | 90,42 |
| 25/mar | 11,84 | 5,82 | 49,13 | 88,16 |
| 10/abr | 7,68 | 4,09 | 53,30 | 92,32 |
| 11/abr | 5,46 | 2,64 | 48,40 | 94,54 |
| 14/abr | 7,97 | 4,66 | 58,51 | 92,03 |
| 15/abr | 7,18 | 3,99 | 55,58 | 92,82 |
| 16/abr | 9,04 | 4,42 | 48,92 | 90,96 |
| 17/abr | 9,03 | 4,95 | 54,81 | 90,97 |
| 21/abr | 6,70 | 3,82 | 57,07 | 93,30 |
| 22/abr | 6,69 | 3,57 | 53,43 | 93,31 |
| 23/abr | 6,99 | 4,09 | 58,48 | 93,01 |
| 29/abr | 6,14 | 3,59 | 58,44 | 93,86 |
| 2/mai | 8,62 | 4,66 | 54,09 | 91,38 |
| 5/mai | 7,11 | 4,26 | 59,89 | 92,89 |
| 7/mai | 7,85 | 5,07 | 64,62 | 92,15 |
| 13/mai | 7,18 | 4,39 | 61,17 | 92,82 |
| 14/mai | 8,10 | 4,55 | 56,21 | 91,90 |
| 17/mai | 7,98 | 4,85 | 60,84 | 92,02 |
| 20/mai | 8,33 | 5,16 | 61,98 | 91,67 |
| 22/mai | 8,44 | 4,71 | 55,76 | 91,56 |
| 27/mai | 9,38 | 5,60 | 59,70 | 90,62 |
| 29/mai | 10,51 | 5,94 | 56,53 | 89,49 |
| Média | 8 | 5 | 56 | 92 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 4 | 1 |
| Coeficiente de variação | 18 | 17 | 8 | 2 |
| Máximo | 12 | 6 | 65 | 95 |
| Mínimo | 5 | 3 | 48 | 88 |

Tabela IV-7 Resultados experimentais ponto P4

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 21,29 | 14,57 | 68,41 | 78,71 |
| 21/mar | 19,84 | 14,68 | 74,01 | 80,16 |
| 25/mar | 23,47 | 13,01 | 55,44 | 76,53 |
| 10/abr | 23,43 | 17,67 | 75,42 | 76,57 |
| 11/abr | 21,30 | 17,06 | 80,11 | 78,70 |
| 14/abr | 27,70 | 20,77 | 74,98 | 72,30 |
| 15/abr | 24,91 | 22,02 | 88,39 | 75,09 |
| 16/abr | 18,51 | 13,79 | 74,46 | 81,49 |
| 17/abr | 20,17 | 16,11 | 79,87 | 79,83 |
| 21/abr | 21,37 | 17,73 | 83,00 | 78,63 |
| 22/abr | 27,46 | 23,76 | 86,53 | 72,54 |
| 23/abr | 23,85 | 20,11 | 84,29 | 76,15 |
| 29/abr | 23,02 | 19,10 | 82,95 | 76,98 |
| 2/mai | 35,21 | 30,58 | 86,84 | 64,79 |
| 5/mai | 25,50 | 22,90 | 89,81 | 74,50 |
| 7/mai | 25,79 | 21,87 | 84,79 | 74,21 |
| 13/mai | 22,11 | 18,40 | 83,20 | 77,89 |
| 14/mai | 24,85 | 18,62 | 74,92 | 75,15 |
| 17/mai | 27,25 | 20,26 | 74,35 | 72,75 |
| 20/mai | 29,91 | 24,60 | 82,24 | 70,09 |
| 22/mai | 23,31 | 20,14 | 86,43 | 76,69 |
| 27/mai | 27,72 | 25,20 | 90,89 | 72,28 |
| 29/mai | 25,00 | 18,27 | 73,08 | 75,00 |
| Média | 24 | 20 | 80 | 76 |
| Desvio padrão | 4 | 4 | 8 | 4 |
| Coefficiente de variação | 15 | 21 | 10 | 5 |
| Máximo | 35 | 31 | 91 | 81 |
| Mínimo | 19 | 13 | 55 | 65 |

Tabela IV-8 Resultados experimentais ponto P5

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 71,58 | 2,94 | 4,11 | 28,42 |
| 21/mar | 63,17 | 3,78 | 5,99 | 36,83 |
| 25/mar | 64,52 | 4,05 | 6,28 | 35,48 |
| 10/abr | 64,71 | 2,68 | 4,14 | 35,29 |
| 11/abr | 61,57 | 6,52 | 10,60 | 38,43 |
| 14/abr | 53,69 | 8,08 | 15,06 | 46,31 |
| 15/abr | 61,30 | 3,71 | 6,05 | 38,70 |
| 16/abr | 42,19 | 4,79 | 11,36 | 57,81 |
| 17/abr | 60,23 | 4,93 | 8,19 | 39,77 |
| 21/abr | 59,36 | 5,56 | 9,37 | 40,64 |
| 22/abr | 56,07 | 5,71 | 10,18 | 43,93 |
| 23/abr | 50,45 | 6,00 | 11,89 | 49,55 |
| 29/abr | 43,49 | 9,51 | 21,87 | 56,51 |
| 2/mai | 60,20 | 6,92 | 11,50 | 39,80 |
| 5/mai | 46,56 | 9,16 | 19,67 | 53,44 |
| 7/mai | 61,21 | 2,77 | 4,52 | 38,79 |
| 13/mai | 61,30 | 2,73 | 4,46 | 38,70 |
| 14/mai | 53,63 | 4,08 | 7,62 | 46,37 |
| 17/mai | 60,51 | 5,51 | 9,10 | 39,49 |
| 20/mai | 51,94 | 17,79 | 34,25 | 48,06 |
| 22/mai | 55,60 | 4,56 | 8,19 | 44,40 |
| 27/mai | 45,33 | 7,16 | 15,79 | 54,67 |
| 29/mai | 57,17 | 5,09 | 8,90 | 42,83 |
| Média | 57 | 6 | 11 | 43 |
| Desvio padrão | 7 | 3 | 7 | 7 |
| Coeficiente de variação | 13 | 56 | 64 | 17 |
| Máximo | 72 | 18 | 34 | 58 |
| Mínimo | 42 | 3 | 4 | 28 |

Tabela IV-9 Resultados experimentais ponto P6

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 18,09 | 14,98 | 82,79 | 81,91 |
| 21/mar | 28,04 | 23,30 | 83,07 | 71,96 |
| 25/mar | 22,93 | 18,66 | 81,38 | 77,07 |
| 10/abr | 33,43 | 30,64 | 91,67 | 66,57 |
| 11/abr | 39,64 | 31,65 | 79,84 | 60,36 |
| 14/abr | 36,18 | 27,04 | 74,74 | 63,82 |
| 15/abr | 39,89 | 35,29 | 88,46 | 60,11 |
| 16/abr | 33,02 | 27,78 | 84,13 | 66,98 |
| 17/abr | 32,80 | 28,30 | 86,27 | 67,20 |
| 21/abr | 34,55 | 32,01 | 92,66 | 65,45 |
| 22/abr | 42,84 | 40,22 | 93,88 | 57,16 |
| 23/abr | 33,79 | 29,75 | 88,06 | 66,21 |
| 29/abr | 36,94 | 31,28 | 84,67 | 63,06 |
| 2/mai | 39,18 | 17,22 | 43,94 | 60,82 |
| 5/mai | 34,48 | 30,50 | 88,45 | 65,52 |
| 7/mai | 40,52 | 25,52 | 62,98 | 59,48 |
| 13/mai | 34,82 | 31,73 | 91,13 | 65,18 |
| 14/mai | 29,66 | 26,89 | 90,67 | 70,34 |
| 17/mai | 30,33 | 26,31 | 86,73 | 69,67 |
| 20/mai | 37,15 | 30,53 | 82,17 | 62,85 |
| 22/mai | 29,00 | 25,06 | 86,41 | 71,00 |
| 27/mai | 36,90 | 32,89 | 89,14 | 63,10 |
| 29/mai | 33,19 | 28,58 | 86,12 | 66,81 |
| Média | 34 | 28 | 83 | 6 |
| Desvio padrão | 6 | 6 | 11 | 6 |
| Coefficiente de variação | 17 | 20 | 13 | 9 |
| Máximo | 43 | 40 | 94 | 82 |
| Mínimo | 18 | 15 | 44 | 57 |

Tabela IV-10 Resultados experimentais ponto P7

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 8,52 | 3,86 | 45,24 | 91,48 |
| 21/mar | 13,61 | 4,49 | 32,99 | 86,39 |
| 25/mar | 14,11 | 4,38 | 31,03 | 85,89 |
| 10/abr | 10,59 | 4,15 | 39,17 | 89,41 |
| 11/abr | 12,52 | 4,24 | 33,84 | 87,48 |
| 14/abr | 7,42 | 3,78 | 50,99 | 92,58 |
| 15/abr | 9,49 | 4,08 | 42,94 | 90,51 |
| 16/abr | 12,79 | 4,57 | 35,71 | 87,21 |
| 17/abr | 9,92 | 4,40 | 44,37 | 90,08 |
| 21/abr | 7,05 | 5,10 | 72,35 | 92,95 |
| 22/abr | 8,04 | 5,31 | 66,04 | 91,96 |
| 23/abr | 7,59 | 3,68 | 48,48 | 92,41 |
| 29/abr | 8,75 | 3,82 | 43,68 | 91,25 |
| 2/mai | 6,81 | 3,30 | 48,42 | 93,19 |
| 5/mai | 9,47 | 4,41 | 46,54 | 90,53 |
| 7/mai | 10,95 | 4,71 | 43,01 | 89,05 |
| 13/mai | 10,39 | 4,74 | 45,65 | 89,61 |
| 14/mai | 8,92 | 4,11 | 46,05 | 91,08 |
| 17/mai | 11,41 | 5,39 | 47,24 | 88,59 |
| 20/mai | 6,34 | 3,64 | 57,33 | 93,66 |
| 22/mai | 13,77 | 4,85 | 35,21 | 86,23 |
| 27/mai | 9,55 | 4,50 | 47,10 | 90,45 |
| 29/mai | 9,57 | 4,37 | 45,64 | 90,43 |
| Média | 10 | 4 | 46 | 90 |
| Desvio padrão | 2 | 1 | 10 | 2 |
| Coeficiente de variação | 22 | 13 | 21 | 2 |
| Máximo | 14 | 5 | 72 | 94 |
| Mínimo | 6 | 3 | 31 | 86 |

