MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA A IMPLEMENTAR NUM PROCESSO DE PREPARAÇÃO DE AREIA VERDE

RICARDO FILIPE MONTEIRO CAMPOS

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Manuel Fernando Ribeiro Pereira
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Orientador académico: Cidália Maria de Sousa Botelho
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Coorientador académico: Luís Filipe Malheiros de Freitas Ferreira
(Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: João Cruz
(Engenheiro Responsável pelo Setor das Areias)

março, 2017

Agradecimentos

Este é o termino de um ciclo de mais de 5 anos da minha vida, 5 anos que ajudaram a definir a pessoa que sou hoje e, sem dúvida, a pessoa que serei no futuro. Agradeço:

Aos meus pais, pelo apoio incondicional. Por serem os meus pilares. Por serem as pessoas que fazem de mim aquilo que sou e me mostrarem o tipo de pessoa que eu quero ser. Sem vocês, este momento seria impossível, não encontro forma de expressar em palavras o quão grato estou. Devo-vos tudo.

À minha família em geral. Em especial, aos meus padrinhos e aos meus avós por serem um exemplo, à tia Ana pela paciência que teve comigo em criança e à tia Nela, por todo o interesse e todo o apoio ao longo deste percurso académico.

Ao meu menino Vilaça, por ser um irmão para mim. Por ser o companheiro das melhores histórias da minha vida e o grande apoio nas horas difíceis. Desde 1999, para a vida.

Aos fixes: Pedrão, Prata, Gui e Nina, foram uma família dentro da faculdade. Nunca deixaram de acreditar em mim mesmo quando eu próprio não sabia qual o rumo a tomar, se acabo o curso, é muito por vossa influência. Que possamos continuar a viver momentos como os de Barcelona e os da Régua por muitos anos, são a definição de amizade.

Ao pessoal da sala de ambiente, que em tão pouco tempo, se tornou tão importante. Uma segunda família da faculdade. Obrigado pela amizade, pelas noitadas, pelos cafés, pelos jantares, pelas visitas à praia, enfim, por todas as histórias incríveis que partilharam comigo.

À Caseiro e ao Stefan, por todos os momentos vividos e por me ensinarem tanto, por fazerem de mim uma pessoa melhor.

Ao pessoal de Leça, pelos primeiros anos da faculdade onde me acompanharam e partilharam todas as lutas que tive nesta casa. Obrigado pelos cafés, obrigado pelas palavras, obrigado pela amizade.

A la gente de Barcelona, que me recebeu de braços abertos noutro país e me motivou a fazer mais. Por tudo o que aprendi com vocês e pelas amizades que construímos.

A todos os meus orientadores: professor Luís Filipe Malheiros, Eng. João Cruz e professora Cidália Botelho, a quem agradeço especialmente, pela disponibilidade que sempre demonstrou em ajudar-me.

O meu mais sincero obrigado,

Ricardo Campos

Resumo

As areias verdes são um dos materiais mais utilizados na atualidade para a formação de moldações para a industria da fundição. Este material é composto, principalmente, pela mistura de um tipo de areia, ligante e água. Estes componentes devem respeitar um determinado conjunto de parâmetros de forma a assegurar a qualidade final da areia. No caso particular da água, está estabelecido que concentrações de sais (em especial de cloretos) têm um efeito negativo na ligação da bentonite (ligante) e, consequentemente, na qualidade final da areia.

Foi com base neste pressuposto que, a Sakthi Portugal, apresentou interesse em avaliar a qualidade da água utilizada no seu processo de formação de areias, de forma a assegurar que este não está, de forma alguma, condicionado pela mesma. O trabalho levado a cabo teve como objetivo inicial a realização de amostragens nos quatro locais, rio (R), reservatório (RD), pintura (P) e rede pública (C), de onde são feitas as captações de água para o processo, e a caracterização da água em termos dos parâmetros que o poderão afetar negativamente.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a água utilizada no processo não apresenta concentrações passíveis de o influenciar negativamente. No entanto, permitiram concluir também que existe uma possibilidade de contaminação devido às elevadas concentrações detetadas na pintura, em especial no caso dos cloretos. Esta contaminação pode resultar numa redução da força de tração em húmido da areia até valores da ordem dos 50%. A avaliação da qualidade da água da rede pública revelou concentrações de cloretos inferiores às obtidas quer para o rio, quer para o reservatório. Com base nesta análise, foi recomendada a separação da água dos dois setores, eliminando por completo a possível influência da pintura na água do reservatório.

Posteriormente, foi assumida a necessidade de implementação de um sistema de remoção de sólidos. Neste sentido, foram contactadas várias empresas nacionais que forneceram orçamentos para 5 filtros distintos. Com base no custo de investimento, custo de manutenção e operação anual e ainda custo da mão de obra e equipamentos danificados por ano, foi possível realizar uma análise custo-benefício que permitiu justificar a implementação de qualquer uma das opções, sendo que todas permitem a recuperação do valor investido antes de findar o seu tempo de vida. No entanto, de todas as propostas, a que se apresentou mais vantajosa, tendo em consideração uma relação de qualidade técnica e retorno financeiro, foi a opção EKO 3”.

Palavras-chave: Fundição, Areias Verdes, Qualidade da Água, Amostragens, Análises, Filtros, Custo-benefício

Abstract

Green sands are one of the materials most used nowadays for the formation of molds to be used in foundry industry. This material mainly consists of a mixture of a type of sand, a type of binder and water. These components must respect a certain set of parameters in order to ensure the final quality of the sand. In the particular case of water, it is established that high concentrations of salts (especially chlorides) have a negative effect on the bentonite's binding ability and consequently on the final quality of the sand.

It was based on this assumption that Sakthi Portugal has showed interested on accessing the quality of the water used on their green sand making process, in order to ensure it is not conditioned by it. The work carried out began by sampling water at the four locations, river (R), reservoir (RD), painting (P) and tap water (C) used as water sources.

The obtained results allowed to conclude that the water used in the process does not contain high enough salt concentrations to negatively influence the process. However, they have also shown that there is a possibility of contamination due to the high concentrations detected in the paint sector, especially in the case of chlorides. This contamination may result in a reduction in the wet tensile strength (WTS) of the sand to values up to 50%. Finally, opposed to what was expected, the municipal water use in the process was validated since its chloride concentration is lower than the ones obtained for both the river and the reservoir. Based in this analysis, it was recommended the separation of by sectors, completely eliminating the possible influence of the paint sector in the water of the reservoir.

Subsequently, it was assumed the need to implement a solids removal system. To this end, several national companies were contacted, which provided budgets for 5 different filters. Based on the costs of investment, maintenance and annual operation and also the estimated costs of hand labor and equipment damaged per year, it was possible to carry out a cost-benefit analysis that allowed to justify the implementation of any of the options. All of which allow the recovery of the investment before the end of its lifetime. Of all the proposals, the one most valuable, through a better relation of technical quality and financial return, was the option EKO 3 ".

Keywords: Foundry, Green Sands, Bentonite, Water Quality, Sampling, Analysis, Filters, Cost-benefit

Índice

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto 1

1.2 Objetivos do Trabalho 2

1.3 Contextualização empresarial - Sakthi Portugal, SA 2

1.4 Areias Verdes 3

1.4.1 Tipos de Areia 4

1.4.2 Tipos de Ligante 5

1.4.3 Estruturas cristalográficas e mecanismos de ligação 8

1.4.4 Água 11

1.4.5 Preparação da Areia 14

2 Apresentação do caso de estudo 15

3 Metodologias utilizadas 19

3.1 Amostragens 19

3.2 Análises laboratoriais 23

4 Resultados e Discussão 25

4.1 Avaliação de Resultados 25

4.2 Proposta de Solução 28

4.3 Análise Custo-benefício 33

5 Conclusões 37

5.1 Criticas ao trabalho realizado 38

5.2 Considerações futuras 39

6 Referências 41

Anexo 1 Locais de Amostragem 43

Anexo 2 Determinação dos erros 45

Erros sistemáticos 45

Erros aleatórios 47

Erro global 48

Anexo 3 Determinação da massa de contaminantes - Reservatório e Pintura 51

Anexo 4 Ficha técnica filtro EKO..... 53

Anexo 5 Ficha técnica filtro SAF 59

Anexo 6 Ficha técnica filtro TAF..... 65

Anexo 7 Preço da energia ativa 71

Índice de Figuras

Figura 1 - Representação da camada 1 -tetraedros (SiO_4)(Sertucha and Suárez, 2009) *6*

Figura 2 - Exemplo de um tipo de argila (Montmorilonite) que apresenta uma organização estrutural do tipo B (tricamada) (adaptado de Silva Ribeiro, 2000). *7*

Figura 3 -Representação esquemática da estrutura da montmorilonite de acordo com a sugestão de Ederman e Favejee (Lapa, 1965). *9*

Figura 4 - Representação ilustrativa da estrutura coesa das areias verdes *10*

Figura 5 - Imagem das ligações existentes entre a areia, bentonite e água (Sertucha & Suárez, 2009). *11*

Figura 6 - Relação entre a presença de sais na água em concentrações mais elevadas e a redução da WTS (adaptado de Sertucha e Suárez, 2009). *12*

Figura 7 - Relação entre a presença de sais na água em concentrações mais reduzidas e a redução da WTS (adaptado de Engelhardt, 2015). *13*

Figura 8 - Esquema da instalação das areias Space *17*

Figura 9 - Fluxograma da rede de água implementada na Sakthi Portugal. *20*

Figura 10 - Planta geral da Sakthi e respetiva localização dos locais de amostragem *21*

Figura 11 - Ponto de amostragem do rio - 29 de novembro de 2016 ..... *43*

Figura 12 - Ponto de amostragem do reservatório - 29 de novembro de 2016 ..... *43*

Figura 13 - Ponto de amostragem da pintura - 29 de novembro de 2016 ..... *44*

Figura 14 - Ponto de amostragem da água da rede pública - 29 de novembro de 2016 ..... *44*

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Listagem de amostragens realizadas 22

Tabela 2 - Parâmetros avaliados e respetivas metodologias de análise utilizadas 23

Tabela 3 - Concentrações determinadas para cada parâmetro 25

Tabela 4 - Parâmetros específicos da operação da instalação 27

Tabela 5 - Relação entre a massa de sais e a massa de bentonite (%) 27

Tabela 6 - Listagem das empresas contactadas para obtenção de orçamento do filtro 29

Tabela 7 - Modelos de filtros propostos e respetivas características de operação 30

Tabela 8 - Cálculo dos custos anuais de operação por filtro 31

Tabela 9 - Determinação dos custos de manutenção anuais 32

Tabela 10 - Custos de investimento e operação durante o primeiro ano de cada filtro 32

Tabela 11 - Custos materiais associados á qualidade da água no ano de 2016 34

Tabela 12 - Custos associados á mão de obra necessária ás substituições de material no ano de 2016 . 34

Tabela 13 - Relação custo-benefício de todos os filtros 35

Tabela 14 - Massa de cada sal - valor horário - Reservatório 51

Tabela 15 - Massa de cada sal - valor horário - Pintura 51

Tabela 16 - Preço da energia ativa (valores referentes ao ano de 2017 - Fonte EDP) 71

Nomenclatura

C	Local de amostragem da água da Rede Pública
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
MK5	Modelo de uma das disas que utilizam areia da instalação Space
P	Local de amostragem da água da Pintura
PLC	Sistema de controlo (Programmable Logic Controller)
R	Local de amostragem da água do Rio
RD	Local de amostragem da água do Reservatório
WTS	Força de tração em húmido (Wet tensile strength)
230P	Modelo de uma das disas que utilizam areia da instalação Space
230T	Modelo de uma das disas que utilizam areia da instalação Space

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Apesar da existência de tecnologias recentes e de elevado grau tecnológico para a fundição de metais, atualmente a fundição em areia continua a ser um dos processos mais utilizados por uma grande variedade de fundições, principalmente devido ao baixo custo das matérias-primas, à elevada oferta, no que toca ao tamanho e composição do meio, e à possibilidade de reciclagem da moldação. O processo de fundição em areia é um dos processos mais versáteis na produção, visto que é usado para a maioria dos metais e ligas com altas temperaturas de fusão, como é o caso do ferro, do cobre e também do níquel (Saikaew and Wiengwiset, 2012).

O processo de fundição em areia consiste em vazar metal fundido numa moldação de areia, permitindo ao metal solidificar, e em seguida, quebrar a respetiva moldação de maneira a remover o produto da fundição. Este pode então ser maquinado, de maneira a remover irregularidades superficiais ou com o propósito de adicionar novas características, através de métodos como o torneamento, fresagem ou polimento. A areia usada no processo de moldação com areia verde é tipicamente ligada com bentonite e água. Esta areia pode ser reciclada muitas vezes, mas cada reciclagem requer a adição de bentonite e água de maneira a assegurar a manutenção de determinados parâmetros chave. Se a proporção de bentonite e água não for apropriada, a resistência de ligação da moldação de areia será reduzida, tal facto, leva a uma redução substancial das suas propriedades e, como resultado, aumenta o número de rejeições de fundição. Muitos trabalhos de investigação foram e são atualmente realizados com o objetivo de determinar valores ótimos de fatores processuais para melhorar a qualidade das peças e a eficiência do processo de fundição (Saikaew and Wiengwiset, 2012).

Na sociedade atual, há uma necessidade constante de melhoramento das tecnologias e aumento das eficiências processuais. Com o aumento da competitividade a nível empresarial este desenvolvimento torna-se uma obrigatoriedade para a manutenção de um lugar de relevo na área. Nesse sentido surgiu o projeto de melhoria da qualidade da água a utilizar no processo de formação das areias verdes, uma colaboração da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em parceria com a Sakthi Portugal, SA.

1.2 Objetivos do Trabalho

O projeto representa uma necessidade de avaliação da qualidade da água utilizada atualmente pela Sakthi Portugal, SA, a interpretação dos resultados e, caso necessário, a implementação do tratamento adequado, de forma a atingir a conformidade dos valores obtidos com os valores desejados.