Tabela IV-11 Resultados experimentais ponto P8

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 56,17 | 3,52 | 6,27 | 43,83 |
| 21/mar | 28,16 | 6,75 | 23,98 | 71,84 |
| 25/mar | 16,94 | 6,33 | 37,36 | 83,06 |
| 10/abr | 11,61 | 6,23 | 53,64 | 88,39 |
| 11/abr | 14,00 | 7,74 | 55,29 | 86,00 |
| 14/abr | 63,33 | 6,57 | 10,37 | 36,67 |
| 15/abr | 8,00 | 3,76 | 46,99 | 92,00 |
| 16/abr | 37,20 | 5,54 | 14,89 | 62,80 |
| 17/abr | 16,02 | 7,41 | 46,24 | 83,98 |
| 21/abr | 29,35 | 16,07 | 54,76 | 70,65 |
| 22/abr | 22,75 | 8,79 | 38,62 | 77,25 |
| 23/abr | 27,68 | 13,89 | 50,16 | 72,32 |
| 29/abr | 12,85 | 6,28 | 48,91 | 87,15 |
| 2/mai | 16,13 | 7,95 | 49,33 | 83,87 |
| 5/mai | 14,06 | 6,98 | 49,64 | 85,94 |
| 7/mai | 18,63 | 14,36 | 77,08 | 81,37 |
| 13/mai | 22,70 | 8,52 | 37,53 | 77,30 |
| 14/mai | 23,30 | 6,74 | 28,93 | 76,70 |
| 17/mai | 11,24 | 5,77 | 51,35 | 88,76 |
| 20/mai | 24,22 | 15,97 | 65,93 | 75,78 |
| 22/mai | 18,35 | 8,45 | 46,04 | 81,65 |
| 27/mai | 21,84 | 7,94 | 36,38 | 78,16 |
| 29/mai | 22,60 | 10,14 | 44,87 | 77,40 |
| Média | 23 | 8 | 42 | 77 |
| Desvio padrão | 13 | 4 | 17 | 13 |
| Coefficiente de variação | 57 | 42 | 40 | 17 |
| Máximo | 63 | 16 | 77 | 92 |
| Mínimo | 8 | 4 | 6 | 37 |

Tabela IV-12 Resultados experimentais ponto P9

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 7,80 | 3,31 | 42,50 | 92,20 |
| 21/mar | 6,76 | 3,03 | 44,84 | 93,24 |
| 25/mar | 6,44 | 2,86 | 44,48 | 93,56 |
| 10/abr | 5,97 | 3,45 | 57,81 | 94,03 |
| 11/abr | 3,77 | 1,76 | 46,49 | 96,23 |
| 14/abr | 5,77 | 2,97 | 51,48 | 94,23 |
| 15/abr | 5,10 | 2,42 | 47,35 | 94,90 |
| 16/abr | 7,57 | 2,73 | 36,09 | 92,43 |
| 17/abr | 5,12 | 2,41 | 47,16 | 94,88 |
| 21/abr | 4,79 | 2,47 | 51,63 | 95,21 |
| 22/abr | 4,35 | 2,29 | 52,67 | 95,65 |
| 23/abr | 5,05 | 2,83 | 55,96 | 94,95 |
| 29/abr | 5,21 | 2,83 | 54,44 | 94,79 |
| 2/mai | 4,89 | 2,54 | 51,88 | 95,11 |
| 5/mai | 5,61 | 3,05 | 54,35 | 94,39 |
| 7/mai | 6,56 | 3,29 | 50,17 | 93,44 |
| 13/mai | 5,42 | 3,02 | 55,82 | 94,58 |
| 14/mai | 5,62 | 2,81 | 49,89 | 94,38 |
| 17/mai | 6,91 | 3,53 | 51,10 | 93,09 |
| 20/mai | 4,71 | 2,64 | 56,06 | 95,29 |
| 22/mai | 6,01 | 2,81 | 46,64 | 93,99 |
| 27/mai | 5,05 | 2,77 | 54,88 | 94,95 |
| 29/mai | 5,39 | 2,66 | 49,46 | 94,61 |
| Média | 6 | 3 | 50 | 94 |
| Desvio padrão | 1 | 0 | 5 | 1 |
| Coefficiente de variação | 18 | 14 | 10 | 1 |
| Máximo | 8 | 4 | 58 | 96 |
| Mínimo | 4 | 2 | 36 | 92 |

Tabela IV-13 Resultados experimentais ponto P10

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 5,61 | 3,50 | 62,419 | 94,39 |
| 21/mar | 9,44 | 5,03 | 53,249 | 90,56 |
| 25/mar | 9,03 | 4,43 | 49,096 | 90,97 |
| 10/abr | 6,18 | 3,11 | 50,361 | 93,82 |
| 11/abr | 5,60 | 2,95 | 52,754 | 94,40 |
| 14/abr | 6,27 | 3,64 | 58,029 | 93,73 |
| 15/abr | 7,81 | 3,81 | 48,758 | 92,19 |
| 16/abr | 7,06 | 3,65 | 51,761 | 92,94 |
| 17/abr | 6,48 | 3,42 | 52,809 | 93,52 |
| 21/abr | 6,80 | 4,40 | 64,643 | 93,20 |
| 22/abr | 6,00 | 3,30 | 55,092 | 94,00 |
| 23/abr | 6,52 | 3,62 | 55,571 | 93,48 |
| 29/abr | 6,21 | 3,74 | 60,308 | 93,79 |
| 2/mai | 6,64 | 4,32 | 64,987 | 93,36 |
| 5/mai | 6,87 | 4,19 | 60,929 | 93,13 |
| 7/mai | 7,20 | 4,10 | 57,034 | 92,80 |
| 13/mai | 8,47 | 4,75 | 56,078 | 91,53 |
| 14/mai | 6,56 | 3,74 | 56,995 | 93,44 |
| 17/mai | 8,98 | 4,74 | 52,823 | 91,02 |
| 20/mai | 4,89 | 3,04 | 62,278 | 95,11 |
| 22/mai | 6,55 | 3,77 | 57,574 | 93,45 |
| 27/mai | 6,07 | 3,69 | 60,764 | 93,93 |
| 29/mai | 7,50 | 4,28 | 57,105 | 92,50 |
| Média | 7 | 4 | 57 | 93 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 5 | 1 |
| Coefficiente de variação | 17 | 15 | 8 | 1 |
| Máximo | 9 | 5 | 65 | 95 |
| Mínimo | 5 | 3 | 49 | 91 |

Tabela IV-14 Resultados experimentais ponto P11

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 7,76 | 5,34 | 68,89 | 92,24 |
| 21/mar | 15,88 | 9,50 | 59,85 | 84,12 |
| 25/mar | 6,79 | 4,30 | 63,34 | 93,21 |
| 10/abr | 12,28 | 4,76 | 38,79 | 87,72 |
| 11/abr | 14,16 | 11,30 | 79,82 | 85,84 |
| 14/abr | 13,06 | 9,98 | 76,42 | 86,94 |
| 15/abr | 15,01 | 10,77 | 71,75 | 84,99 |
| 16/abr | 12,03 | 8,32 | 69,15 | 87,97 |
| 17/abr | 14,96 | 12,18 | 81,42 | 85,04 |
| 21/abr | 12,29 | 10,29 | 83,76 | 87,71 |
| 22/abr | 13,14 | 11,11 | 84,57 | 86,86 |
| 23/abr | 13,11 | 11,09 | 84,59 | 86,89 |
| 29/abr | 10,30 | 8,38 | 81,34 | 89,70 |
| 2/mai | 9,12 | 6,97 | 76,44 | 90,88 |
| 5/mai | 11,85 | 9,11 | 76,89 | 88,15 |
| 7/mai | 6,93 | 4,46 | 64,39 | 93,07 |
| 13/mai | 12,41 | 10,25 | 82,64 | 87,59 |
| 14/mai | 7,82 | 5,46 | 69,80 | 92,18 |
| 17/mai | 8,20 | 5,82 | 70,96 | 91,80 |
| 20/mai | 14,05 | 19,03 | 135,42 | 85,95 |
| 22/mai | 10,44 | 8,10 | 77,56 | 89,56 |
| 27/mai | 14,26 | 10,82 | 75,83 | 85,74 |
| 29/mai | 12,87 | 10,33 | 80,22 | 87,13 |
| Média | 12 | 9 | 76 | 88 |
| Desvio padrão | 3 | 3 | 17 | 3 |
| Coefficiente de variação | 23 | 37 | 22 | 3 |
| Máximo | 16 | 19 | 135 | 93 |
| Mínimo | 7 | 4 | 39 | 84 |