Do ponto de vista empresarial, o objetivo seria um melhoramento da eficiência da estação de produção de areias, sendo que, quanto maior for a capacidade processual, maior retorno financeiro é gerado, uma vez que as alterações a serem aplicadas deverão surtir um efeito positivo, quer a nível de redução do consumo de bentonite, quer a nível de danos estruturais da rede de águas (tubagens, válvulas, etc).

De forma a cumprir com o estabelecido, foi necessário:

- Elaborar um plano de amostragens;
- Levar a cabo análises das amostras recolhidas;
- Avaliar os resultados obtidos e a possível implementação de um sistema de tratamento;
- Elaborar uma análise de custo-benefício referente às medidas a implementar.

1.3 Contextualização empresarial - Sakthi Portugal, SA

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido em parceria com a empresa Sakthi Portugal. A empresa tem por base uma firma que estava operacional desde 1972 e foi posteriormente adquirida pelo grupo Sakthi em 2007 dando à luz a Sakthi Portugal, localizada na Maia, Distrito do Porto, Portugal. Esta empresa está centrada no fabrico de componentes críticos de segurança em ferro nodular, nomeadamente, caixas de travões, caixas de diferencial, braços de controlo de suspensão e uma série de outros componentes que são posteriormente fornecidos a grandes empresas automobilísticas como Mercedes, Volvo, PSA, AMG, Ford. Com uma capacidade de 75.000 toneladas métricas, representa uma produção anual de 35 milhões de peças que atendem a 2,5 milhões de veículos ligeiros (Anon, 2010).

A nível de mercado, 100% deste é representado pelas exportações, onde a principal fatia se encontra na Europa, nomeadamente na Alemanha, Espanha, Eslováquia e França. No entanto, 15% do total das exportações é representativo de trocas comerciais com outros continentes (“Sakthi Portugal”, 2017).

É uma empresa que se descreve de acordo com o seguinte mote: "*We produce knowledge. We are a company of people focused on people, anticipating and offering solutions.*", tendo como um objetivo estabelecido, fazer parte da vida de cada um.

1.4 Areias Verdes

Tal como é do conhecimento geral, num processo de fundição existem dois elementos chave: a peça e a moldação. Este último está intrinsecamente relacionado com o conceito de areias verdes, que por sua vez, será o objeto principal deste estudo. Este é um material que merece uma atenção especial devido à sua enorme importância no processo de fabricação de peças de qualidade. Neste projeto, abordou-se a temática da melhoria da qualidade de água como um método para atingir um fim: a melhoria da qualidade da areia final, aumentando a eficiência do processo.

Atualmente existem diversas técnicas de moldação que utilizam areia no seu procedimento, não obstante, a mais utilizada mundialmente é a que recorre à areia comummente denominada de areia verde. Antigamente as moldações de areia eram secas em estufas após a desmoldagem, eliminando completamente a água. Posteriormente foi dado início à utilização das moldações sem secagem, daí o nome de moldação em verde, independentemente da cor da mistura de areia utilizada ser completamente distinta (negra) (Brown, 1999).

Segundo Sertucha e Suárez (2009), as moldações utilizadas neste procedimento compreendem: areia lavada (cerca de 80%), ligante (entre 8-10%), água para ativar o ligante (3-4%) e pó de carvão (4-7%) e devem, de uma maneira genérica, cumprir uma série de características, entre as quais são destacáveis as seguintes:

- Ser facilmente moldável, de maneira a que se adapte perfeitamente às formas da moldação e as reproduza fielmente;
- Apresentar uma boa resistência à erosão produzida pelo deslocamento e impacto do metal líquido no interior da moldação;
- Resistir aos impactes químicos que possam ser produzidos entre a moldação e o metal líquido;
- Oferecer uma resistência adequada às altas temperaturas do metal vazado;
- Possuir uma boa permeabilidade, de forma a permitir a evacuação dos gases gerados durante o enchimento da moldação e do ar que ocupa a cavidade no momento em que tem início o processo;

- Boa capacidade para escoar energia térmica do metal líquido e favorecer assim a solidificação das peças;
- Oferecer uma boa capacidade de desagregação após a peça estar solidificada;
- Gerar bons acabamentos na superfície das peças;
- Ser reutilizável de maneira a permitir o fabrico de nova moldação.

É então possível compreender a importância de um rigoroso controlo do processo de formação destas areias, de maneira a garantir a sua qualidade no final, assegurando que as características acima enumeradas são respeitadas. Assim sendo, é fundamental realizar um planeamento minucioso de todos os componentes a utilizar de forma a garantir que são os mais adequados aos objetivos pretendidos. O enfoque deste trabalho foi o papel da água neste processo; no entanto, de maneira a melhor compreender a sua importância, foi necessária uma análise dos restantes parâmetros, nomeadamente, das areias e das argilas.

1.4.1 Tipos de Areia

O principal constituinte da moldação é a areia. As areias de fundição podem ser classificadas como naturais ou sintéticas. As naturais podem ser argilosas ou não argilosas. As argilosas apresentam quantidades significativas de argila de ocorrência natural, efetuando-se a adição de água para preparar a moldação. Por outro lado, as sintéticas, resultam de fragmentações de rocha (quartzo, olivina, cromite, etc.). Este tipo de areias sofre uma lavagem de maneira a remover a argila e impurezas. Posteriormente são classificadas, de maneira a assegurar uma distribuição granulométrica apropriada, e secas (Walton and Opar, 1981).

Existe no mercado atual uma grande variedade de areias passíveis de serem utilizadas. Dentro desta grande diversidade, algumas delas têm maior aceitação e são utilizadas mais frequentemente, enquanto outras apresentam utilizações mais específicas pelo que não são utilizadas com tanta frequência. Na generalidade das fundições, devido às exigências dos modernos equipamentos de moldação, e à necessidade de um controlo apertado sobre os diversos aspetos da produção de fundidos, as areias utilizadas são por norma as sintéticas (Brown, 1999).

Assim sendo, os principais tipos de areias existentes, segundo Silva Ribeiro (2014), são:

- A areia de sílica;
- A areia de olivina;
- A areia de zircónia;
- A areia de cromite;

- A chamote;
- A areia de mulite.

Segundo o mesmo autor, destas destacam-se as areias de sílica (SiO_2) que são um material com elevada refratariedade, resistente a altas temperaturas e aos ataques químicos pelo metal fundido, sendo este o tipo de areia mais amplamente utilizado mundialmente e, em particular, no sistema implementado pela Sakthi Portugal, pelo que foi o principal objeto de estudo.

Apesar deste tipo de areias apresentarem uma estrutura quimicamente neutra, na superfície dos seus grãos existem cargas descompensadas. Estas resultam na perda da orientação cristalina, o que resulta na formação, ao redor dos grãos, de uma camada amorfa que se apresenta como sendo facilmente solúvel, o que possibilita a sua transformação para gel de sílica, responsável pela adesão dos agentes ligantes aos grãos de areia (Sertucha and Suárez, 2009).

1.4.2 Tipos de Ligante

De uma maneira geral, na formação de areias verdes é necessária a presença de um agente ligante, sendo este por norma um tipo de argila capaz de unir e dar plasticidade à mistura formada pela areia e a água. Resumidamente trata-se de um material que, dentro das condições adequadas, forma uma pelicula (argiloide) que permite aumentar a aderência entre os grãos de areia. Esta pelicula, perante suficiente agitação, envolve a totalidade dos grãos, formando-se o produto final, a chamada areia verde (Materials, 2001; Silva Ribeiro, 2000).

Quimicamente, as argilas são consideradas silicatos de alumínio, podendo ainda apresentar na sua composição pequenas quantidades de outros elementos (principalmente magnésio, ferro, potássio, sódio e cálcio). Com recurso à microscopia eletrónica e à de difração de raios X, foi possível caracterizar a estrutura cristalina que estes materiais apresentam (Monteiro, 1990).

As propriedades de uma argila estão diretamente relacionadas com as características estruturais dos cristais pertencentes à estrutura principal da mesma. Cada um destes cristais (ou lâminas cristalinas) está constituído por agrupamentos tridimensionais de átomos de silício, alumínio, oxigénio, hidrogénio e em menor quantidade, de ferro ou magnésio, dispostos de acordo com uma determinada simetria, dando lugar a dois tipos de camadas cristalinas.

Estas podem ser caracterizadas por camada 1 (representada na figura 1), e camada 2 (Sertucha and Suárez, 2009):

- Camada 1 - Constituída por ligantes de O^{2-} que se dispõem tetraedricamente ao redor dos catiões Si^{4+}.
- Camada 2 - Constituída por ligantes de O^{2-} e OH^{-} que se encontram unidos a catiões de Al^{3+} numa ordem octaédrica.

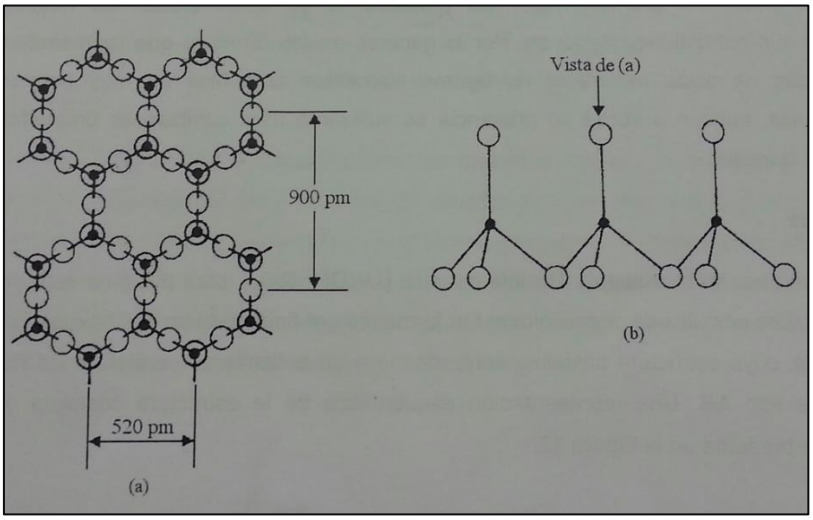


Figura 1 - Representação da camada 1 -tetraedros (SiO_4)(Sertucha and Suárez, 2009)

Em ambos os tipos de camada, o balanço de cargas é neutro. No entanto, nelas ocorrem substituições isomorfas parciais de catiões de Al^{3+} por catiões de Mg^{2+} ou de Fe^{2+}, pelo que ocorre um desequilíbrio no balanço electroestático na camada 1. O mesmo pode suceder no caso de substituição de Si^{4+} por Al^{3+} nas camadas do tipo 2. Desta maneira, em ambos os casos ocorre o aparecimento de uma carga negativa global sobre as suas superfícies exteriores.

Os cristais presentes nesta estrutura apresentam uma morfologia laminar, sendo que as redes cristalinas são na realidade conjuntos de finíssimas laminas que se dispõem de maneira a formar bicamadas ou tricamadas que, por sua vez, se agrupam paralelamente entre si, deixando pequenos espaços livres que permitem a introdução de outras substâncias químicas (por norma, moléculas de água e/ou iões metálicos). Na natureza existem duas maneiras possíveis destas camadas se organizarem entre si, formando bicamadas (Forma A) ou tricamadas (Forma B, representada na Figura 2):

- Tipo A - Obtenção de uma bicamada 1-2, consequência da união paralela entre uma camada do tipo 1 e outra do tipo 2.
- Tipo B - Obtenção de uma tricamada, 1-2-1, como resultado da união paralela entre duas camadas 1 com uma 2 situada entre ambas.

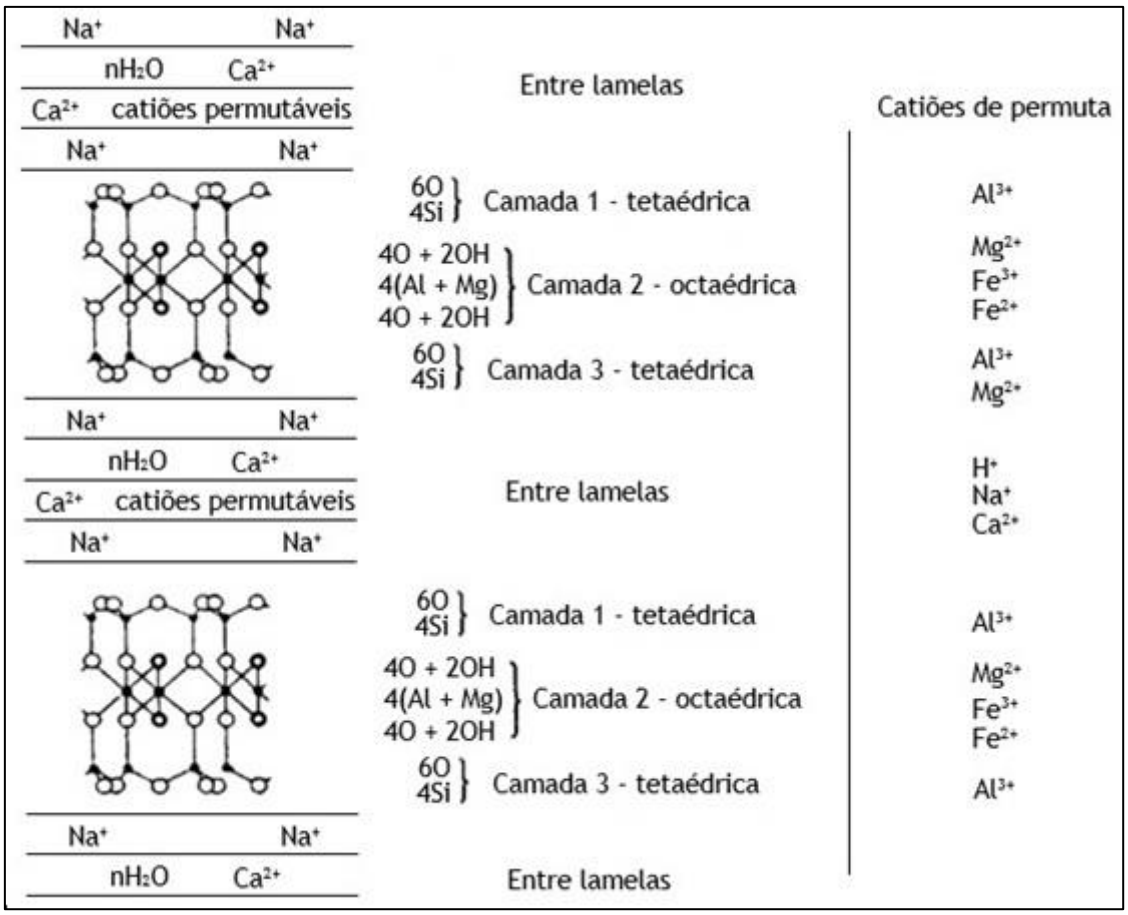


Figura 2 - Exemplo de um tipo de argila (Montmorilonite) que apresenta uma organização estrutural do tipo B (tricamada) (adaptado de Silva Ribeiro, 2000).

Em qualquer das situações, estas camadas continuam a apresentar uma carga total negativa nas suas superfícies exteriores, devido à substituição parcial dos catiões de Al^{3+} e/ou Si^{4+} situados nos centros de coordenação octaédrica, no caso 2, ou tetraédrica, no caso 1.

De acordo com a bibliografia, existem fundamentalmente três tipos de ligantes:

- Ligante à base de Caulinite;
- Ligante à base de Montmorilonite (Bentonite);
- Ligante à base de Ilite (Micas).

Um bom aglomerante deve possuir determinadas propriedades adesivas. As bentonites, misturadas com uma pequena quantidade de água, constituem uma matéria-prima ideal para este fim. Quando a mistura bentonite/água é adicionada como um dos constituintes da areia de moldação, aquela mistura atua não como fomentador da plasticidade do mesmo, mas sim como o responsável pela rigidez final do produto. É esta a propriedade que faz da bentonite um insubstituível aglomerante inorgânico em fundição (Lapa, 1965). É então devido à

sua importância e à sua utilização na Sakthi que, no presente documento, foi dado um maior enfoque a este tipo de ligante.

Dentro do grupo da Bentonite, estão englobadas diferentes espécies que se caracterizam em função do catião base predominante:

- Sódicas;
- Cálcicas;
- Ativadas.

1.4.3 Estruturas cristalográficas e mecanismos de ligação

A bentonite apresenta a seguinte composição química: $[M_{\sim 0.33}Mg_{0.33}Al_{1.67}(OH)_2Si_4O_{10}]$ onde o ião M pode ser Na^+ e/ou Ca^{2+}, fator determinante na sua classificação como sódica, cálcica ou ativada (onde a base de uma bentonite inicialmente cálcica é transformada através de processos químicos para uma base sódica) (J. Brown, 1999; Sertucha and Suárez, 2009). De um modo geral, aceita-se para o mineral em questão a estrutura proposta por Hoffmann et al. (1933), e modificada posteriormente por Marshall (1935) e por Hendricks (1942). Tal como já foi mencionado anteriormente, a montmorilonite seria formada por camadas unitárias complexas, paralelas, contínuas, segundo as suas direções complanares X e Y separadas entre si por moléculas de água e catiões permutáveis. As referidas camadas unitárias complexas comportariam duas camadas tetraedrais com Si, unidas entre si por uma camada octaedral com Al, metal este suscetível de ser substituído por Fe ou Mg (Lapa, 1965).

Uma das principais propriedades da montmorilonite reside precisamente no facto de ser possível a introdução de catiões não estruturais entre as camadas unitárias complexas. Estes saturariam o mineral e tornariam neutra a sua estrutura; porém, para que tal fosse possível, era necessário existir uma carga negativa entre as referidas camadas, carga essa, que resultaria da substituição do Si pelo Al nos tetraedros e deste pelo Fe e Mg nos octaedros. As observações realizadas permitem concluir, contudo, que o número de catiões não estruturais que saturam as camadas complexas excedem em carga a capacidade iónica de saturação da montmorilonite correspondente à estrutura referida. Por esse motivo, Edelman e Favejee (1940), sugeriram uma estrutura diferente capaz de explicar de um modo geral aquela propriedade. Esta proposta difere da de Hoffman, Endell e Wilm (1933) pelo facto de existirem exteriormente, na camada unitária complexa, mais duas séries tetraedrais, uma de cada lado, em posição oposta às já existentes e está representada na figura 3. Deste modo, o elevado poder iónico de troca que caracteriza a montmorilonite, e que não é mais do que a propriedade de se deixar saturar com

determinados catiões e de os reter num estado permutável, ficou suficientemente explicado (Lapa, 1965).

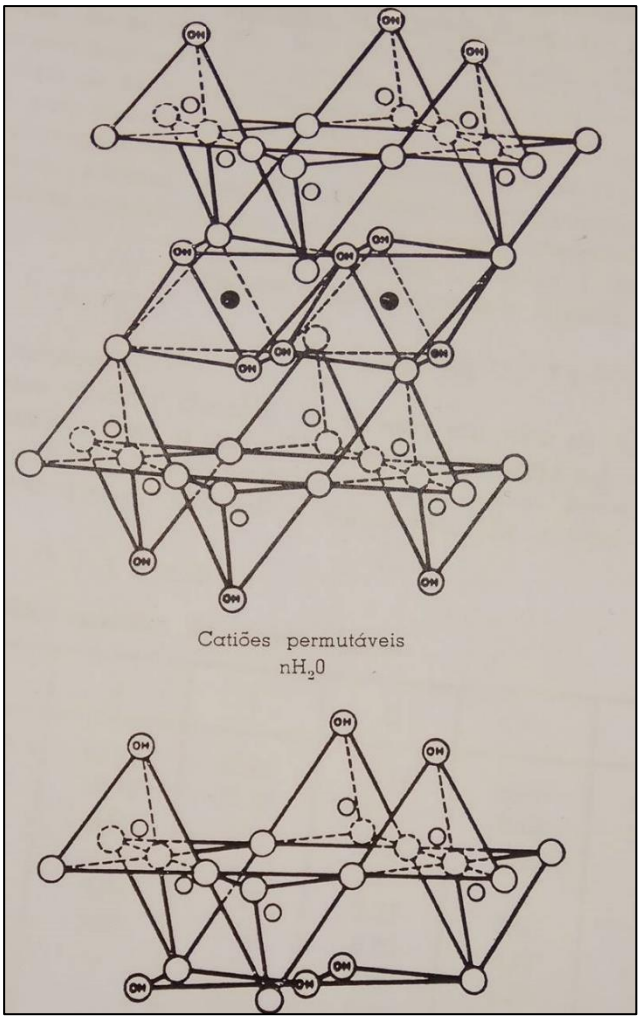


Figura 3 -Representação esquemática da estrutura da montmorilonite de acordo com a sugestão de Ederman e Favejee (Lapa, 1965).

Neste tipo de estrutura, as camadas estão dispostas no espaço de maneira a que as do tipo 1 estejam diretamente alinhadas à sua correspondente, também esta de tipo 1, pertencente ao seguinte grupo adjacente. Assim, as forças de união que são estabelecidas nestas tricamadas ocorrem apenas entre os iões O^{2-}. Estas forças de atração (do tipo Van der Waals) são mais débeis do que as forças de ligação presentes noutros tipos de argilas, como por exemplo as pontes de hidrogénio presentes nas argilas caulinitas. Assim, na presença de um meio aquoso, existe a possibilidade de ocorrer uma dilatação da bentonite, permitindo a introdução de moléculas de água entre as tricamadas (Sertucha and Suárez, 2009).

Sucintamente, fica então claro que a utilização de argilas na fundição está baseada nas propriedades de ligação que estes materiais apresentam quando misturados com água. De igual modo, está também já demonstrada a presença de carga negativa nas superfícies dos cristais

das argilas. Ocorre então, que as moléculas de água (dipolos elétricos) e os catiões, formam finas peliculas ao redor de cada uma destas partículas argilosas, proporcionando assim coesão e plasticidade à mistura, bem como adesão a outros materiais. Segundo Sertucha e Suárez (2009), estas três propriedades podem ser explicadas a partir de um ponto de vista estrutural:

- A coesão, caracterizada por representar a tendência que as partículas têm em manterem-se unidas, está relacionada com a resistência que é criada pelas uniões electroestáticas quando é produzido um deslocamento entre os cristais e/ou partículas da argila.
- A plasticidade é obtida ao aplicar na mistura uma energia de compressão suficiente para que as partículas de argila choquem entre si, rompendo as uniões electroestáticas existentes numa determinada posição, estabelecendo-se posteriormente noutras.
- A adesão a outros materiais é uma propriedade fundamental das misturas água/argila, já que, ao aparecer um objeto estranho (como um grão de areia de sílica por exemplo), este fica envolvido na mistura e ligado às partículas de argila por meio das peliculas aquosas.

É precisamente este processo que ocorre na formação de areias verdes, onde os grãos de areia de sílica são envolvidos pela mistura de argila e água, formando uma estrutura coesa. As figuras 4 e 5 ilustram essa mesma estrutura, sendo a primeira uma representação ilustrativa e a segunda uma imagem real:

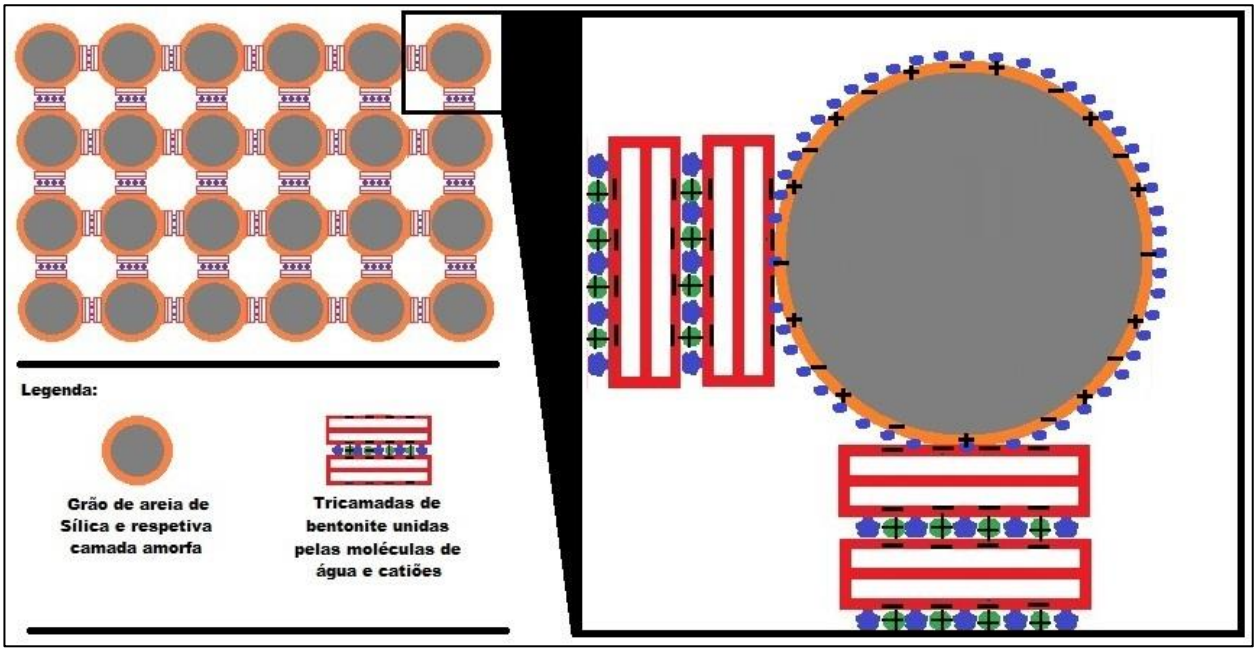


Figura 4 - Representação ilustrativa da estrutura coesa das areias verdes

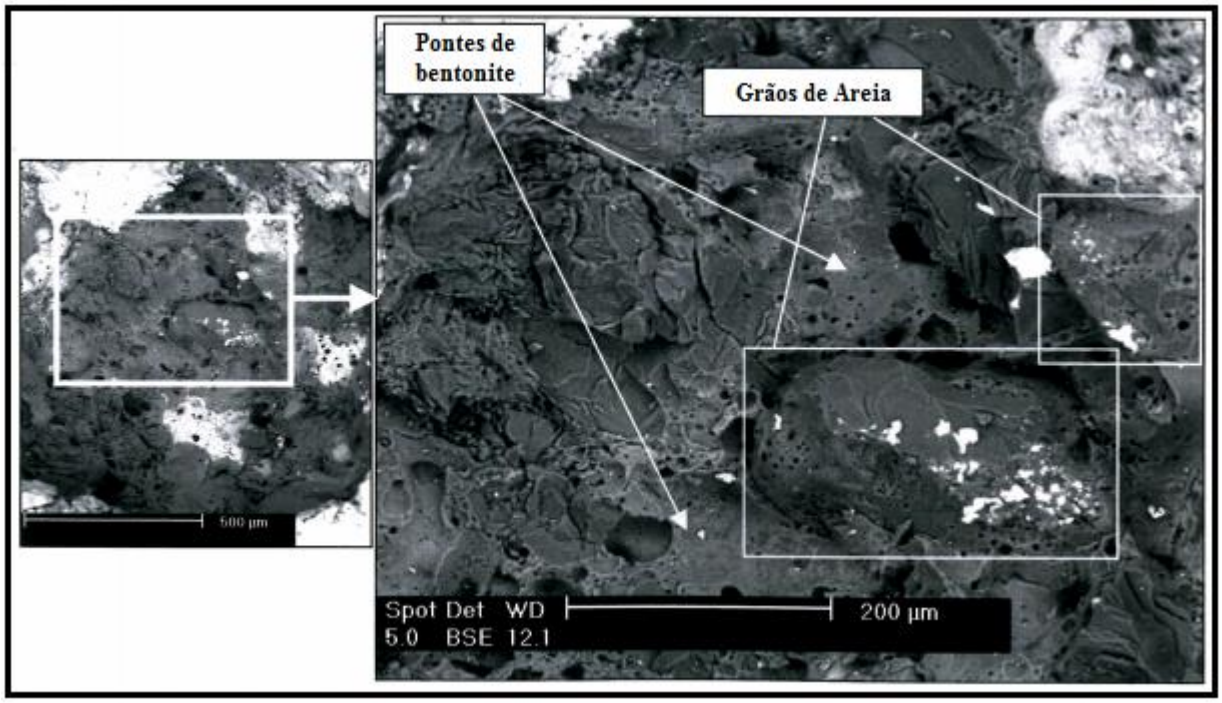


Figura 5 - Imagem das ligações existentes entre a areia, bentonite e água (Sertucha & Suárez, 2009).