Tabela IV-15 Resultados experimentais ponto P12

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 7,83 | 4,14 | 53 | 92,17 |
| 21/mar | 7,84 | 4,03 | 51 | 92,16 |
| 25/mar | 7,74 | 3,82 | 49 | 92,26 |
| 10/abr | 5,57 | 2,82 | 51 | 94,43 |
| 11/abr | 5,31 | 2,85 | 54 | 94,69 |
| 14/abr | 5,11 | 2,90 | 57 | 94,89 |
| 15/abr | 6,29 | 3,37 | 54 | 93,71 |
| 16/abr | 6,17 | 3,37 | 55 | 93,83 |
| 17/abr | 6,16 | 3,27 | 53 | 93,84 |
| 21/abr | 4,69 | 2,61 | 56 | 95,31 |
| 22/abr | 5,51 | 3,28 | 59 | 94,49 |
| 23/abr | 5,78 | 3,35 | 58 | 94,22 |
| 29/abr | 5,53 | 3,41 | 62 | 94,47 |
| 2/mai | 5,14 | 2,90 | 56 | 94,86 |
| 5/mai | 6,16 | 3,70 | 60 | 93,84 |
| 7/mai | 6,36 | 3,66 | 58 | 93,64 |
| 13/mai | 6,87 | 4,02 | 58 | 93,13 |
| 14/mai | 6,07 | 3,95 | 65 | 93,93 |
| 17/mai | 7,04 | 4,10 | 58 | 92,96 |
| 20/mai | 4,61 | 2,91 | 63 | 95,39 |
| 22/mai | 5,82 | 3,47 | 60 | 94,18 |
| 27/mai | 5,42 | 3,13 | 58 | 94,58 |
| 29/mai | 4,94 | 3,33 | 68 | 95,06 |
| Média | 6 | 3 | 58 | 94 |
| Desvio padrão | 1 | 0 | 4 | 1 |
| Coeficiente de variação | 14 | 12 | 7 | 1 |
| Máximo | 8 | 4 | 68 | 95 |
| Mínimo | 5 | 3 | 49 | 92 |

Tabela IV-16 Resultados experimentais ponto P13

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 28,93 | 7,91 | 27,34 | 71,07 |
| 21/mar | 19,76 | 6,86 | 34,72 | 80,24 |
| 25/mar | 17,46 | 6,10 | 34,94 | 82,54 |
| 10/abr | 18,67 | 9,73 | 52,09 | 81,33 |
| 11/abr | 19,33 | 9,53 | 49,28 | 80,67 |
| 14/abr | 13,90 | 8,02 | 57,73 | 86,10 |
| 15/abr | 14,27 | 7,94 | 55,63 | 85,73 |
| 16/abr | 11,82 | 6,24 | 52,81 | 88,18 |
| 17/abr | 15,58 | 7,58 | 48,65 | 84,42 |
| 21/abr | 15,02 | 9,43 | 62,81 | 84,98 |
| 22/abr | 20,75 | 10,23 | 49,32 | 79,25 |
| 23/abr | 14,12 | 7,23 | 51,23 | 85,88 |
| 29/abr | 18,26 | 9,84 | 53,93 | 81,74 |
| 2/mai | 14,60 | 8,80 | 60,23 | 85,40 |
| 5/mai | 15,71 | 8,66 | 55,10 | 84,29 |
| 7/mai | 11,63 | 6,44 | 55,42 | 88,37 |
| 13/mai | 21,80 | 8,98 | 41,17 | 78,20 |
| 14/mai | 12,74 | 7,00 | 54,97 | 87,26 |
| 17/mai | 23,32 | 7,92 | 33,97 | 76,68 |
| 20/mai | 26,04 | 15,20 | 58,36 | 73,96 |
| 22/mai | 17,09 | 6,42 | 37,56 | 82,91 |
| 27/mai | 25,60 | 14,72 | 57,49 | 74,40 |
| 29/mai | 13,31 | 6,35 | 47,68 | 86,69 |
| Média | 18 | 9 | 49 | 82 |
| Desvio padrão | 5 | 2 | 10 | 5 |
| Coefficiente de variação | 27 | 28 | 20 | 6 |
| Máximo | 29 | 15 | 63 | 88 |
| Mínimo | 12 | 6 | 27 | 71 |

Tabela IV-17 Resultados experimentais ponto P14

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 6,38 | 3,78 | 59,18 | 93,62 |
| 21/mar | 6,49 | 4,08 | 62,93 | 93,51 |
| 25/mar | 5,91 | 3,54 | 59,87 | 94,09 |
| 10/abr | 5,09 | 2,89 | 56,78 | 94,91 |
| 11/abr | 4,22 | 2,29 | 54,21 | 95,78 |
| 14/abr | 5,58 | 3,32 | 59,45 | 94,42 |
| 15/abr | 6,44 | 3,82 | 59,34 | 93,56 |
| 16/abr | 4,82 | 2,62 | 54,24 | 95,18 |
| 17/abr | 5,32 | 3,02 | 56,81 | 94,68 |
| 21/abr | 4,71 | 2,70 | 57,30 | 95,29 |
| 22/abr | 5,38 | 3,48 | 64,70 | 94,62 |
| 23/abr | 5,13 | 3,03 | 59,09 | 94,87 |
| 29/abr | 4,98 | 3,19 | 64,10 | 95,02 |
| 2/mai | 5,00 | 3,03 | 60,58 | 95,00 |
| 5/mai | 5,53 | 3,58 | 64,82 | 94,47 |
| 7/mai | 7,75 | 5,06 | 65,35 | 92,25 |
| 13/mai | 5,90 | 3,80 | 64,32 | 94,10 |
| 14/mai | 6,98 | 4,33 | 61,99 | 93,02 |
| 17/mai | 6,52 | 4,47 | 68,55 | 93,48 |
| 20/mai | 4,40 | 2,83 | 64,26 | 95,60 |
| 22/mai | 5,38 | 3,37 | 62,61 | 94,62 |
| 27/mai | 4,71 | 2,91 | 61,76 | 95,29 |
| 29/mai | 5,70 | 3,53 | 61,95 | 94,30 |
| Média | 6 | 3 | 61 | 94 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 4 | 1 |
| Coeficiente de variação | 16 | 19 | 6 | 1 |
| Máximo | 8 | 5 | 69 | 96 |
| Mínimo | 4 | 2 | 54 | 92 |

Tabela IV-18 Resultados experimentais ponto P15

| Data | ST (%) | SV (%) | Razão SV/ST (%) | Humidade (%) |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 20/mar | 5,98 | 3,40 | 56,85 | 94,02 |
| 21/mar | 6,31 | 3,44 | 54,54 | 93,69 |
| 25/mar | 5,80 | 3,33 | 57,34 | 94,20 |
| 10/abr | 2,91 | 1,41 | 48,67 | 97,09 |
| 11/abr | 3,94 | 2,14 | 54,40 | 96,06 |
| 14/abr | 5,07 | 2,93 | 57,82 | 94,93 |
| 15/abr | 11,10 | 6,54 | 58,97 | 88,90 |
| 16/abr | 6,40 | 3,55 | 55,49 | 93,60 |
| 17/abr | 6,56 | 3,76 | 57,35 | 93,44 |
| 21/abr | 6,35 | 3,25 | 51,10 | 93,65 |
| 22/abr | 4,36 | 2,54 | 58,24 | 95,64 |
| 23/abr | 5,28 | 3,11 | 58,80 | 94,72 |
| 29/abr | 4,68 | 2,84 | 60,74 | 95,32 |
| 2/mai | 4,87 | 2,85 | 58,61 | 95,13 |
| 5/mai | 5,73 | 3,59 | 62,73 | 94,27 |
| 7/mai | 5,47 | 3,25 | 59,37 | 94,53 |
| 13/mai | 5,89 | 3,61 | 61,31 | 94,11 |
| 14/mai | 5,45 | 3,31 | 60,82 | 94,55 |
| 17/mai | 6,27 | 3,93 | 62,62 | 93,73 |
| 20/mai | 4,34 | 2,67 | 61,53 | 95,66 |
| 22/mai | 5,35 | 3,34 | 62,48 | 94,65 |
| 27/mai | 4,34 | 2,59 | 59,66 | 95,66 |
| 29/mai | 5,54 | 3,51 | 63,29 | 94,46 |
| Média | 6 | 3 | 58 | 94 |
| Desvio padrão | 2 | 1 | 4 | 2 |
| Coeficiente de variação | 27 | 28 | 6 | 2 |
| Máximo | 11 | 7 | 63 | 97 |
| Mínimo | 3 | 1 | 49 | 89 |

Tabela IV-19 Variação da razão água/FORSU no pulper durante o período de caracterização do sistema de TMH da FORSU

| Data | Razão Água/FORSU (Real) | Redução | Média |
|--------|-------------------------|----------------|-----------------------|
| | (m ³ /ton) | | (m ³ /ton) |
| 20/mar | 2,44 | 1 ^a | 2,37 |
| 21/mar | 2,47 | | |
| 25/mar | 2,20 | | |
| 10/abr | 3,05 | 2 ^a | 2,51 |
| 11/abr | 3,82 | | |
| 14/abr | 2,37 | | |
| 15/abr | 2,23 | | |
| 16/abr | 2,14 | | |
| 17/abr | 2,33 | | |
| 21/abr | 2,25 | | |
| 22/abr | 2,52 | | |
| 23/abr | 2,26 | | |
| 29/abr | 2,08 | | |
| 2/mai | 1,86 | 3 ^a | 1,90 |
| 5/mai | 1,98 | | |
| 7/mai | 1,88 | | |
| 13/mai | 1,88 | | |
| 14/mai | 1,78 | 4 ^a | 1,80 |
| 17/mai | 1,8 | | |
| 20/mai | 1,79 | | |
| 22/mai | 1,81 | | |
| 27/mai | 1,83 | | |
| 29/mai | 1,63 | 5 ^a | 1,63 |

**Anexo V – Critérios e dados de operação e controlo
fornecidos pela ERSUC**

Tabela V-1 Critérios de operação dos digestores anaeróbios

| Critérios de operação dos digestores anaeróbios | |
|--|-------|
| Temperatura (°C) | 37-40 |
| TRH (dias) | 14-16 |