1.4.4 Água

Tal como já foi mencionado anteriormente, a água é um dos constituintes de maior importância no processo de formação de areias verdes uma vez que é o elemento encarregue da ativação da argila. Ou seja, é o elemento que ativa as propriedades de ligação da argila (formando o argiloide), influenciando crucialmente as características finais da areia. Habitualmente, nas fundições são utilizadas águas da rede pública ou águas provenientes de captações em poços ou rios, sendo estas aplicadas no processo sem qualquer tipo de controlo ou preparação especial. No entanto, qualquer alteração importante nas características da água pode levar a alterações nas propriedades da areia de moldação. Esta situação provoca muitas vezes sérios problemas a nível da qualidade final da areia e, consequentemente, da qualidade das peças, pelo que apresenta uma elevada importância a nível da produtividade industrial (Sertucha and Suárez, 2009).

Um dos possíveis problemas que podem surgir devido à falta de tratamento da água é o excesso de sais minerais na mesma, uma vez que estes podem afetar negativamente a capacidade de ligação da argila. Este fenómeno ocorre uma vez que todos os tipos de argila, na forma coloidal, apresentam uma determinada carga electroestática, a sua estabilidade ou

instabilidade depende de fenómenos eletrocinéticos que resultam da presença, ou ausência, de cargas na superfície das partículas de argila e do tipo e concentração de iões presentes no meio da dispersão (Hauser and Colombo, 1953).

Este fator varia então de acordo com a estabilidade do tipo de argila utilizada e com a capacidade de alguns destes catiões presentes nos sais se infiltrarem entre as camadas de bentonite e as neutralizarem, diminuindo assim a sua capacidade de ligação. Nas figuras 6 e 7 é possível observar a influência de determinados sais sobre a resistência à tração em húmido (WTS) de uma areia de moldação.

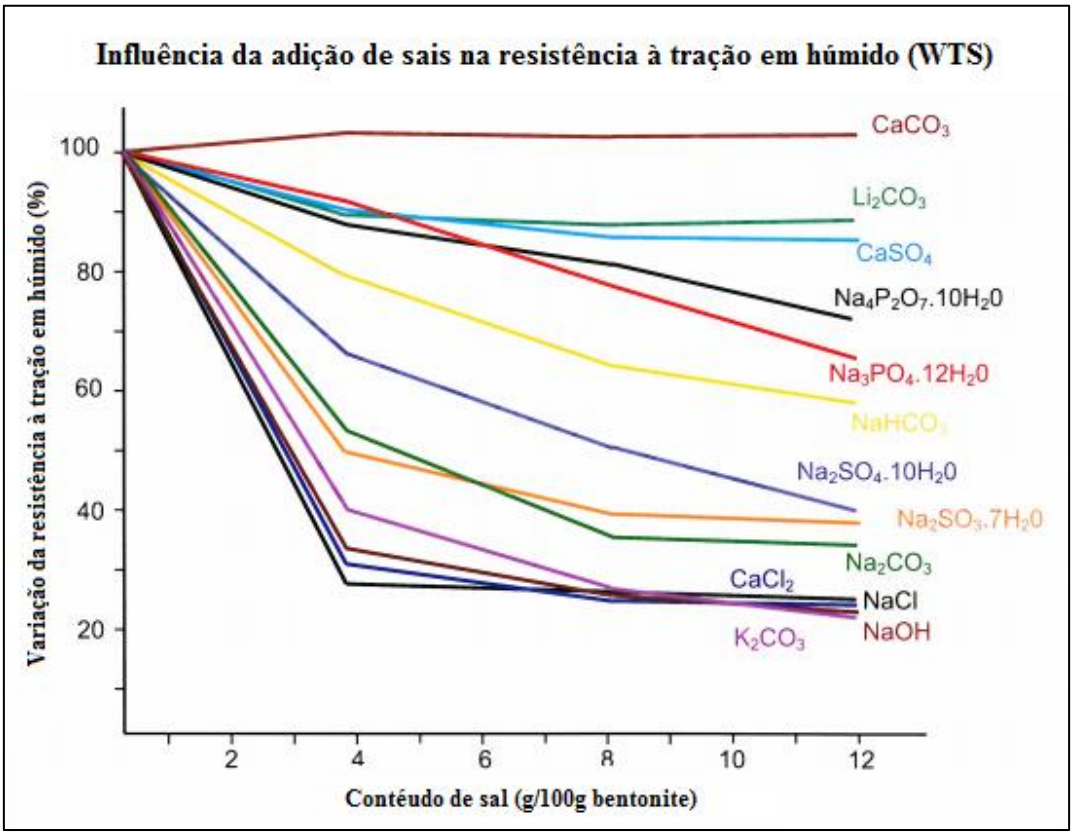


Figura 6 - Relação entre a presença de sais na água em concentrações mais elevadas e a redução da WTS (adaptado de Sertucha e Suárez, 2009).

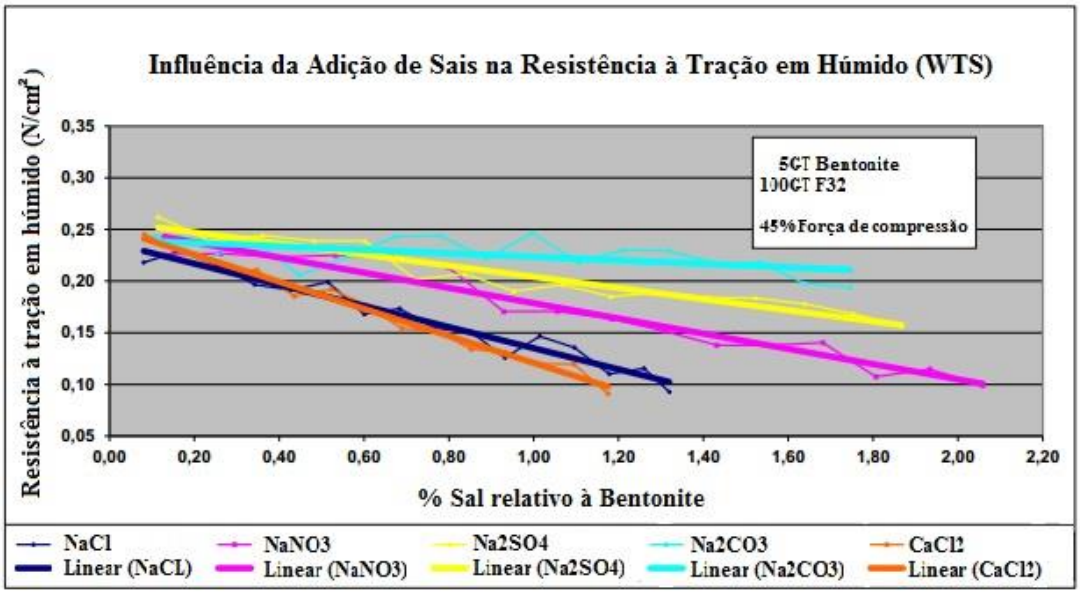


Figura 7 - Relação entre a presença de sais na água em concentrações mais reduzidas e a redução da WTS (adaptado de Engelhardt, 2015).

Analisando as figuras é possível constatar a influência negativa que alguns destes sais apresentam, com um destaque especial para os cloretos. Esta influência negativa na WTS resulta na possibilidade de obtenção de uma areia não conforme com os padrões mínimos de qualidade, o que poderia consequentemente resultar na formação de uma moldação de inferior qualidade, e por sua vez, na produção de uma peça defeituosa. (Chang and Hocheng, 2001)

A água é também extremamente relevante numa outra perspetiva, uma vez que um dos parâmetros chave do processo é a humidade da mistura. O teor de humidade ótimo na areia de fundição depende do tipo de argila e de outros fatores, tais como a porosidade de base da areia, o seu grau de envelhecimento, avaliado através da quantidade de invólucro oolítico presente (sendo este o revestimento cerâmico poroso que resulta da transformação do argiloide, por ação do calor), e o teor de outros componentes que absorvam humidade, como é o caso do pó-de-carvão e os seus produtos de transformação por ação do calor (Silva Ribeiro, 2000).

Dependendo do tipo de areia (de circuito ou laboratorial, com diversos teores e tipos de bentonite) o efeito do aumento da humidade é variável. Contudo, com o seu incremento aumenta a compatibilidade da areia e diminui a densidade a granel. O controlo destes parâmetros no processo de preparação da areia é fundamental para obtenção de um produto final de qualidade.

1.4.5 Preparação da Areia

Conhecidos e enumerados os diferentes componentes presentes, e respetivas interações no processo de formação da areia verde, é relevante compreender o seu processo de preparação. Segundo Silva Ribeiro (2000), este tem como principais objetivos:

- Envolver, tão homogeneamente quanto possível, todos os grãos com o argiloide;
- Promover uma boa qualidade de areia no que diz respeito ao teor de humidade necessário para manter a sua compatibilidade e temperatura.

Ainda de acordo com o mesmo autor, na sequência da preparação de areia verde podem considerar-se três estágios distintos:

- Dispersão da água pelos constituintes e formação do argiloide;
- Homogeneização das relações de água/bentonite;
- Revestimento dos grãos de areia com o argiloide.

A última das etapas referidas anteriormente necessita de uma força de compressão ou esmagamento. Para esse efeito, usam-se galgas, que se caracterizam por serem os equipamentos responsáveis pela mistura da areia, que forçam a areia e argiloide a "deslizar" entre os rolos e a superfície destes, promovendo-se o esmagamento dos grãos contra o ligante. Quanto mais eficiente for esta ligação (grão de areia/bentonite), menor será o consumo de ligante necessário para se obter uma dada resistência. Por esse motivo, e dependendo do tipo e eficiência da galga, o tempo de preparação da areia não deve diminuir, sob pena de originar uma areia de qualidade inferior (normalmente mais húmida ou de menor compatibilidade que o valor esperado). Uma galga pode compreender vários tipos e capacidades. (Silva Ribeiro, 2000).

O processo de moldação em areia verde tem como grande atrativo o facto de ser possível proceder à recuperação e reutilização sucessiva da areia (Zanetti and Fiore, 2003). A bentonite, que é desidratada e que se transforma estruturalmente, torna-se um material inerte, que, juntamente com os aditivos carbonosos, se transforma num absorvedor de humidade com diminuição da refratariedade (invólucro oolítico). Após cada ciclo de fabrico, à areia recuperada, é adicionada bentonite e pó de carvão. Pode ser ou não necessário adicionar areia nova. Essa necessidade dependerá da quantidade de areia de macho que se transfere para o circuito durante o abate (Silva Ribeiro, 2000).

2 Apresentação do caso de estudo

A preparação das areias para utilização na formação de moldações na Sakthi é realizada em dois circuitos distintos. Um deles, denominado de "areias Space" é operado pela equipa "Puma" e um outro, denominado de "areias GF", é operado pela equipa "Jaguar". Este trabalho foi desenvolvido no seio da equipa "Puma", pelo que todas as considerações serão referentes ao circuito operado por esta equipa.

A produção de areia neste departamento funciona num sistema fechado, cujo objetivo é garantir um fornecimento ininterrupto de areia de qualidade às três Disas responsáveis pela moldação da areia para posterior vazamento do ferro fundido desta unidade, a MK5, a 230T e a 230P. O esquema do circuito é apresentado na Figura 8.

Tal como é possível visualizar no esquema apresentado, e já foi mencionado anteriormente, a galga é a principal responsável pela mistura correta dos constituintes da areia, sendo que posteriormente esta é encaminhada pelos tapetes rolantes para os silos de cada Disa, onde é armazenada por breves instantes até à sua utilização. Após o vazamento da "banheira de ferro", o "bolo" (constituído pela areia que forma a moldação e o ferro vazado), segue a linha de produção num processo de arrefecimento e abate do mesmo, onde a areia é separada da peça e reentra no circuito, onde volta a ser reativada após adição de água e bentonite.

Toda a estação é controlada pelo operador das areias que, com o auxílio de sensores colocados nos silos, consegue detetar se há escassez ou excesso de areia na linha e, através do controlo dos tapetes transportadores, regularizar a situação. É também este operador que efetua o controlo de determinados parâmetros como a quantidade de aditivo (bentonite) a adicionar e também a quantidade de água. Este controlo é realizado com o auxílio de constantes medições que indicam valores chave como a humidade e compactabilidade da areia, permitindo, controlar a areia que irá ser fornecida e assegurar a qualidade da moldação. É assim garantido um ininterrupto fornecimento de areia.

Em situações em que seja determinado que a areia produzida não cumpriu os parâmetros mínimos de qualidade estabelecidos, o operador tem possibilidade de cortar o fornecimento desta às disas, levando-a diretamente para um silo, onde será reintroduzida no circuito inicial de forma a garantir que lhe irão ser adicionados os componentes necessários para assegurar a sua qualidade final. O não fornecimento de areia de baixa qualidade às disas minimiza a formação de peças defeituosas.

No que toca à água adicionada nas diferentes fases de arrefecimento da areia e à introduzida na galga para auxiliar na mistura, esta é maioritariamente captada no rio que cruza

as instalações da fábrica e armazenada sem tratamento prévio no reservatório de 2000L colocado na estação. A sua adição é realizada de acordo com o estabelecido pelo operador.

É precisamente devido à inexistência de controlo relativamente à qualidade da água, e ao conhecimento do potencial efeito negativo desta no processo, que surgiu o interesse em determinar se a água atualmente utilizada cumpria os requisitos estabelecidos e avaliar a eventual necessidade de implementar um posterior tratamento.

De forma a cumprir com os objetivos propostos, e de acordo com toda a informação mencionada anteriormente, foi então necessária a realização de um planeamento de trabalho adaptado especificamente às necessidades do circuito implementado na Sakthi. Esse mesmo plano dividiu-se em quatro partes:

- Realizar um plano de amostragens de maneira a conseguir ter uma representação, o mais fiável possível, dos diferentes tipos de águas utilizados na fábrica.
- Levar a cabo análises a essas mesmas amostras de forma a conhecer a qualidade da água, avaliando os parâmetros mais relevantes para o processo de produção da areia verde.
- Interpretar os resultados obtidos de modo a avaliar a necessidade de aplicação de uma correção.
- Em caso de necessidade, sugerir a aplicação de uma tecnologia que permita atingir os valores pretendidos e realizar uma avaliação de custos.

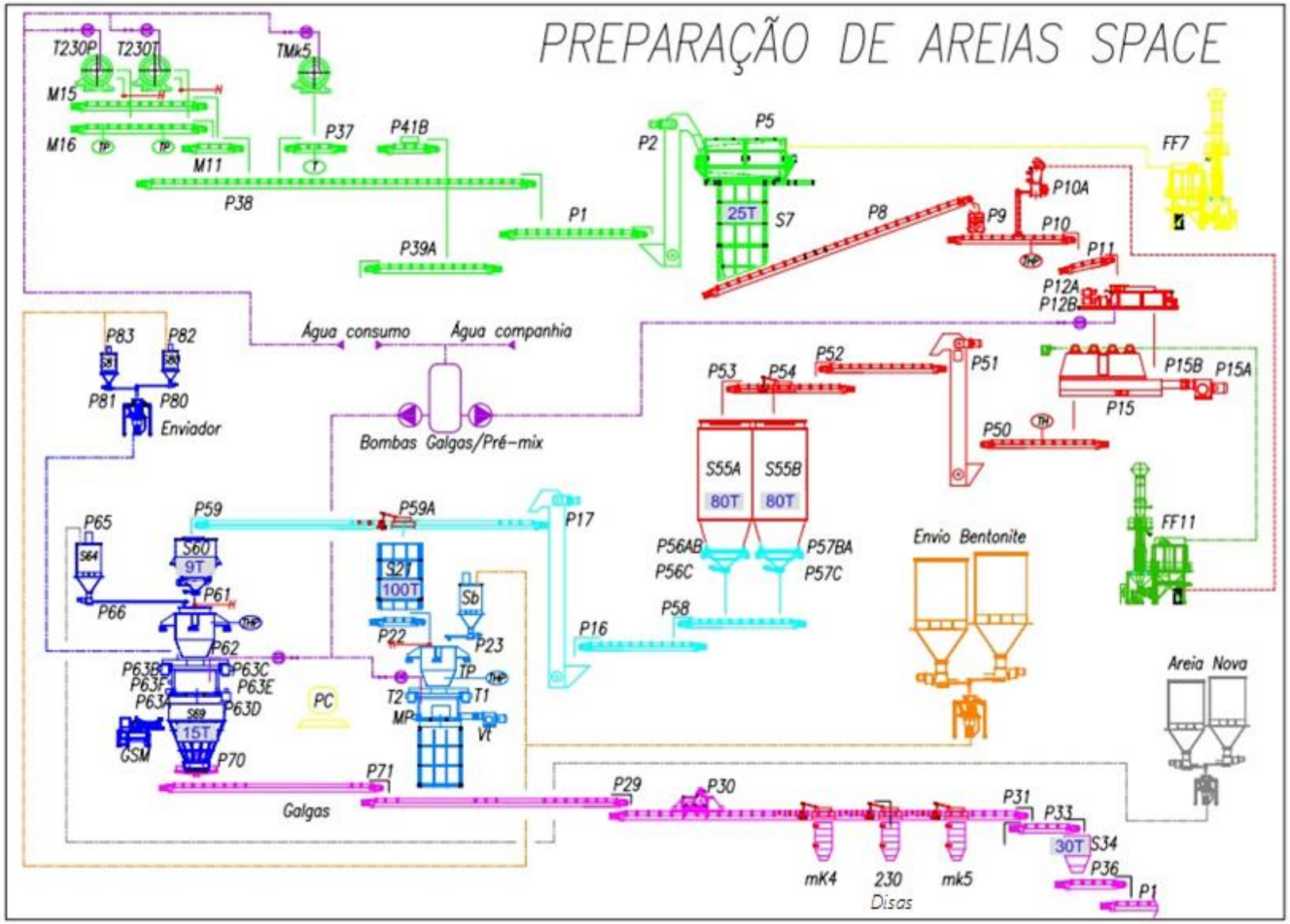


Figura 8 - Esquema da instalação das areias Space

3 Metodologias utilizadas

3.1 Amostragens

O principal objetivo da realização de amostragens é a recolha de uma porção de material de volume adequado para ser transportado, mas que seja, suficiente para a realização dos procedimentos de análise, e represente o material a ser analisado. Este objetivo implica que a proporção entre a concentração de todos os componentes pertinentes será semelhante no local de amostragem e na amostra recolhida, sendo que o posterior manuseamento da amostra não irá alterar estas mesmas concentrações antes que os testes sejam realizados (APHA, 1999; Gautam et al., 2012; Johnston, 2007).

De forma a garantir este pressuposto, o primeiro passo de uma correta amostragem passa por uma deliberação e escolha relativamente aos locais para a recolha das amostras. Assim, foi importante conhecer a rede de águas implementada na empresa e representada na Figura 9. Esta foi montada de forma a dar resposta aos vários setores, entre os quais o setor em estudo, o das areias Space. A nível processual, os principais processos consumidores de água são: a fundição, as areias e a pintura. De forma a dar resposta à necessidade de água existem vários pontos de recolha: furos, poços, e captação no rio.

Numa primeira análise verificou-se que o setor das areias, por norma, funcionava única e exclusivamente com a utilização de água captada do rio que passa nas imediações da fábrica. No entanto, devido à necessidade de um funcionamento ininterrupto de todos os processos e de existir uma necessidade de água por parte de vários departamentos, a rede está instalada de forma a garantir que, numa situação de rutura de um sistema, as perdas sejam mínimas devido à possibilidade de compensar com água proveniente de outro setor. Uma análise mais detalhada a estas interligações permitiu concluir que a água recolhida para o reservatório final do setor das areias é obtida a partir de um poço (poço principal ou “main”) onde maioritariamente está presente água do rio. A este mesmo poço estão diretamente ligadas as águas provenientes do sistema de refrigeração da fundição (piscina coberta) e as águas provenientes do sistema de tratamento de águas residuais implementado no setor da pintura (cujo procedimento é explicado de forma mais detalhada posteriormente no presente documento). Assim sendo, é possível concluir que as águas utilizadas na produção das areias estão diretamente dependentes das águas de outros setores. Em casos específicos de escassez de água nos pontos de recolha, situação que por vezes ocorre no verão, é utilizada água da rede pública, através da rede alternativa que está já montada.

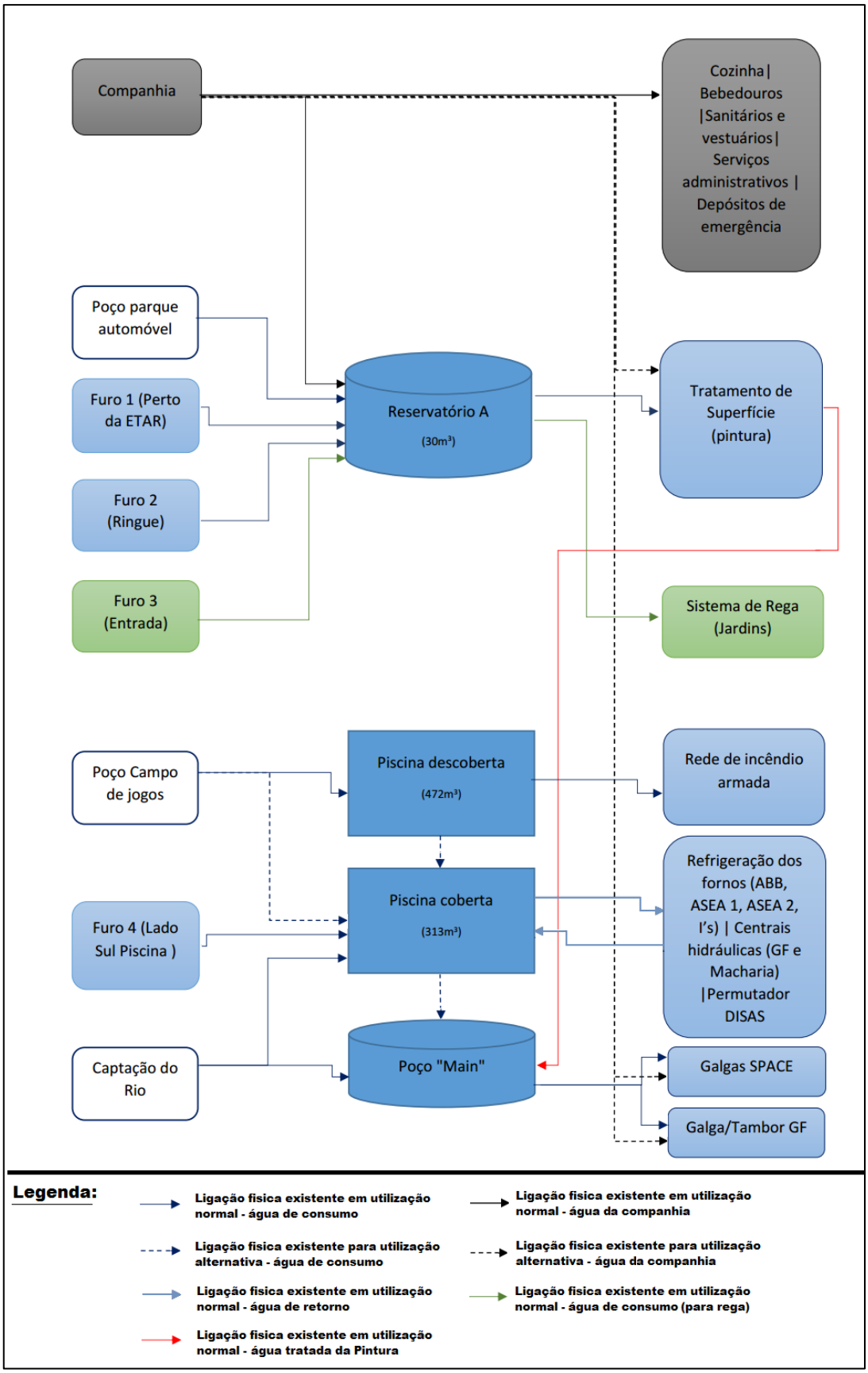


Figura 9 - Fluxograma da rede de água implementada na Sakthi Portugal.

Assim sendo, foram identificados quatro locais chave para a colheita de água para análise. Esses locais foram o rio (R), o último reservatório antes da água ser introduzida no processo (RD), o reservatório final da estação de tratamento de águas residuais do departamento da pintura (P) e por fim, devido à sua possível utilização, a água da rede pública, recolhida num bebedouro localizado entre o setor das areias e dos acabamentos (C). As imagens dos locais de recolha são apresentadas no Anexo 1 e a sua localização está especificada na Figura 10.

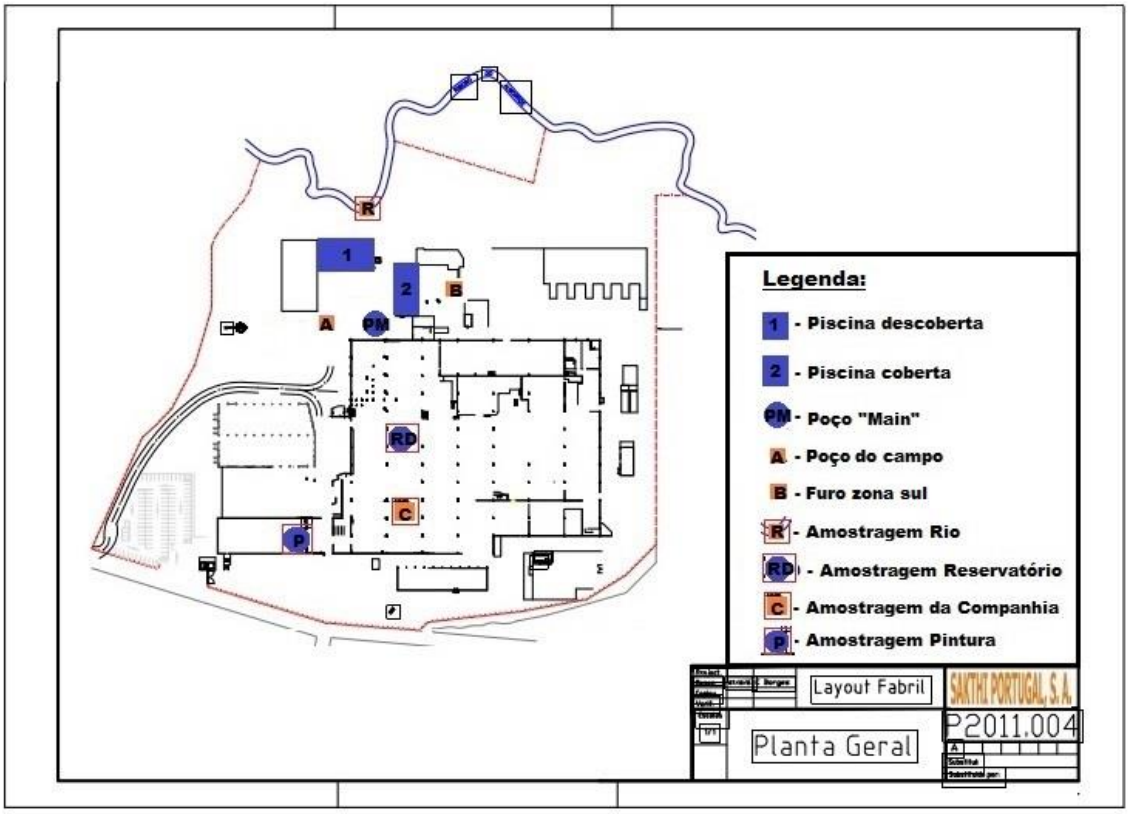


Figura 10 - Planta geral da Sakthi e respetiva localização dos locais de amostragem

A amostragem é uma parte fundamental do trabalho realizado, uma vez que da sua correta execução está dependente todo o trabalho realizado posteriormente. Foi seguido um programa de amostragens previamente fixado e descrito na Tabela 1.