Tabela V-2 Dados diários de controlo do DG1 relativos ao 1º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade (%) | ST _{entrada} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|----------------------------|--|-----------------|------------------------------|----------------------------|--|-----------------|-------------------|------------------------------|------|---------------|
| 1/jan | | | | | | | | | | | | |
| 2/jan | | | | | 4,73 | 2,18 | 45,98 | 95,27 | | 27,49 | | |
| 3/jan | | | | | | | | | | 26,79 | | 37 |
| 4/jan | | | | | | | | | | 26,73 | | 26 |
| 5/jan | | | | | | | | | | | | |
| 6/jan | | | | | | | | | | 26,27 | | |
| 7/jan | | | | | 3,85 | 1,78 | 46,14 | 96,15 | | 26,10 | 7,74 | |
| 8/jan | | | | | 4,00 | 1,94 | 48,63 | 96,00 | | 25,97 | 7,94 | 30 |
| 9/jan | | | | | 3,99 | 1,98 | 49,53 | 96,01 | | 25,80 | 7,59 | 27 |
| 10/jan | 4,98 | 2,89 | 58,02 | 95,02 | 3,65 | 1,71 | 46,78 | 96,35 | 41 | 25,74 | 7,42 | 12 |
| 11/jan | | | | | | | | | | 25,70 | | 19 |
| 12/jan | | | | | | | | | | | | |
| 13/jan | 4,25 | 2,45 | 57,59 | 95,75 | 3,51 | 1,78 | 50,81 | 96,49 | 27 | 25,43 | | 16 |
| 14/jan | 6,73 | 4,12 | 61,25 | 93,27 | 3,74 | 1,88 | 50,36 | 96,26 | 54 | 25,32 | | 17 |
| 15/jan | | | | | 4,06 | 1,90 | 46,77 | 95,94 | | 25,24 | | 19 |
| 16/jan | | | | | 3,99 | 1,80 | 45,20 | 96,01 | | 25,17 | 7,53 | 42 |
| 17/jan | | | | | | | | | | 25,15 | | |
| 18/jan | | | | | | | | | | 25,71 | | |
| 19/jan | | | | | | | | | | | | |
| 20/jan | 7,01 | 4,29 | 61,16 | 92,99 | 4,36 | 1,99 | 45,78 | 95,64 | 53 | 25,76 | | 23 |
| 21/jan | | | | | 3,55 | 1,57 | 44,25 | 96,45 | | 25,71 | 7,73 | 33 |
| 22/jan | 4,98 | 2,90 | 58,27 | 95,02 | | | | | | 25,62 | | 28 |

Tabela V-3 Dados diários de controle do DG1 relativos ao 1º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade (%) | ST _{entrada} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|----------------------------|--|-----------------|------------------------------|----------------------------|--|-----------------|-------------------|------------------------------|------|---------------|
| 23/jan | | | | | 3,28 | 1,49 | 45,34 | 96,72 | | 25,73 | | |
| 24/jan | | | | | | | | | | 25,85 | | |
| 25/jan | | | | | | | | | | 25,86 | | 33 |
| 26/jan | | | | | | | | | | | | |
| 27/jan | 5,26 | 3,01 | 57,18 | 94,74 | 4,05 | 1,70 | 42,08 | 95,95 | 43 | 25,77 | | 31 |
| 28/jan | 5,85 | 3,52 | 60,19 | 94,15 | 3,66 | 1,57 | 42,97 | 96,34 | 55 | 25,65 | 7,68 | 20 |
| 29/jan | 7,91 | 4,21 | 53,24 | 92,09 | | | | | | 25,57 | | 19 |
| 30/jan | | | | | 3,39 | 1,55 | 45,62 | 96,61 | | 25,55 | 7,60 | 21 |
| 31/jan | 8,22 | 4,61 | 56,06 | 91,78 | 3,57 | 1,70 | 47,67 | 96,43 | 63 | 25,60 | 7,59 | 16 |
| 1/fev | | | | | | | | | | 25,85 | | 11 |
| 2/fev | | | | | | | | | | | | |
| 3/fev | | | | | | | | | | 25,49 | | 20 |
| 4/fev | 7,99 | 4,94 | 61,90 | 92,01 | 3,99 | 1,85 | 46,26 | 96,01 | 63 | 25,32 | 7,65 | 9 |
| 5/fev | | | | | 3,76 | 1,78 | 47,31 | 96,24 | | 25,56 | | 8 |
| 6/fev | 7,60 | 4,05 | 53,30 | 92,40 | 4,17 | 2,21 | 52,85 | 95,83 | 46 | 25,47 | 7,64 | 10 |
| 7/fev | 5,92 | 3,47 | 58,67 | 94,08 | 3,78 | 1,93 | 51,14 | 96,22 | 44 | 25,66 | 7,59 | 9 |
| 8/fev | | | | | | | | | | 25,73 | | 10 |
| 9/fev | | | | | | | | | | | | |
| 10/fev | | | | | | | | | | 25,71 | | 29 |
| 11/fev | 6,87 | 4,32 | 62,96 | 93,13 | 3,86 | 1,98 | 51,25 | 96,14 | 54 | 25,98 | 7,38 | 37 |
| 12/fev | | | | | 4,74 | 2,13 | 44,98 | 95,26 | | 25,79 | 7,34 | |
| 13/fev | | | | | | | | | | 25,55 | 7,41 | |
| 14/fev | 5,11 | 3,05 | 59,67 | 94,89 | 5,43 | 2,37 | 43,61 | 94,57 | 22 | 25,39 | 7,58 | |
| 15/fev | | | | | 5,14 | 2,15 | 41,80 | 94,86 | | 24,98 | 7,67 | |
| 16/fev | | | | | | | | | | | | |
| 17/fev | 5,80 | 3,69 | 63,73 | 94,20 | 4,09 | 2,00 | 48,95 | 95,91 | 46 | 25,77 | 7,79 | |

Tabela V-6 Dados diários de controlo do DG1 relativos ao 1º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade (%) | ST _{entrada} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|--|-----------------|------------------------------|----------------------------|--|-----------------|-------------------|------------------------------|------|---------------|
| 18/fev | | | | | 3,61 | 1,57 | 43,44 | 96,39 | | 25,87 | 7,82 | 37 |
| 19/fev | 5,64 | 3,20 | 56,86 | 94,36 | 3,49 | 1,56 | 44,71 | 96,51 | 51 | 26,05 | 7,74 | 64 |
| 20/fev | 5,46 | 3,14 | 57,60 | 94,54 | 5,55 | 2,57 | 46,37 | 94,45 | 18 | 26,15 | 7,77 | 53 |
| 21/fev | | | | | | | | | | 26,32 | | 48 |
| 22/fev | | | | | | | | | | 26,50 | | 23 |
| 23/fev | | | | | | | | | | | | |
| 24/fev | 6,22 | 3,73 | 59,92 | 93,78 | 4,73 | 2,30 | 48,53 | 95,27 | 38 | 26,74 | 7,76 | 35 |
| 25/fev | | | | | 4,81 | 2,27 | 47,30 | 95,19 | | 26,82 | 7,66 | 36 |
| 26/fev | 6,75 | 4,20 | 62,21 | 93,25 | 5,56 | 2,15 | 38,67 | 94,44 | 49 | 27,08 | 7,66 | 29 |
| 27/fev | 5,29 | 3,33 | 63,00 | 94,71 | 3,80 | 1,59 | 41,90 | 96,20 | 52 | 27,32 | 7,60 | 25 |
| 28/fev | 6,45 | 3,78 | 58,55 | 93,55 | 4,06 | 1,77 | 43,46 | 95,94 | 53 | 27,44 | 7,77 | 27 |
| Média | 6 | 4 | 59 | 94 | 4 | 2 | 46 | 96 | 46 | 26 | 8 | 26 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | 12 | 1 | 0 | 13 |
| Coeficiente de variação | 18 | 18 | 5 | 1 | 15 | 14 | 7 | 1 | 27 | 2 | 2 | 49 |
| Máximo | 8 | 5 | 64 | 96 | 6 | 3 | 53 | 97 | 63 | 27 | 8 | 64 |
| Mínimo | 4 | 2 | 53 | 92 | 3 | 1 | 39 | 94 | 18 | 25 | 7 | 8 |

Tabela V-9 Dados diários de controlo do DG2 relativos ao 1º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade entrada (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade saída (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------|------------------------|------|------------|
| 1/jan | | | | | | | | | | | | |
| 2/jan | | | | | 3,65 | 1,63 | 44,73 | 96,35 | | 28,14 | | |
| 3/jan | | | | | | | | | | 28,01 | | 48 |
| 4/jan | | | | | | | | | | 27,72 | | 34 |
| 5/jan | | | | | | | | | | | | |
| 6/jan | | | | | | | | | | 27,18 | | |
| 7/jan | | | | | 3,90 | 1,89 | 48,51 | 96,10 | | 27,10 | 7,86 | |
| 8/jan | | | | | 3,96 | 1,86 | 47,08 | 96,04 | | 27,01 | 7,89 | 40 |
| 9/jan | | | | | 4,77 | 2,24 | 46,89 | 95,23 | | 26,96 | 7,67 | 38 |
| 10/jan | 4,98 | 2,89 | 58,02 | 95,02 | 5,49 | 2,53 | 46,09 | 94,51 | 12 | 26,55 | 7,57 | 15 |
| 11/jan | | | | | | | | | | 26,84 | | 23 |
| 12/jan | | | | | | | | | | | | |
| 13/jan | 4,25 | 2,45 | 57,59 | 95,75 | 3,54 | 1,61 | 45,61 | 96,46 | 34 | 27,12 | | 17 |
| 14/jan | 6,73 | 4,12 | 61,25 | 93,27 | 4,08 | 1,64 | 40,30 | 95,92 | 60 | 27,01 | 7,72 | 18 |
| 15/jan | | | | | 3,94 | 1,65 | 41,90 | 96,06 | | 27,03 | | 18 |
| 16/jan | | | | | 3,80 | 1,59 | 41,92 | 96,20 | | 27,03 | 7,65 | |
| 17/jan | | | | | | | | | | 26,93 | | |
| 18/jan | | | | | | | | | | 26,40 | | |
| 19/jan | | | | | | | | | | | | |
| 20/jan | 7,01 | 4,29 | 0,61 | 92,99 | 3,83 | 1,54 | 40,18 | 96,17 | 64 | 26,17 | | 21 |
| 21/jan | | | | | 3,62 | 1,55 | 42,74 | 96,38 | | 26,40 | 7,78 | 28 |
| 22/jan | 4,98 | 2,90 | 0,58 | 95,02 | | | | | | 26,70 | | 23 |
| 23/jan | | | | | | | | | | 26,63 | | |
| 24/jan | | | | | | | | | | 26,57 | | |

Tabela V-10 Dados diários de controlo do DG2 relativos ao 1º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade entrada (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade saída (%) | Redução SV (%) | Temperatur a média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|-----------------------|-------------------|----------------------------|------|---------------|
| 25/jan | | | | | | | | | | 26,44 | | 28 |
| 26/jan | | | | | | | | | | | | |
| 27/jan | 5,26 | 3,01 | 0,57 | 94,74 | | | | | | 26,09 | | 26 |
| 28/jan | 5,85 | 3,52 | 0,60 | 94,15 | | | | | | 25,90 | | 17 |
| 29/jan | 7,91 | 4,21 | 0,53 | 92,09 | | | | | | 25,77 | | 18 |
| 30/jan | | | | | | | | | | 25,71 | | 30 |
| 31/jan | 8,22 | 4,61 | 0,56 | 91,78 | | | | | | 25,70 | | 23 |
| 1/fev | | | | | | | | | | 25,65 | | 21 |
| 2/fev | | | | | | | | | | | | |
| 3/fev | | | | | | | | | | 25,47 | | 35 |
| 4/fev | 7,99 | 4,94 | 0,62 | 92,01 | 4,99 | 1,54 | 30,88 | 95,01 | 69 | 25,32 | 7,61 | |
| 5/fev | | | | | 4,04 | 1,62 | 40,17 | 95,96 | | 25,39 | | |
| 6/fev | 7,60 | 4,05 | 0,53 | 92,40 | 3,76 | 1,68 | 44,63 | 96,24 | 59 | 25,25 | 7,73 | |
| 7/fev | 5,92 | 3,47 | 0,59 | 94,08 | 3,76 | 1,55 | 41,20 | 96,24 | 55 | 25,16 | 7,61 | 60 |
| 8/fev | | | | | | | | | | 25,10 | | 20 |
| 9/fev | | | | | | | | | | | | |
| 10/fev | | | | | | | | | | 24,83 | | |
| 11/fev | 6,87 | 4,32 | 0,63 | 93,13 | 3,80 | 1,59 | 41,80 | 96,20 | 63 | 24,63 | 7,78 | 21 |
| 12/fev | | | | | 3,72 | 1,73 | 46,63 | 96,28 | | 24,50 | 7,77 | 25 |
| 13/fev | | | | | | | | | | 25,66 | 7,63 | 20 |
| 14/fev | 5,11 | 3,05 | 0,60 | 94,89 | 3,57 | 1,58 | 44,35 | 96,43 | 48 | 25,17 | 7,7 | 25 |
| 15/fev | | | | | 4,11 | 1,84 | 44,83 | 95,89 | | 25,50 | 7,73 | 12 |
| 16/fev | | | | | | | | | | | | |
| 17/fev | 5,80 | 3,69 | 0,64 | 94,20 | 4,91 | 2,19 | 44,59 | 95,09 | 41 | 26,56 | 7,62 | 46 |
| 18/fev | | | | | 5,83 | 2,77 | 47,49 | 94,17 | | 26,88 | 7,66 | 36 |

Tabela V-11 Dados diários de controlo do DG2 relativos ao 1º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade entrada (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade saída (%) | Redução SV (%) | Temperatur a média (°C) | pH | TRH (dias) |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|-----------------------|-------------------|----------------------------|------|---------------|
| 19/fev | 5,64 | 3,20 | 0,57 | 94,36 | 4,88 | 2,29 | 47,00 | 95,12 | 28 | 27,32 | 7,75 | 31 |
| 20/fev | 5,46 | 3,14 | 0,58 | 94,54 | 3,24 | 1,43 | 44,17 | 96,76 | 54 | 27,55 | 7,76 | 24 |
| 21/fev | | | | | | | | | | 27,82 | | 21 |
| 22/fev | | | | | | | | | | 28,07 | | 9 |
| 23/fev | | | | | | | | | | | | |
| 24/fev | 6,22 | 3,73 | 0,60 | 93,78 | 3,69 | 1,51 | 40,95 | 96,31 | 59 | 28,70 | 7,79 | 18 |
| 25/fev | | | | | 3,58 | 1,52 | 42,40 | 96,42 | | 28,90 | 7,72 | 13 |
| 26/fev | 6,75 | 4,20 | 0,62 | 93,25 | 3,26 | 1,45 | 44,51 | 96,74 | 65 | 29,33 | 7,72 | 12 |
| 27/fev | 5,29 | 3,33 | 0,63 | 94,71 | 3,25 | 1,45 | 44,59 | 96,75 | 56 | 29,76 | 7,69 | 11 |
| 28/fev | 6,45 | 3,78 | 0,59 | 93,55 | 3,61 | 1,55 | 43,04 | 96,39 | 59 | 30,44 | 7,65 | 11 |
| Média | 6 | 4 | 9 | 94 | 4 | 2 | 44 | 96 | 52 | 27 | 8 | 25 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 21 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | 15 | 1 | 0 | 11 |
| Coeficiente de variação | 18 | 18 | 234 | 1 | 16 | 20 | 8 | 1 | 30 | 5 | 1 | 45 |
| Máximo | 8 | 5 | 61 | 96 | 6 | 3 | 49 | 97 | 69 | 30 | 8 | 60 |
| Mínimo | 4 | 2 | 1 | 92 | 3 | 1 | 31 | 94 | 12 | 25 | 8 | 9 |

Tabela V-12 Dados diários de biogás produzido, biogás gerado por tonelada de FORSU e de energia elétrica produzida relativos ao 1º período

| Data | Biogás Produzido (soma dos 2 digestores) (m³/d) | Biogás gerado por FORSU (m³/ton) | Produção de energia elétrica (Kwh) |
|-------------|---|--|---|
| 1/jan | | | 7597 |
| 2/jan | 8358 | | 6158 |
| 3/jan | 2547 | 127 | 7146 |
| 4/jan | | | 8449 |
| 5/jan | | | 6618 |
| 6/jan | 9569 | | 6392 |
| 7/jan | 2509 | | 5920 |
| 8/jan | 2398 | 56 | 5655 |
| 9/jan | 2562 | 74 | 6047 |
| 10/jan | 2733 | 41 | 7999 |
| 11/jan | 3124 | 84 | 7951 |
| 12/jan | | | 6521 |
| 13/jan | | | 7695 |
| 14/jan | 10705 | 151 | 8670 |
| 15/jan | 3979 | 73 | 9329 |
| 16/jan | | | 8764 |
| 17/jan | 8474 | | 8005 |
| 18/jan | 1503 | | 8856 |
| 19/jan | | | 8496 |
| 20/jan | 8148 | 113 | 8554 |
| 21/jan | 3919 | 200 | 8507 |
| 22/jan | 4050 | 80 | 7240 |
| 23/jan | 3538 | | 8769 |
| 24/jan | 2984 | | 7850 |
| 25/jan | 2571 | 56 | 6805 |
| 26/jan | | | 6776 |
| 27/jan | 6482 | 150 | 5874 |
| 28/jan | 3382 | 42 | 7926 |
| 29/jan | 3568 | 41 | 9714 |
| 30/jan | 4263 | 64 | 10031 |
| 31/jan | 4374 | 57 | 8002 |
| 1/fev | 3688 | 43 | 9554 |
| 2/fev | | | 10052 |
| 3/fev | 9578 | 160 | 8003 |
| 4/fev | 3551 | 39 | 10862 |

Tabela V-13 Dados diários de biogás produzido, biogás gerado por tonelada de FORSU e de energia elétrica produzida relativos ao 1º período

| Data | Biogás Produzido (soma dos 2 digestores) (m³/d) | Biogás gerado por FORSU (m³/ton) | Produção de energia elétrica (Kwh) |
|-------------------------|---|--|---|
| 5/fev | 5268 | 58 | 8925 |
| 6/fev | 3948 | 42 | 7963 |
| 7/fev | 3714 | 38 | 6982 |
| 8/fev | 3619 | 28 | 6475 |
| 9/fev | | | 5240 |
| 10/fev | 3663 | 145 | 25 |
| 11/fev | 3131 | 38 | 8833 |
| 12/fev | 4659 | 141 | 7306 |
| 13/fev | 3380 | 103 | 5439 |
| 14/fev | | | 14470 |
| 15/fev | 8324 | 221 | 7718 |
| 16/fev | | | 11257 |
| 17/fev | 12688 | 377 | 11184 |
| 18/fev | 2714 | 77 | 11729 |
| 19/fev | 4531 | 102 | 11134 |
| 20/fev | 4414 | 100 | 10467 |
| 21/fev | 4392 | 58 | 9756 |
| 22/fev | 4631 | 55 | 11170 |
| 23/fev | | | 11578 |
| 24/fev | 10125 | 166 | 11488 |
| 25/fev | 4395 | 48 | 12638 |
| 26/fev | 7001 | 68 | 13270 |
| 27/fev | 6078 | 56 | 14604 |
| 28/fev | 8423 | 77 | 17166 |
| Média | 5036 | 94 | 8705 |
| Desvio padrão | 2637 | 67 | 2695 |
| Coeficiente de variação | 52 | 72 | 31 |
| Máximo | 12688 | 377 | 17166 |
| Mínimo | 1503 | 28 | 25 |