Para assegurar a viabilidade do programa de amostragens, é importante recolher sempre amostras que cumpram os requisitos de forma a que estas não sejam corrompidas antes da análise. É importante assegurar que todos os equipamentos a utilizar na recolha da amostra estão limpos e livres de possíveis contaminantes e que a técnica de colheita permite obter amostras representativas. Cada amostra deve ser tratada de maneira individual e de acordo com o procedimento estabelecido para o parâmetro a determinar (APHA 1999). Na recolha e armazenamento seguiram-se as indicações estabelecidas por Johnston (2007),

assegurando que todos os parâmetros de recolha (como tipo de recipente, volume de recolha, metodologia de análise, tempo de retenção) eram respeitados.

A metodologia de recolha foi semelhante para todas as amostras e consistiu em amostragens manuais e pontuais para cada parâmetro, os restantes procedimentos utilizados para cada amostra estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Listagem de amostragens realizadas

Datas de recolha	Parâmetro a analisar	Recipiente	Volume por amostra (L)	Metodologia de armazenamento
23 e 24/nov	Metais (geral)	Plástico	0,5	Acidificação com ácido nítrico até pH<2 e refrigeração
24/nov	Dureza	Plástico	0,5	Acidificação com ácido nítrico até pH<2 e refrigeração
24/nov	Alcalinidade	Plástico	0,5	Controlo de pH in situ e Refrigeração
24/nov	Sódio e Potássio	Plástico	0,5	Refrigeração
30/nov	Cloretos	Plástico	0,5	Refrigeração
30/nov	Nitritos	Plástico	0,5	Refrigeração
30/nov	Nitratos	Plástico	0,5	Refrigeração
30/nov	Fosfatos	Vidro	0,5	Refrigeração
30/nov	SST	Plástico	1,5	Refrigeração
30/nov	Ferro	Plástico	0,5	Refrigeração

Tendo em consideração a sua elevada influência nos resultados, é importante clarificar que relativamente às condições meteorológicas, o rio encontrava-se com um caudal reduzido, devido à reduzida precipitação que ocorreu nos dias que antecederam as amostragens. Relativamente à turvação da água, esta apresentava-se como pouco turva, tal como é possível constatar pela Figura 11, apresentada no Anexo 1.

3.2 Análises laboratoriais

A nível das metodologias de análise, estas variam segundo os parâmetros a analisar. De acordo com o apresentado anteriormente, foram analisados os parâmetros que se preveem negativos para o processo. Com base nas referências existentes para cada parâmetro, presentes em APHA (1999), e nos meios disponíveis, as metodologias utilizadas para a determinação de cada parâmetro foram as seguintes:

Tabela 2 - Parâmetros avaliados e respetivas metodologias de análise utilizadas

Parâmetro	Metodologia	Método de acordo com APHA (1999)
Dureza	Titulação (EDTA)	2340 C-1997
Alcalinidade	Titulação colorimétrica a pH 4,5	2320 B-1997
Potássio	Digestão seguida de: Espetrometria de absorção atómica - Método direto de chama - ar-acetileno	3111 B-1999
Sódio	Digestão seguida de: Espetrometria de absorção atómica - Método direto de chama - ar-acetileno	3111 B-1999
Sulfatos	Turbidimétrico	4500-SO4 2-E-1997
Cloretos	Método argentométrico (nitrato de prata)	4500—Cl—B
Nitritos	Método colorimétrico	4500—NO2—B
Nitratos	Fotométrico (ácido brucina- ácido sulfanílico)	*
Fosfatos	Método do ácido ascórbico: reagente único manual	4500-P E-1999
Sólidos	Sólidos Suspensos Totais secos a 103-105 ° C	2540 D - 1997

Ferro	Digestão seguida de: Espetrometria de absorção atómica - Método direto de chama - ar-acetileno	3111 B-1999
Alumínio	Digestão seguida de: Espetrometria de absorção atómica - Método direto de chama - óxido nitroso-acetileno	3111 D-1999
Antimónio	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica	3113 B-1999
Arsénio	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica	3113 B-1999
Cádmio	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica	3113 B-1999
Chumbo	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica	3113 B-1999
Cobre	Digestão seguida de: Espetrometria de absorção atómica - Método direto de chama - ar-acetileno	3111 B-1999
Crómio	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica	3113 B-1999
Manganês	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica	3113 B-1999
Níquel	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica	3113 B-1999
Selénio	Digestão seguida de: Espetrometria de Absorção Atômica de Vapor Frio	3112 B-1999
Zinco	Digestão seguida de: Espetrometria de absorção atómica - Método direto de chama - ar-acetileno	3111 B-1999

*Metodologia disponibilizada em: (ASTM 1973)

4 Resultados e Discussão

4.1 Avaliação de Resultados

De acordo com as metodologias apresentadas anteriormente foi possível realizar a determinação das concentrações de cada um dos parâmetros já enumerados.

De forma a aumentar o rigor dos resultados apresentados, foi realizada também uma determinação de erros aleatórios e sistemáticos e a respetiva ponderação entre ambos para determinar o erro global, de acordo com o apresentado no Anexo 2.

Tabela 3 - Concentrações determinadas para cada parâmetro

Parâmetro	Unidade	Rio	Reservatório	Rede Pública	Pintura
Dureza	mg CaCO3/L	66 ± 7	86 ± 9	104 ± 10	182 ± 17
Alcalinidade	mg CaCO3/L	19 ± 4	29 ± 4	39 ± 4	189 ± 6
Potássio	mg K/L	4,3 ± 0,3	4,0 ± 0,2	2,2 ± 0,2	7,8 ± 0,4
Sódio	mg Na/L	25,1 ± 0,7	40,0 ± 1,0	10,9 ± 0,4	1332 ± 32
Sulfatos	mg SO4/L	26,1 ± 0,6	27,6 ± 0,6	27,9 ± 0,7	89,9 ± 0,5
Cloretos	mg Cl/L	29 ± 2	39 ± 2	16 ± 2	1200 ± 43
Cloreto de sódio	mg NaCl/L	47 ± 2	65 ± 2	26 ± 2	2000 ± 43
Nitritos	mg NO2/L	0,161 ± 0,004	0,342 ± 0,003	<0,003	83 ± 2
Nitratos	mg NO3/L	30,7 ± 0,8	28,7 ± 0,7	7,2 ± 0,4	87,0 ± 0,9
Fosfatos	mg P/L	0,042 ± 0,004	0,953 ± 0,009	0,038 ± 0,004	150,4 ± 0,9
Sólidos suspensos totais	mg/L	0,6 ± 0,5	3,3 ± 0,3	4,8 ± 0,6	389 ± 10
Ferro	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	13,6 ± 0,1

Alumínio	mg/L	<2	<2	<2	<2
Antimónio	µg/L	<4	<4	<4	<4
Arsénio	µg/L	<4,5	<4,5	<4,5	10,4
Cádmio	µg/L	<0,8	<0,8	<0,8	1,2± 0,2
Chumbo	µg/L	<4	<4	<4	<4
Cobre	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Crómio	µg/L	0,8 ± 0,3	1,6 ± 0,3	3,6 ± 0,3	<1
Manganês	µg/L	30,2 ±0,2	61,4 ±0,2	48,8 ±0,2	2693,4 ±0,2
Níquel	µg/L	<4	29,0 ±0,2	<4	4224,6 ±0,2
Selénio	µg/L	<1	<1	<1	<1
Zinco	µg/L	<30	302,9 ± 0,3	30,3± 0,3	178,5± 0,3

Com base nos valores apresentados na tabela 3 podem ser retiradas várias conclusões:

A primeira, e possivelmente a mais relevante, é a concentração mais elevada de grande parte dos parâmetros no sector da pintura. Tendo em conta a existente ligação entre esta água e o reservatório, já demonstrada anteriormente na Figura 9, esta é uma fonte de preocupação, uma vez que existe a possibilidade de contaminação.

A nível de concentração de metais, o cenário é semelhante ao mencionado anteriormente, com concentrações bastante baixas no reservatório e mais elevadas na pintura. Em particular no caso do níquel, zinco e manganês devido aos valores muito elevados de concentração, o risco de contaminação é superior.

No caso particular dos cloretos, porque é a espécie com maior capacidade de redução da WTS, os valores obtidos na pintura (Concentração na pintura: 1200$\pm$43 mg/L) podem levar a um aumento da concentração existente no reservatório (Concentração no reservatório: 39$\pm$2 mg/L) e consequentemente afetar negativamente a qualidade da areia.

De forma a permitir uma melhor compreensão relativamente à influência da concentração dos diferentes parâmetros no processo, foi calculada a percentagem relativa de cada um no produto final, tendo em conta a quantidade de sal e quantidade de bentonite adicionadas no mesmo período temporal. Estes valores permitem ter uma melhor perceção acerca da quantidade a partir da qual, a presença de um determinado sal tem um efeito danoso para a qualidade da areia.

Utilizando então os valores das concentrações de sais determinados laboratorialmente e assumindo como parâmetros de operação da estação os valores apresentados na Tabela 4, foi possível determinar a massa de cada contaminante existente no reservatório e na pintura (Tabelas 14 e 15 do Anexo 3) e a relação entre a quantidade de sais presentes (Tabela 5).

Tabela 4 - Parâmetros específicos da operação da instalação

	MIN	**MAX**
Massa de bentonite adicionada por ciclo [kg]	70	100
nº ciclos / hora	21	23
Massa de bentonite adicionada [kg/h]	1470	2300
Caudal de água [L/h]	12000	

Tabela 5 - Relação entre a massa de sais e a massa de bentonite (%)

	% Sal / Bentonite (Reservatório)		**% Sal / Bentonite (Pintura)**	
	MAX	MIN	MAX	MIN
Dureza	0,07%	0,04%	0,15%	0,09%
Alcalinidade	0,02%	0,02%	0,15%	0,10%
Sulfatos	0,02%	0,01%	0,07%	0,05%
Cloretos	0,03%	0,02%	0,98%	0,63%
Cloreto de sódio	0,05%	0,04%	1,63%	1,04%
Nitritos	<0,01%	<0,01%	0,07%	0,04%
Nitratos	0,02%	0,02%	0,07%	0,05%
Fosfatos	<0,01%	<0,01%	0,12%	0,08%

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que, apesar da concentração de sais presentes atualmente no reservatório ser baixa para a redução da WTS, a possibilidade de aumento das concentrações para valores de dimensão semelhante aos obtidos na pintura, de acordo com a Figura 6, representa uma possível diminuição da WTS até valores da ordem dos 50%.

É também possível constatar, que apesar da existência de um pressuposto onde é indicado que a utilização da água da rede pública diminui a eficiência do processo devido à presença de cloretos, a concentração obtida nas medições realizadas na água da rede pública foi inferior à obtida no reservatório. Este facto contraria diretamente a politica de não utilização da água da rede pública atualmente em vigor na fábrica, validando a possibilidade de a usar em caso de necessidade (devido aos elevados custos associados).

4.2 Proposta de Solução

Após a análise realizada anteriormente, é possível concluir que a necessidade prioritária é o controlo da qualidade da água da pintura.

Tendo em consideração que, atualmente, esta não é aceite pelos serviços de recolha municipais, a solução ideal passaria por uma melhoria da qualidade do efluente tratado, de forma a garantir reintrodução na rede municipal de águas residuais, eliminando assim por completo a possibilidade de influência da água da pintura no processo de formação das areias.

Uma outra abordagem possível, que se baseia na mesma premissa da anterior, passaria igualmente pela melhoria da qualidade da água do efluente tratado da pintura, mas não com o objetivo de o retornar á rede municipal, pois, a partir do momento que as concentrações dos sais desse efluente deixem de se apresentar como ameaças ao processo de formação das areias, a ligação entre os dois setores deixa de ter uma possível influência negativa no processo.

Enquanto tais ações não forem tomadas e as redes de águas de ambos os setores permanecerem conectadas, sem instalação de tratamentos extra no setor da pintura (tratamento existente é mencionado posteriormente neste documento), existe a possibilidade de contaminação, pelo que, se recomenda um controlo periódico da água de ambos os pontos, de forma a garantir a qualidade da água adicionada no processo. Desse modo seria possível assegurar que, quer possíveis influências negativas relacionadas com a pintura, quer prováveis variações que ocorressem na qualidade da água do rio, seriam detetadas nas análises do reservatório. Estaria assim garantida a possibilidade de tomada de ação preventiva fundamentada e não de uma ação de correção motivada pela deteção posterior em linha da

incapacidade da areia cumprir os requisitos de qualidade desejados, sem a existência de uma justificação efetiva para tal.