Tabela V-14 Dados diários de controlo do DG1 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade entrada (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade saída (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------|----------------------|------------------------------|------|---------------|
| 1/mar | | | | | | | | | | 27,50 | | 31 |
| 2/mar | | | | | | | | | | | | |
| 3/mar | | | | | 3,97 | 1,73 | 43,48 | 96,03 | | 27,25 | 7,74 | |
| 4/mar | | | | | 3,63 | 1,53 | 42,15 | 96,37 | | 27,21 | 7,93 | |
| 5/mar | 4,65 | 2,74 | 58,89 | 95,35 | 3,70 | 1,53 | 41,19 | 96,30 | 44 | 27,01 | 7,93 | 27 |
| 6/mar | 4,08 | 2,41 | 59,11 | 95,92 | 3,67 | 1,57 | 42,84 | 96,33 | 35 | 26,92 | 7,96 | 20 |
| 7/mar | 4,61 | 2,78 | 60,22 | 95,39 | 3,52 | 1,57 | 44,58 | 96,48 | 43 | 26,98 | 7,95 | 20 |
| 8/mar | | | | | | | | | | 27,12 | | 30 |
| 9/mar | | | | | | | | | | | | |
| 10/mar | 4,73 | 2,64 | 55,84 | 95,27 | | | | | | | | 26 |
| 11/mar | | | | | | | | | | | | 23 |
| 12/mar | | | | | 3,52 | 1,48 | 42,14 | 96,48 | | 27,39 | | 24 |
| 13/mar | 5,61 | 2,89 | 51,63 | 94,39 | 3,48 | 1,52 | 43,77 | 96,52 | 47 | 27,75 | 7,94 | 24 |
| 14/mar | 5,92 | 3,31 | 55,99 | 94,08 | 3,44 | 1,44 | 41,93 | 96,56 | 56 | 28,26 | 7,93 | 19 |
| 15/mar | 6,54 | 3,35 | 51,27 | 93,46 | 3,35 | 1,47 | 43,97 | 96,65 | 56 | 28,71 | 7,94 | 12 |
| 16/mar | | | | | | | | | | | | |
| 17/mar | 5,13 | 2,84 | 55,46 | 94,87 | 3,21 | 1,35 | 41,95 | 96,79 | 53 | 29,47 | 7,95 | 23 |
| 18/mar | | | | | 3,22 | 1,37 | 42,57 | 96,78 | | 26,59 | 7,95 | 38 |
| 19/mar | | | | | 3,48 | 1,52 | 43,58 | 96,52 | | 29,82 | 7,97 | 24 |
| 20/mar | | | | | 3,45 | 1,50 | 43,38 | 96,55 | | 30,04 | 7,99 | 24 |
| 21/mar | | | | | 3,36 | 7,05 | 209,97 | 96,64 | | 30,23 | 8 | 38 |
| 22/mar | | | | | | | | | | 30,30 | | 26 |
| 23/mar | | | | | | | | | | | | |
| 24/mar | 4,32 | 2,19 | 50,81 | 95,68 | 3,74 | 1,58 | 42,34 | 96,26 | 28 | 30,13 | | 21 |

Tabela V-15 Dados diários de controle do DG1 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade entrada (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade saída (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------|----------------------|------------------------------|------|---------------|
| 25/mar | 6,53 | 3,81 | 58,34 | 93,47 | 3,47 | 1,45 | 41,74 | 96,53 | 62 | 30,11 | | 19 |
| 26/mar | | | | | | | | | | 30,11 | | |
| 27/mar | | | | | 3,75 | 1,51 | 40,23 | 96,25 | | 30,06 | | 76 |
| 28/mar | | | | | 3,83 | 1,66 | 43,31 | 96,17 | | 29,93 | | |
| 29/mar | | | | | | | | | | 29,91 | | |
| 30/mar | | | | | | | | | | | | |
| 31/mar | | | | | | | | | | 29,67 | | |
| 1/abr | | | | | | | | | | 29,48 | | |
| 2/abr | | | | | 3,37 | 1,45 | 43,12 | 96,63 | | 29,25 | | |
| 3/abr | | | | | | | | | | 29,27 | | |
| 4/abr | | | | | | | | | | 29,16 | | |
| 5/abr | | | | | | | | | | 29,05 | | |
| 6/abr | | | | | | | | | | | | |
| 7/abr | | | | | 3,50 | 1,59 | 45,55 | 96,50 | | 29,11 | | |
| 8/abr | | | | | | | | | | 29,14 | | |
| 9/abr | | | | | | | | | | 29,12 | 8,02 | |
| 10/abr | | | | | | | | | | 29,10 | | 50 |
| 11/abr | | | | | | | | | | 29,11 | | 35 |
| 12/abr | | | | | | | | | | 29,19 | | 16 |
| 13/abr | | | | | | | | | | | | |
| 14/abr | | | | | | | | | | 29,33 | | 27 |
| 15/abr | 5,45 | 3,01 | 55,22 | 94,55 | 3,13 | 1,34 | 42,85 | 96,87 | 55 | 29,47 | | 23 |
| 16/abr | 5,05 | 2,89 | 57,24 | 94,95 | | | | | | 29,67 | 7,97 | 17 |
| 17/abr | | | | | 3,11 | 1,36 | 43,73 | 96,89 | | 29,93 | 7,57 | 17 |
| 18/abr | | | | | | | | | | 30,07 | | 18 |
| 19/abr | | | | | | | | | | 30,15 | | 11 |

Tabela V-16 Dados diários de controlo do DG1 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade entrada (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade saída (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------|----------------------|------------------------------|------|---------------|
| 20/abr | | | | | | | | | | | | |
| 21/abr | 4,37 | 2,45 | 56,11 | 95,63 | 3,32 | 1,31 | 39,37 | 96,68 | 47 | 30,16 | 8,06 | 13 |
| 22/abr | | | | | | | | | | 30,20 | | 14 |
| 23/abr | | | | | 4,04 | 1,50 | 37,20 | 95,96 | | 30,30 | 7,86 | 18 |
| 24/abr | 5,44 | 3,28 | 60,27 | 94,56 | 3,68 | 1,38 | 37,53 | 96,32 | 58 | 30,34 | | 20 |
| 25/abr | | | | | | | | | | 30,32 | | 29 |
| 26/abr | | | | | | | | | | 30,26 | | 18 |
| 27/abr | | | | | | | | | | | | |
| 28/abr | 4,65 | 2,88 | 61,96 | 95,35 | 3,91 | 1,46 | 37,43 | 96,09 | 49 | 30,25 | 8,09 | 20 |
| 29/abr | 4,51 | 2,76 | 61,09 | 95,49 | 3,58 | 1,37 | 38,19 | 96,42 | 50 | 30,40 | | 19 |
| 30/abr | | | | | | | | | | 30,51 | | 22 |
| 1/mai | | | | | | | | | | 30,59 | | 27 |
| 2/mai | 5,73 | 3,17 | 55,25 | 94,27 | 3,32 | 1,29 | 38,77 | 96,68 | 59 | 30,79 | 8,05 | 13 |
| 3/mai | | | | | | | | | | 31,12 | | 11 |
| 4/mai | | | | | | | | | | | | |
| 5/mai | 4,49 | 2,57 | 57,27 | 95,51 | 3,31 | 0,27 | 8,12 | 96,69 | 90 | 31,44 | 7,96 | 13 |
| 6/mai | 5,73 | 3,17 | 55,39 | 94,27 | 3,32 | 1,29 | 38,83 | 96,68 | 59 | 31,61 | 8,07 | 14 |
| 7/mai | 6,12 | 3,92 | 63,94 | 93,88 | 3,22 | 1,34 | 41,43 | 96,78 | 66 | 31,80 | 8,05 | 16 |
| 8/mai | 5,44 | 3,33 | 61,11 | 94,56 | 3,21 | 1,35 | 41,98 | 96,79 | 60 | 31,95 | 8 | 12 |
| 9/mai | | | | | | | | | | 32,04 | | 16 |
| 10/mai | | | | | | | | | | 32,12 | | 15 |
| 11/mai | | | | | | | | | | | | |
| 12/mai | 4,35 | 2,51 | 57,76 | 95,65 | 3,02 | 1,24 | 41,20 | 96,98 | 51 | 32,05 | 8,03 | 13 |
| 13/mai | 5,93 | 3,63 | 61,19 | 94,07 | 3,50 | 1,38 | 39,53 | 96,50 | 62 | 32,09 | 8,04 | 15 |
| 14/mai | 6,48 | 3,84 | 59,17 | 93,52 | 2,95 | 1,16 | 39,43 | 97,05 | 70 | 32,31 | 8,16 | 13 |

Tabela V-17 Dados diários de controle do DG1 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | Humidade entrada (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Humidade saída (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------|----------------------|------------------------------|------|---------------|
| 15/mai | 6,57 | 3,81 | 57,97 | 93,43 | 3,51 | 1,38 | 39,31 | 96,49 | 64 | 32,64 | 7,97 | 13 |
| 16/mai | 4,58 | 2,73 | 59,63 | 95,42 | 3,32 | 1,31 | 39,62 | 96,68 | 52 | 32,81 | | 24 |
| 17/mai | | | | | | | | | | 32,95 | | 13 |
| 18/mai | | | | | | | | | | | | |
| 19/mai | 5,96 | 3,63 | 60,87 | 94,04 | 3,49 | 1,26 | 36,24 | 96,51 | 65 | 33,14 | | 13 |
| 20/mai | 3,64 | 1,98 | 54,46 | 96,36 | 2,17 | 0,80 | 36,85 | 97,83 | 60 | 33,01 | | 11 |
| 21/mai | 6,01 | 3,45 | 57,39 | 93,99 | | | | | | 32,81 | | 14 |
| 22/mai | 4,98 | 3,16 | 63,41 | 95,02 | 3,18 | 1,33 | 41,84 | 96,82 | 58 | 32,68 | | 13 |
| 23/mai | | | | | | | | | | 32,62 | | 17 |
| 24/mai | | | | | | | | | | 32,58 | | 13 |
| 25/mai | | | | | | | | | | | | |
| 26/mai | 4,22 | 2,16 | 51,18 | 95,78 | | | | | | 32,39 | | 13 |
| 27/mai | 4,42 | 2,71 | 61,31 | 95,58 | 3,08 | 1,29 | 41,88 | 96,92 | 52 | 32,37 | | 10 |
| 28/mai | | | | | | | | | | 32,47 | | 9 |
| 29/mai | 5,58 | 3,32 | 59,50 | 94,42 | 3,14 | 1,41 | 44,90 | 96,86 | 58 | 32,55 | | 13 |
| 30/mai | 7,48 | 3,51 | 46,93 | 92,52 | 3,05 | 1,3 | 42,62 | 96,95 | 63 | 32,33 | | 12 |
| 31/mai | | | | | | | | | | 32,12 | | 13 |
| Média | 5 | 3 | 57 | 95 | 3 | 2 | 44 | 97 | 56 | 30 | 8,0 | 20 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 26 | 0 | 11 | 2 | 0,1 | 10 |
| Coeficiente de variação | 17 | 17 | 7 | 1 | 10 | 59 | 59 | 0 | 20 | 6 | 1 | 52 |
| Máximo | 7 | 4 | 64 | 96 | 4 | 7 | 210 | 98 | 90 | 33 | 8,2 | 76 |
| Mínimo | 4 | 2 | 47 | 93 | 2 | 0 | 8 | 96 | 28 | 27 | 7,6 | 9 |

Tabela V-18 Dados diários de controlo do DG2 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Humidade entrada (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Humidade saída (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|-------------------|------------------------------|------|---------------|
| 1/mar | | | | | | | | | | 30,91 | | 8 |
| 2/mar | | | | | | | | | | | | |
| 3/mar | | | | | 3,67 | 1,46 | 96,33 | 39,81 | | 31,73 | 7,85 | |
| 4/mar | | | | | | | | | | 31,52 | | 67 |
| 5/mar | 4,65 | 2,74 | 95,35 | 58,89 | 3,47 | 1,39 | 96,53 | 40,12 | 49 | 31,07 | 7,94 | 26 |
| 6/mar | 4,08 | 2,41 | 95,92 | 59,11 | 3,98 | 1,58 | 96,02 | 39,61 | 35 | 30,68 | 7,97 | 22 |
| 7/mar | 4,61 | 2,78 | 95,39 | 60,22 | 3,57 | 1,46 | 96,43 | 40,96 | 47 | 30,39 | 7,92 | 22 |
| 8/mar | | | | | | | | | | 30,42 | | 36 |
| 9/mar | | | | | | | | | | | | |
| 10/mar | 4,73 | 2,64 | 95,27 | 55,84 | 3,34 | 1,37 | 96,66 | 40,92 | 48 | 30,38 | 7,9 | 29 |
| 11/mar | | | | | 3,62 | 1,46 | 96,38 | 40,30 | | 30,69 | | 24 |
| 12/mar | | | | | | | | | | 30,97 | | 23 |
| 13/mar | 5,61 | 2,89 | 94,39 | 51,63 | 3,55 | 1,50 | 96,45 | 42,37 | 48 | 31,26 | 7,98 | 23 |
| 14/mar | 5,92 | 3,31 | 94,08 | 55,99 | 3,37 | 1,38 | 96,63 | 40,86 | 58 | 31,44 | 7,97 | 17 |
| 15/mar | 6,54 | 3,35 | 93,46 | 51,27 | 3,30 | 1,33 | 96,70 | 40,23 | 60 | 31,67 | 7,97 | 12 |
| 16/mar | | | | | | | | | | | | |
| 17/mar | 5,13 | 2,84 | 94,87 | 55,46 | 3,42 | 1,35 | 96,58 | 39,36 | 53 | 32,18 | 7,96 | 20 |
| 18/mar | | | | | 3,41 | 1,35 | 96,59 | 39,67 | | 32,23 | 7,97 | 33 |
| 19/mar | | | | | 3,50 | 1,40 | 96,50 | 40,12 | | 32,40 | 7,97 | 20 |
| 20/mar | | | | | 3,63 | 1,42 | 96,37 | 39,10 | | 32,57 | 7,98 | 20 |
| 21/mar | | | | | 3,54 | 1,44 | 96,46 | 40,61 | | 32,54 | 8,00 | 40 |
| 22/mar | | | | | | | | | | 32,50 | | 33 |
| 23/mar | | | | | | | | | | | | |

Tabela V-19 Dados diários de controlo do DG2 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Humidade entrada (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Humidade saída (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|---------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|------|------------|
| 24/mar | 4,32 | 2,19 | 95,68 | 50,81 | 3,17 | 1,30 | 96,83 | 41,14 | 41 | 32,23 | | 40 |
| 25/mar | 6,53 | 3,81 | 93,47 | 58,34 | 3,50 | 1,39 | 96,50 | 39,77 | 64 | 31,88 | | 34 |
| 26/mar | | | | | | | | | | 31,87 | | 42 |
| 27/mar | | | | | 3,21 | 1,31 | 96,79 | 40,83 | | 30,65 | | |
| 28/mar | | | | | | | | | | 32,21 | | |
| 29/mar | | | | | | | | | | 31,45 | | |
| 30/mar | | | | | | | | | | | | |
| 31/mar | | | | | | | | | | 31,74 | | |
| 1/abr | | | | | | | | | | 31,73 | | |
| 2/abr | | | | | 4,18 | 2,07 | 95,82 | 49,45 | | 31,50 | | |
| 3/abr | | | | | | | | | | 31,27 | | |
| 4/abr | | | | | | | | | | 30,99 | | |
| 5/abr | | | | | | | | | | 30,82 | | |
| 6/abr | | | | | | | | | | | | |
| 7/abr | | | | | 3,99 | 1,96 | 96,01 | 49,01 | | 30,67 | | |
| 8/abr | | | | | | | | | | 30,58 | | |
| 9/abr | | | | | | | | | | 30,59 | 7,95 | |
| 10/abr | | | | | 3,38 | 1,49 | 96,62 | 44,14 | | 30,39 | | 37 |
| 11/abr | | | | | | | | | | 30,23 | | 27 |
| 12/abr | | | | | | | | | | 30,33 | | 12 |
| 13/abr | | | | | | | | | | | | |
| 14/abr | | | | | | | | | | 30,22 | | 22 |
| 15/abr | 5,45 | 3,01 | 94,55 | 55,22 | 3,09 | 1,32 | 96,91 | 42,52 | 56 | 30,31 | | 21 |
| 16/abr | 5,05 | 2,89 | 94,95 | 57,24 | 3,11 | 1,33 | 96,89 | 42,82 | 54 | 30,45 | 7,95 | 16 |
| 17/abr | | | | | 3,06 | 1,32 | 96,94 | 43,22 | | 30,62 | 7,66 | 16 |
| 18/abr | | | | | | | | | | 30,67 | | 17 |

Tabela V-20 Dados diários de controlo do DG2 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Humidade entrada (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Humidade saída (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|--------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|-------------------|------------------------------|------|---------------|
| 19/abr | | | | | | | | | | 30,61 | | 10 |
| 20/abr | | | | | | | | | | | | |
| 21/abr | 4,37 | 2,45 | 95,63 | 56,11 | 3,08 | 1,25 | 96,92 | 40,62 | 49 | 30,72 | 7,90 | 12 |
| 22/abr | | | | | | | | | | 31,16 | | 13 |
| 23/abr | | | | | 3,36 | 1,23 | 96,64 | 36,67 | | 31,79 | 7,98 | 15 |
| 24/abr | 5,44 | 3,28 | 94,56 | 60,27 | 3,04 | 1,18 | 96,96 | 38,76 | 64 | 32,26 | | 16 |
| 25/abr | | | | | | | | | | 32,56 | | 22 |
| 26/abr | | | | | | | | | | 32,91 | | 13 |
| 27/abr | | | | | | | | | | | | |
| 28/abr | 4,65 | 2,88 | 95,35 | 61,96 | 2,99 | 1,27 | 97,01 | 42,55 | 56 | 33,40 | 8,15 | 13 |
| 29/abr | 4,51 | 2,76 | 95,49 | 61,09 | 2,80 | 1,15 | 97,20 | 41,16 | 58 | 34,29 | | 12 |
| 30/abr | | | | | | | | | | 33,31 | | 14 |
| 1/mai | | | | | | | | | | 32,58 | | 16 |
| 2/mai | 5,73 | 3,17 | 94,27 | 55,25 | 3,11 | 1,26 | 96,89 | 40,63 | 60 | 32,97 | 8,07 | 9 |
| 3/mai | | | | | | | | | | 33,05 | | 8 |
| 4/mai | | | | | | | | | | | | |
| 5/mai | 4,49 | 2,57 | 95,51 | 57,27 | 2,92 | 1,15 | 97,08 | 39,48 | 55 | 33,38 | 8,06 | 10 |
| 6/mai | 5,73 | 3,17 | 94,27 | 55,39 | 2,80 | 1,15 | 97,20 | 41,16 | 64 | 33,25 | 7,97 | 11 |
| 7/mai | 6,12 | 3,92 | 93,88 | 63,94 | 3,25 | 1,34 | 96,75 | 41,40 | 66 | 33,28 | 7,98 | 13 |
| 8/mai | 5,44 | 3,33 | 94,56 | 61,11 | 3,15 | 1,27 | 96,85 | 40,12 | 62 | 33,18 | 7,97 | 11 |
| 9/mai | | | | | | | | | | 33,13 | | 14 |
| 10/mai | | | | | | | | | | 33,09 | | 13 |
| 11/mai | | | | | | | | | | | | |
| 12/mai | 4,35 | 2,51 | 95,65 | 57,76 | 3,02 | 1,16 | 96,98 | 38,54 | 54 | 32,81 | 8,04 | 11 |
| 13/mai | 5,93 | 3,63 | 94,07 | 61,19 | 3,22 | 1,35 | 96,78 | 41,83 | 63 | 32,79 | 7,97 | 12 |