Por outro lado, independentemente do setor da pintura, existe uma certeza relativamente às necessidades de tratamento: a aplicação de um sistema de filtração é uma ação prioritária, não só devido às possíveis melhorias que possam ocorrer a nível processual, mas também devido à necessidade de minimização de danos a nível das tubagens e válvulas. Esta implementação tem como objetivo uma redução direta dos custos de manutenção, quer a nível de material (através da minimização da necessidade de substituir peças), quer a nível de recursos humanos, dando azo a que os trabalhadores deixem de necessitar de prestar tanta atenção ao circuito das águas, permitindo um aumento de atenção nas outras áreas de ação da estação. Nesse sentido, foi necessário por encontrar um filtro de autolavagem que permitisse satisfazer as necessidades enunciadas.

Por norma, estes realizam a filtração da água através da passagem forçada desta através da malha. Quando o processo se inicia e o elemento de malha está limpo a perda de carga é mínima, no entanto, com o decorrer do processo, devido à retenção de partículas de calibre superior, o elemento de malha começa a ficar colmatado. Esta colmatação da malha origina um aumento da perda de carga que quando atinge um valor previamente estabelecido desencadeia o processo de limpeza. Dependo da utilização pretendida, a operação de limpeza dos filtros pode ser desencadeada por sinal proveniente de pressostato diferencial, ou programação por tempo, com definição do intervalo entre limpezas.

No sentido de encontrar uma solução viável foram contactadas várias empresas (Tabela 6), para obtenção do orçamento para fornecimento de um filtro a aplicar antes da água chegar ao reservatório:

Tabela 6 - Listagem das empresas contactadas para obtenção de orçamento do filtro

Empresa	Localização
Technifiltro	Lisboa
Gonçalagro	Fundão
Hubel	Algarve
Azulimenso	Algarve/Lisboa
CleanPur	S. João da Madeira
Sistragua	Santarém
Vipur	Viana do Castelo

Apenas as empresas Hubel e Gonçalagro apresentaram orçamentos. Com base nas condições de operação existentes na Sakthi foram recomendadas as opções cujos modelos e características relevantes são apresentadas na Tabela 7 (fichas técnicas em Anexo). Os modelos de filtro apresentados têm sistemas de funcionamento semelhantes que consistem num filtro, malha e sistema de controlo (PLC).

Tabela 7 - Modelos de filtros propostos e respetivas características de operação

		Vendedor: Hubel				Gonçalagro
Características relevantes		TAF 2"	TAF 3"R	TAF 3"F	SAF 1500n 2"	EKO 3"
Área de filtragem (cm^2)		500,0	750,0	750,0	1500,0	1650,0
Tempo de lavagem (s)		16	16	16	15	20
Caudal mínimo de lavagem (m^3/h)		4,0	5,7	5,7	6,0	6,2
Volume água de lavagem (L)		25,0	25,0	25,0	25,0	34,5
Pressão mínima (bar)		1,5	1,5	1,5	1,5	1
Pressão máxima (bar)		8	8	8	10	10
Caudal máximo (m^3/h)		25,0	50,0	50,0	80,0	70,0
Perda de carga a 15m^3/h (bar)		0,07	0,03	0,03	0,05	0,00
Grau de filtração (micrómetros)	**Máximo**	10	10	10	10	10
	Mínimo	500	500	500	800	1500

Analisando os parâmetros de operação é possível constatar que as opções apresentam diferentes gamas operacionais, podendo ser divididas em dois grupos. Sendo um grupo constituído pelos filtros TAF (2", 3"R e 3"F), uma vez que são de dimensões inferiores, apresentam uma pressão máxima de funcionamento mais reduzida e funcionam com caudais máximos mais reduzidos. A sua área de filtração é mais reduzida pelo que o risco de colmatação com caudais ou concentrações de sólidos suspensos totais mais elevados é superior.

No segundo grupo estão presentes o filtro SAF 1500n e o EKO, sendo que ambos apresentam dimensões superiores, uma pressão máxima de funcionamento mais elevada e operam com caudais máximos também superiores. Apresentam uma área de filtração maior (o dobro da área máxima apresentada pelos filtros TAF) pelo que o risco de colmatação com caudais ou concentrações de sólidos suspensos totais mais elevados é mais reduzido.

A nível de custos, foi realizada uma avaliação do custo de operação de cada opção, com base no consumo energético ao longo de um ano de trabalho, ou seja, durante 24h, 5 dias por semana durante o ano inteiro (ciclo operatório da Sakthi).

O custo do consumo elétrico foi calculado de acordo com as especificações de cada filtro disponibilizadas nas fichas técnicas e nas tarifas horárias consultadas na EDP para o ano de 2017, Tabela 16 (Anexo 7), assumindo um tempo de trabalho semelhante em todos os períodos horários. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 - Cálculo dos custos anuais de operação por filtro

	Hubel				Gonçalagro
Filtro	**TAF 2"**	**TAF 3"R**	**TAF 3"F**	**SAF 1500n 2"**	**EKO 3"**
Tempo de operação (h)	6257,1				
Potência total (W)	15,0			187,0	Funciona a pilha 9V
Energia (kWh)	93,9			1170,1	
Preço eletricidade (€/kWh)	0,10 €				
Custo anual de operação (€)	9,31 €			116,09 €	4,40 €*

*Assumindo a necessidade de substituição de pilha 1 vez ao ano (valor obtido em - https://www.aquario.pt/produtos/pilhas-alcalinas, no dia 12/03/2017)

Para além da determinação dos custos de operação, foi feita uma estimativa de custos de manutenção. No que diz que respeito ao filtro EKO, o fornecedor indicou que os requisitos de manutenção normais a nível de uma aplicação num sistema de rega consistem apenas numa limpeza profunda realizada uma vez ao ano, esta limpeza passa por abrir o filtro, desmontar a malha, emergi-la numa solução de água com hipoclorito durante um período de 5 minutos, passa-la por água e voltar a montar o filtro. Esta tarefa pode ser realizada por apenas uma pessoa e tem como duração média 1h e 30 minutos.

Tendo em conta que nesta situação o filtro é para ser aplicado numa instalação industrial, e existe a necessidade de garantir o correto funcionamento do mesmo, deve ser adotada uma postura preventiva, pelo que o fornecedor recomendou que esta limpeza fosse realizada uma vez de 2 em 2 meses. Com base nestas informações foi possível determinar o custo de mão de obra referente à manutenção.

Comparando o valor obtido com o custo total do equipamento (filtro, malha, trifásico e transporte) foi possível estabelecer uma relação de 6% entre os dois. Tendo em conta a semelhança existente entre procedimentos de manutenção é assumido que os restantes filtros apresentem valores na mesma ordem, os valores calculados são apresentados na tabela 9:

Tabela 9 - Determinação dos custos de manutenção anuais

	Fornecedor : Hubel				Fornecedor: Gonçalagro
	TAF 2"	TAF 3"	TAF 3"	SAF 1500n 2"	EKO 3"
Custo total equipamento	3 449 €	3 822 €	3 822 €	9 308 €	1968 €
Custo anual de manutenção (6%)	221 €	245 €	245 €	596 €	126 €

Para finalizar a avaliação a nível de investimento, foi realizada uma ponderação de custos que engloba os valores relacionados com o custo direto do equipamento de filtragem, das malhas, de transporte, de operação e manutenção ao longo de um ano. A todos estes valores foi adicionado um fator de segurança de 10% de forma a prevenir possíveis custos de instalação e necessidade de aquisição de materiais que não tenham sido contabilizados. Os valores finais obtidos são apresentados na tabela 10:

Tabela 10 - Custos de investimento e operação durante o primeiro ano de cada filtro

		Hubel				Gonçalagro
Custos		TAF 2"	TAF 3"	TAF 3"	SAF 1500n 2"	EKO 3"
Custo equipamento	**custo filtro (c/IVA 23%) (€)**	3232	3604	3604	5491	1968
	custo malha (c/IVA 23%) (€)	218	218	218	1449	Englobado (Custo filtro)
	custo trifásico (c/IVA 23%) (€)	Não necessita	Não necessita	Não necessita	2368	Não necessita
Custo transporte (€)		Englobado (Custo filtro)	Englobado (Custo filtro)	Englobado (Custo filtro)	Englobado (Custo filtro)	Englobado (Custo filtro)
Custo Anual de Operação (€)		9	9	9	116	4
Custo Anual de Manutenção (€)		221	245	245	596	126
Fator de segurança (%)		10	10	10	10	10
Total (€) / filtro		4150	4597	4597	11309	2367

A nível de aplicação é fundamental ter em mente que a necessidade de funcionamento da estação de maneira ininterrupta exige:

- A compra de dois filtros que funcionem em paralelo, garantindo sempre o fornecimento de água filtrada ao reservatório mesmo em caso de avaria de um dos equipamentos.

ou:

- A criação de uma ligação by-pass para situações esporádicas de emergência, no entanto, nesta situação a água fornecida não seria filtrada.

Relativamente ao local de aplicação, é sugerido que o filtro seja implementado numa área coberta, o mais a montante possível de maneira a proteger o maior número de equipamentos. A aplicação na casa das máquinas onde estão as bombas que efetuam a bombagem da água do Poço principal para o reservatório seria o posicionamento ideal, no entanto uma aplicação diretamente após a bomba iria representar uma necessidade de controlo de pressão para assegurar que os valores de pressão máximo do filtro não são ultrapassados.

4.3 Análise Custo-benefício

Atualmente na empresa, a água para além da necessidade de cumprir requisitos mínimos de qualidade para ser introduzida no processo de formação de areias sem causar um efeito negativo, tem também um papel preponderante a nível de custos relacionados com materiais e mão de obra. Tendo em conta que a água é captada sem qualquer tipo de filtração, a instalação encontra-se exposta a todo o tipo de partículas que possam estar presentes na água do rio estando assim muito vulnerável às mudanças resultantes das alterações das condições meteorológicas. Este tipo de exposição, naturalmente representa problemas a nível de desgaste do material ao longo das tubagens. A aplicação de um equipamento de remoção de sólidos no inicio da rede irá reduzir de forma significativa este desgaste e consequentemente o valor gasto, quer em bens materiais para substituir os equipamentos danificados, quer a nível de mão de obra.

A quantificação destes valores foi realizada com base nos valores gastos no ano de 2016 no departamento das areias Space em equipamentos danificados devido à presença de material particulado na água e no tempo despendido pelos operadores a proceder às alterações. Estes valores foram recolhidos diretamente junto dos operadores da Sakthi e são apresentados de seguida nas Tabelas 11 e 12:

Tabela 11 - Custos materiais associados á qualidade da água no ano de 2016

Unidades	Equipamento	Custo Bruto/unidade	Desconto	Custo total material
7	Contadores	133 €	10%	838 €
2	Válvulas de corte	409 €	10%	737 €
4	Válvulas reguladoras de pressão	170 €	10%	612 €
30	injetores	18 €	10%	486 €

Tabela 12 - Custos associados á mão de obra necessária ás substituições de material no ano de 2016

Unidades	Equipamento	Tempo de troca / unidade (h)	tempo de troca total (h)	Custo mão de obra (€/h)	nº trabalhadores necessários	Custo mão de obra total
7	Contadores	0,5	3,5	14 €	1	49 €
2	Válvulas de corte	1	2		1	28 €
4	Válvulas reguladoras de pressão	1	4		1	56 €
30	injetores	-	1		1	14 €

Com base nos valores apresentados anteriormente foi então possível determinar que o custo total relativo à substituição de material danificado na rede de fornecimento de água foi de 2673€/ano e que o valor relativo ao custo associado à mão de obra foi de 147€/ano. A soma destes, constitui o total despendido pela Sakthi no ano de 2016 em manutenção devido a problemas relacionados diretamente com a presença de material particulado na água.

O balanço entre os custos de investimento e operação apresentados anteriormente comprova a poupança anual que ocorrerá a partir do momento da aplicação do filtro, estando a mesma apresentada na tabela 13:

Tabela 13 - Relação custo-benefício de todos os filtros

Vendedor:	Hubel				Gonçalagro
	TAF 2"	TAF 3"R	TAF 3"F	SAF 1500n 2"	EKO 3"
Custo de investimento mais operação e manutenção (1 ano)	4 047 €	4 483 €	4 483 €	11 022 €	2 308 €
Poupança anual em mão de obra	147 €				
Poupança anual em material	2673€				
Custo anual de operação	9€	9€	9€	116€	4€
Custo anual de manutenção	221€	245€	245€	596€	126€
Balanço final ao fim do primeiro ano	-1 227 €	-1 663 €	-1 663 €	-8 202 €	512 €
Balanço final ao fim do segundo ano	1 361 €	901 €	901 €	-6 104 €	3 202 €
Balanço final ao fim do terceiro ano	3 950 €	3 465 €	3 465 €	-4 006 €	5 891 €
Balanço final ao fim do quarto ano	6 538 €	6 030 €	6 030 €	-1 909 €	8 581 €
Balanço final ao fim do quinto ano	9 126 €	8 594 €	8 594 €	189 €	11 271 €

Analisando a tabela anterior, a nível financeiro, o filtro EKO 3" apresenta-se como a melhor opção, permitindo recuperar o investimento inicial, e apresentar ainda um saldo positivo no final do primeiro ano.

As restantes opções apresentam valores positivos a partir do segundo ano após o investimento inicial, sendo que o filtro SAF 1500n 2" permite apenas recuperar o investimento a partir do quinto ano de operação. No entanto, é importante relembrar que o tempo de vida médio para os filtros sugeridos, de acordo com os fornecedores, é superior a 15 anos, sendo que perante este cenário, qualquer filtro escolhido iria assegurar um retorno de investimento.

Existe, no entanto, a necessidade de realizar manutenção da malha antes do fim do período mencionado, uma vez que devido ao intenso desgaste que estas sofrem, acabam por ter tempos de vida inferiores, no entanto, aplicando um pré-filtro "caça-pedras" antes da aplicação do filtro em si é possível reduzir em larga escala esta abrasão. Perante esta situação, as malhas são capazes de estar em funcionamento por períodos que se podem estender até aos 10 anos.