Tabela V-21 Dados diários de controlo do DG2 relativos ao 2º período

| Data | ST _{entrada} (%) | SV _{entrada} (%) | Humidade entrada (%) | Razão _{entrada} SV/ST (%) | ST _{saída} (%) | SV _{saída} (%) | Humidade saída (%) | Razão _{saída} SV/ST (%) | Redução SV (%) | Temperatura média (°C) | pH | TRH (dias) |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|-------------------|------------------------------|------|---------------|
| 14/mai | 6,48 | 3,84 | 93,52 | 59,17 | 3,06 | 1,26 | 96,94 | 41,24 | 67 | 32,91 | 8,09 | 10 |
| 15/mai | 6,57 | 3,81 | 93,43 | 57,97 | 3,18 | 1,26 | 96,82 | 39,68 | 67 | 33,34 | 7,89 | 10 |
| 16/mai | 4,58 | 2,73 | 95,42 | 59,63 | 3,00 | 1,19 | 97,00 | 39,67 | 56 | 33,48 | | 16 |
| 17/mai | | | | | | | | | | 33,73 | | 10 |
| 18/mai | | | | | | | | | | | | |
| 19/mai | 5,96 | 3,63 | 94,04 | 60,87 | 3,00 | 1,20 | 97,00 | 39,93 | 67 | 33,64 | | 10 |
| 20/mai | 3,64 | 1,98 | 96,36 | 54,46 | 3,12 | 1,27 | 96,88 | 40,88 | 36 | 33,31 | | 8 |
| 21/mai | 6,01 | 3,45 | 93,99 | 57,39 | | | | | | 32,76 | | 10 |
| 22/mai | 4,98 | 3,16 | 95,02 | 63,41 | 2,81 | 1,19 | 97,19 | 42,27 | 62 | 32,75 | | 9 |
| 23/mai | | | | | | | | | | 32,66 | | 14 |
| 24/mai | | | | | | | | | | 32,72 | | 10 |
| 25/mai | | | | | | | | | | | | |
| 26/mai | 4,22 | 2,16 | 95,78 | 51,18 | | | | | | 32,44 | | 11 |
| 27/mai | 4,42 | 2,71 | 95,58 | 61,31 | 3,23 | 1,40 | 96,77 | 43,34 | 48 | 32,37 | | 9 |
| 28/mai | | | | | | | | | | 32,48 | | 9 |
| 29/mai | 5,58 | 3,32 | 94,42 | 59,50 | 3,31 | 1,46 | 96,69 | 44,11 | 56 | 32,55 | | 15 |
| 30/mai | 7,48 | 3,51 | 92,52 | 46,93 | 2,98 | 1,26 | 97,02 | 42,28 | 64 | 32,57 | | 13 |
| 31/mai | | | | | | | | | | 32,59 | | 14 |
| Média | 5 | 3 | 95 | 57 | 3 | 1 | 97 | 41 | 56 | 32 | 8,0 | 18 |
| Desvio padrão | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 1 | 0,1 | 11 |
| Coeficiente de variação | 17 | 17 | 1 | 7 | 10 | 13 | 0 | 6 | 16 | 3 | 1 | 59 |
| Máximo | 7 | 4 | 96 | 64 | 4 | 2 | 97 | 49 | 67 | 34 | 8,2 | 67 |
| Mínimo | 4 | 2 | 93 | 47 | 3 | 1 | 96 | 37 | 35 | 30 | 7,7 | 8 |

Tabela V-22 Dados diários de biogás produzido, biogás gerado por tonelada de FORSU e de energia elétrica produzida relativos ao 2º período

| Data | Biogás Produzido (soma dos 2 DG) (m³/d) | Massa Total a Pulper (Kg/d) | Biogás gerado por FORSU (m³/ton) | Produção de energia elétrica (Kwh) |
|-------------|---|--|--|---|
| 1/mar | 7042 | 124760 | 56 | 17520 |
| 2/mar | | | | 18369 |
| 3/mar | 16094 | | | 16982 |
| 4/mar | 6029 | 19840 | 304 | 12641 |
| 5/mar | 4014 | 28710 | 140 | 10854 |
| 6/mar | 4922 | 55630 | 88 | 9725 |
| 7/mar | 5324 | 121570 | 44 | 12946 |
| 8/mar | 4478 | | | 11156 |
| 9/mar | | | | 9381 |
| 10/mar | 10146 | 28520 | 356 | 10851 |
| 11/mar | 4292 | 79430 | 54 | 8939 |
| 12/mar | 4520 | 61410 | 74 | 11270 |
| 13/mar | 5484 | 87950 | 62 | 10372 |
| 14/mar | 4988 | 74900 | 67 | 12659 |
| 15/mar | 4799 | 116910 | 41 | 13043 |
| 16/mar | | | | 13117 |
| 17/mar | 12534 | 100380 | 125 | 12431 |
| 18/mar | 4908 | 47420 | 104 | 11297 |
| 19/mar | 4807 | 80640 | 60 | 11780 |
| 20/mar | 4636 | 90300 | 51 | 10790 |
| 21/mar | 5201 | 114260 | 46 | 11985 |
| 22/mar | 3817 | | | 8491 |
| 23/mar | | | | 8947 |
| 24/mar | 7421 | 79960 | 93 | 7584 |
| 25/mar | 3326 | 85510 | 39 | 8204 |
| 26/mar | 4685 | | | 8757 |
| 27/mar | 3067 | | | 8866 |
| 28/mar | 2297 | | | 3090 |
| 29/mar | 1212 | | | 2681 |
| 30/mar | | | | 2467 |
| 31/mar | 1619 | | | 1052 |
| 1/abr | 734 | | | 1536 |
| 2/abr | 549 | | | 1189 |
| 3/abr | 505 | | | 1144 |
| 4/abr | 510 | | | 1142 |
| 5/abr | 542 | | | 1153 |
| 6/abr | | | | 782 |
| 7/abr | 919 | | | 1178 |

Tabela V-23 Dados diários de biogás produzido, biogás gerado por tonelada de FORSU e de energia elétrica produzida relativos ao 2º período

| Data | Biogás Produzido (soma dos 2 DG) (m³/d) | Massa Total a Pulper (Kg/d) | Biogás gerado por FORSU (m³/ton) | Produção de energia elétrica (Kwh) |
|-------------|---|------------------------------------|--|---|
| 8/abr | | 54490 | | 511 |
| 9/abr | 503 | 20490 | 25 | 998 |
| 10/abr | 1136 | 24280 | 47 | 2032 |
| 11/abr | 864 | 58190 | 15 | 3298 |
| 12/abr | 1956 | 66970 | 29 | 3290 |
| 13/abr | | | | 3022 |
| 14/abr | | 90660 | 77 | 7717 |
| 15/abr | 6950 | 89780 | 37 | 5688 |
| 16/abr | 3340 | 119850 | 32 | 7715 |
| 17/abr | 3795 | 148660 | 17 | 8921 |
| 18/abr | 2508 | 90480 | 72 | 10803 |
| 19/abr | 6547 | 160530 | | 10961 |
| 20/abr | | | | 12550 |
| 21/abr | 11233 | 149340 | 75 | 11132 |
| 22/abr | 5668 | 135810 | 42 | 13083 |
| 23/abr | 5985 | 119450 | 50 | 15342 |
| 24/abr | 6794 | 93940 | 72 | 14100 |
| 25/abr | 3646 | 73720 | 49 | 15340 |
| 26/abr | 7070 | 118600 | 60 | 13556 |
| 27/abr | | | | 12848 |
| 28/abr | 11416 | 131590 | 87 | 10294 |
| 29/abr | 5196 | 136470 | 38 | 12525 |
| 30/abr | 5701 | 126700 | 45 | 13368 |
| 1/mai | 5249 | 120940 | 43 | 12736 |
| 2/mai | 4603 | 233300 | 20 | 10111 |
| 3/mai | 6973 | 177490 | 39 | 16223 |
| 4/mai | | | | 16585 |
| 5/mai | 15145 | 226580 | 67 | 15354 |
| 6/mai | 7028 | 209890 | 33 | 17249 |
| 7/mai | 7583 | 190890 | 40 | 19800 |
| 8/mai | 8751 | 201730 | 43 | 20494 |
| 9/mai | 10189 | 174450 | 58 | 20478 |
| 10/mai | 7443 | 168890 | 44 | 21054 |
| 11/mai | | | | 18605 |
| 12/mai | 14804 | 226580 | 65 | 14413 |
| 13/mai | 7266 | 207240 | 35 | 17781 |
| 14/mai | 8260 | 214240 | 39 | 19521 |
| 15/mai | 8798 | 258620 | 34 | 21060 |
| 16/mai | 9734 | 130810 | 74 | 18927 |
| 17/mai | 7785 | 223560 | 35 | 21415 |
| 18/mai | | | | 20442 |
| 19/mai | 17354 | 191160 | 91 | 18494 |

Tabela V-24 Dados diários de biogás produzido, biogás gerado por tonelada de FORSU e de energia elétrica produzida relativos ao 2º período

| Data | Biogás Produzido (soma dos 2 DG) (m³/d) | Massa Total a Pulper (Kg/d) | Biogás gerado por FORSU (m³/ton) | Produção de energia elétrica (Kwh) |
|-----------------------------|---|--|--|---|
| 20/mai | 8836 | 246370 | 36 | 18552 |
| 21/mai | 7922 | 175740 | 45 | |
| 22/mai | 9475 | 201450 | 47 | 19822 |
| 23/mai | 9792 | 163480 | 60 | 23586 |
| 24/mai | 8710 | 193920 | 45 | 22588 |
| 25/mai | | | | 20049 |
| 26/mai | 16098 | 206100 | | 17613 |
| 27/mai | 8261 | 266200 | 60 | 20586 |
| 28/mai | 10029 | 293060 | 28 | 22513 |
| 29/mai | 10336 | 189190 | 53 | 24113 |
| 30/mai | | | | 24582 |
| 31/mai | | | | 24349 |
| Média | 6295 | 134920 | 63 | 12248 |
| Desvio padrão | 3961 | 68111 | 56 | 6699 |
| Coefficiente de variação | 63 | 50 | 88 | 55 |
| Máximo | 17354 | 293060 | 356 | 24582 |
| Mínimo | 503 | 19840 | 15 | 511 |