A aplicação do "caça pedras", recomendada pelos fornecedores, consiste apenas na aplicação de uma malha metálica furada (furos que rondem os 2 mm de diâmetro) algures a montante da aplicação do filtro, assegurando a retenção de detritos de superior dimensão que poderiam posteriormente danificar a malha e originar fugas.

É interessante relembrar que, possíveis melhorias de eficiência que ocorram no processo de formação das areias devido à remoção de impurezas por parte dos filtros, não está a ser contabilizada neste balanço, pelo que, para determinar todo o verdadeiro potencial de melhoria que advém da aplicação do filtro, se requerem estudos posteriores.

5 Conclusões

Os resultados obtidos são indicadores da qualidade da água utilizada pela Sakthi, no entanto, é importante ter em consideração o facto de estarem condicionados pela pequena janela temporal das amostragens. Para determinar valores representativos a nível anual seria necessária a realização de amostragens em diferentes estações do ano hidrológico.

Perante os resultados obtidos é possível concluir que a água atualmente utilizada no processo reúne a qualidade mínima necessária, uma vez que os sais presentes estão em concentrações de tal modo baixas que, segundo a bibliografia existente, não representam uma ameaça significativa a nível de redução da qualidade da areia, nomeadamente da força de tração em húmido (WTS).

É ainda possível afirmar que, contrariamente ao esperado, a concentração de cloretos existente na água da rede pública é inferior à obtida, quer no reservatório, quer no rio. Este facto contraria diretamente a ideia existente de que a água da rede pública não deveria ser utilizada no processo devido ao seu conteúdo em cloro, uma vez que este, teoricamente, iria afetar negativamente o produto final, não assegurando a qualidade exigida à areia para formar as moldações.

No entanto, o mesmo não se aplica à água proveniente do processo da pintura, sendo que a nível de cloretos, apresenta valores capazes de reduzir a WTS da areia em 50%. É possível concluir que a ligação existente entre a água proveniente da pintura e a água utilizada na instalação das areias Space é uma situação negativa, uma vez que existe a possibilidade de contaminação que não assegura o fornecimento continuo de areia de qualidade durante todo o tempo de operação, deixando a estação vulnerável à influência de um outro sector.

Um tratamento mais eficiente do efluente da pintura, de forma a garantir que este seja aceite pela rede municipal de tratamento, permitiria o corte da ligação entre os dois departamentos e seria sem duvida a solução mais eficaz e o primeiro passo a dar no caminho da garantia da qualidade da água a introduzir no processo de formação das areias. Uma outra possibilidade, seria a conservação da ligação entre os dois setores, com a condicionante do melhoramento da qualidade da água proveniente da pintura até á obtenção de concentrações que deixem de apresentar a possibilidade de influenciar negativamente o processo de formação as areias.

Determinou-se também que, apesar do reduzido valor obtido a nível de sólidos suspensos totais no reservatório, a implementação de um sistema de tratamento preliminar era algo fundamental. Neste sentido foi estabelecido que a instalação de um filtro de autolavagem iria

de encontro às necessidades da empresa e foram realizados contactos com fornecedores que apresentaram 5 propostas capazes de satisfazer as necessidades enunciadas.

A nível técnico ficou estabelecido que os filtros SAF e EKO apresentam capacidades superiores aos restantes, em especial devido à superior área de filtragem que apresentam, o que representa uma maior dificuldade em colmatar e consequentemente maior tempo de operação e menor número de lavagens.

Avaliando financeiramente, calculou-se o custo referente ao investimento mais os custos de operação e manutenção ao longo de um ano. O filtro EKO 3", com um custo estimado de 2308€, apresentou-se como a solução mais económica.

Não obstante, é assumido que a aplicação de qualquer uma das opções sugeridas iria permitir a redução da quantidade de equipamentos danificados pela presença de areias, e dos custos de mão de obra associados a estas reparações, o custo de ambos durante o ano de 2016 foi de 2673€ e 147€, respetivamente.

Depois da realização de um balanço com base no custo e na possível poupança anual, quer a nível de material quer a nível humano, determinou-se que o filtro EKO se apresenta como a solução mais vantajosa e que ao final do primeiro ano após instalação permite já obter um retorno superior ao investimento.

Para terminar, ao final de cinco anos após instalação, todos os filtros terão já permitido recuperação total do investimento, e tendo em conta os tempos de vida inerentes aos filtros, é possível concluir independentemente do investimento inicial, todos se apresentam como uma aquisição benéfica que irá garantir retorno financeiro ao longo de vários anos, reforçando ainda mais a sua necessidade de aplicação.

5.1 Criticas ao trabalho realizado

Relativamente ao trabalho realizado é importante apresentar algumas considerações:

Em primeiro lugar, no caso das amostragens, estas foram realizadas ao longo de um curto intervalo de tempo, sendo que os resultados obtidos podem não ser representativos dos valores existentes noutras alturas do ano. Em especial no caso das amostras recolhidas no rio, que é altamente condicionado pelas condições meteorológicas.

Seguidamente, também os valores da pintura apresentam variações temporais, uma vez que ligado a este departamento está uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de pequena dimensão que realiza um tratamento do efluente antes de este ser direcionado para a piscina coberta. Este tratamento consiste num processo de coagulação/floculação/sedimentação. De forma a garantir a homogeneidade do efluente a

tratar, este é armazenado num tanque até atingir um determinado volume mínimo, onde se realiza estabilização de pH antes da adição do coagulante e floculante. Devido a estas condições, existem períodos onde a ETAR não opera, não existindo fluxo de água tratada. Durante o intervalo de tempo onde foram recolhidas as amostras, a ETAR não funcionava há duas semanas. No entanto, tendo em conta o limitado período de tempo para a realização das recolhas para posterior análise, foi necessário realizar recolhas da água parada existente no fundo do tanque de água tratada, estando esta estagnada desde a última vez que a ETAR entrou em funcionamento. Estas recolhas permitiram obter valores referentes às concentrações de sais existentes na água tratada da pintura, mas apresentam também uma possibilidade de que alguns dos valores obtidos estejam condicionados por este período de estagnação.

Por último, fica a menção de que a determinação de cloretos de sódio foi realizada de acordo com a equação de conversão dos valores de cloretos, presente em APHA (1999), pelo que, o valor apresentado para este parâmetro consiste numa estimativa, e não no resultado de uma medição do parâmetro em especifico, aumentando a incerteza relativa a este valor.

5.2 Considerações futuras

De acordo com a postura que venha a ser assumida relativamente à possibilidade de contaminação da água do processo de produção de areias com efluente da pintura, é recomendada a criação de um plano de contingência para o caso de deteção de valores demasiado elevados nas análises periódicas que estejam a ser realizadas. Esse plano de contingência teria como principal objetivo, garantir o contínuo fornecimento de água para a produção de areia, independentemente da existência de contaminações na linha de água habitualmente usada no processo.

Um exemplo de procedimento a adotar seria, a partir do momento em que se estabelecesse que num determinado período de tempo a água não estaria a cumprir os valores de qualidade necessários, fosse permitido o atempado corte do fornecimento a partir do reservatório, e o início de operação com água da rede pública.

Tendo em consideração a possível variabilidade das concentrações de contaminantes de acordo com as condições meteorológicas, é altamente recomendado que seja realizado um estudo que englobe janelas de amostragem mais largas no tempo e que permitam ter um conhecimento mais profundo das alterações que ocorrem de acordo com as estações do ano.

Esse conhecimento é fundamental, inclusive para realizar um adequado controlo do filtro a aplicar, uma vez que grandes variações podem resultar em colmatações demasiado rápidas do filtro. Poderá ser necessário aplicar malhas com aberturas diferentes de acordo com as alturas do ano, de forma a assegurar a continuidade do processo sem uma excessiva

colmatação dos filtros. Especialmente durante o primeiro ano de operação é recomendado que este controlo operacional seja minucioso, até estarem fixados os valores/parâmetro que serão posteriormente considerados regulares. Estes são fundamentais, pois a partir do momento que estiverem determinados com clareza, podem servir como indicadores de possíveis problemas, permitindo antever estas situações e agir atempadamente, minimizando os estragos.

Um exemplo de um parâmetro que deve estar controlado é o número de lavagens que normalmente realiza em condições operatórias consideradas normais. Este conhecimento permite detetar possíveis problemas existentes no filtro, uma vez que um aumento significativo da frequência de autolavagens é sinónimo de que a diferença de pressão objetivo está a ser atingida mais rapidamente. Este facto pode dever-se, quer a aumentos da concentração de sólidos presentes na água ou devido a um problema com as malhas, existindo uma necessidade inspeção.

Seria também interessante manter um registo dos equipamentos substituídos para posteriormente comparar com os valores determinados neste projeto e avaliar em retrospetiva a viabilidade da opção tomada.

Por fim, numa perspetiva académica, fica a necessidade de realização de mais estudos relativamente à influência dos sais na desativação da bentonite, e em especial, a partir de que concentrações essa desativação é significativa ao ponto de afetar as características finais da areia e, de uma forma mais aprofundada, quais as principais propriedades afetadas.

6 Referências

APHA. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (A. E. Greenberg, A. D. (eds) Eaton, & L. S. Clesceri, Eds.).

ASTM. (1973). Annual book of ASTM standards.

Brown, J. (1999). Non-Ferrous Foundryman's Handbook. In J. R. Brown (Ed.), *Sands and sand bonding systems* (11th ed.). Foseco.

Chang, Y., & Hocheng, H. (2001). The flowability of bentonite bonded green molding sand. *Journal of Materials Processing Technology*, *113*(1–3), 238–244. doi:10.1016/S0924-0136(01)00639-2

Edelman, C. H., & Favejee, J. C. L. (1940). On the Crystal structure of montmorillonite and halloysite: Zeits. Krist.

Engelhardt, T. (2015). Activation , deactivation and processing behavior of foundry bentonites. Clariant.

Gautam, S. P., Kori, R., Parashar, S., Basu, D. D., Kamyotra, J. S., & Kumari, S. (2012). Guide manual water & wastewater analysis. *Hydrology Project -II. Development and proper use*, 183.

Hauser, E. A., & Colombo, U. (1953). Colloid science of montmorillonites and bentonites. MIT. doi:10.1346/CCMN.1953.0020136

Hendricks, S. B. (1942). Lattice structure of clay minerals and some properties of clays. *The Journal of geology*, *50*(3).

Hoffmann, U., Endell, K., & Wilm, D. (1933). Z.Kristallogr 86.

Jena, U., & Harvard. (2005). A Summary of Error Propagation, (3), 14.

Johnston, D. (2007). *EPA Guidelines: Regulatory monitoring and testing Groundwater sampling*.

Lapa, A. J. R. (1965). A Bentonite - matéria-prima de grande valor como aglomerante em fundição. In *1º Congresso Nacional de Fundição*.

Marshall, C. E. (1935). Z.Kristallogr 91.

Materials, T. (2001). The Materials Information Company. *Technology*, *2*, 3470. doi:10.1016/S0026-0576(03)90166-8

McCormick, D., & Roach, A. (1987). *Measurement, Statistic and Computation*. Analytical chemistry by open learning.

Monteiro, C. (1990). Areias de fundição. Departament de Engenharia Mecânica - Universidade do Minho.

Saikaew, C., & Wiengwiset, S. (2012). Optimization of molding sand composition for quality improvement of iron castings. *Applied Clay Science*, *67–68*, 26–31. doi:10.1016/j.clay.2012.07.005

Sakthi group. (2010). http://www.sakthigroup.com/auto.html. Accessed 12 January 2017

Sakthi Portugal. (n.d.). http://www.sakthiportugal.pt. Accessed 12 January 2017

Sertucha, J., & Suárez, R. (2009). *Arenas de Moldeo en verde*.

Silva Ribeiro, C. (2000). Processo de Fundição em Areia Verde. Departamento de Engenharia de Minas e Metalurgica - Faculdade de Engenharia da Universade do Porto.

Walton, C. F., & Opar, T. J. (1981). Iron Casting Handbook. *Iron Casting Society*.

Zanetti, M. C., & Fiore, S. (2003). Foundry processes: The recovery of green moulding sands for core operations. *Resources, Conservation and Recycling*, *38*(3), 243–254. doi:10.1016/S0921-3449(02)00154-4

Anexo 1 Locais de Amostragem

Figura 11 - Ponto de amostragem do rio - 29 de novembro de 2016

Figura 12 - Ponto de amostragem do reservatório - 29 de novembro de 2016

Figura 13 - Ponto de amostragem da pintura - 29 de novembro de 2016

Figura 14 - Ponto de amostragem da água da rede pública - 29 de novembro de 2016

Anexo 2 Determinação dos erros

Erros sistemáticos

Sem alterações no procedimento, os erros sistemáticos são repetidos se a experiência é repetida. Os erros sistemáticos têm um efeito tendencioso sobre os resultados finais; Erros sistemáticos tornam o resultado final alto ou baixo, mas não ambos. Os erros de calibração do instrumento são exemplos de erros sistemáticos. Erros sistemáticos afetam a precisão dos resultados finais. Contudo, erros sistemáticos também têm uma componente aleatória. Por exemplo: um balanço mal calibrado é uma fonte de erro aleatório e sistemático. Os erros sistemáticos são muitas vezes corrigidos através de um método diferente ou através da comparação de resultados entre diferentes laboratórios.

Para determinar o erro associado ao parâmetro Q, que depende da medição de determinadas quantidades (a,b,c…) com respetivas incertezas (ɖ a, ɖ b, ɖ c…) é necessário compreender que essas incertezas serão "propagadas" à incerteza de Q. Essa propagação obedece a regras estabelecidas de acordo com a influência desses parâmetros em Q, nomeadamente se Q é a combinação das somas ou subtrações desses parâmetros, ou se é o produto ou quociente deles. A exemplificação de ambos os casos segundo Jena & Harvard, (2005) é apresentada de seguida:

1. <u>No caso de adição/subtração.</u>

Assumindo:

$$Q = a + b + \ldots + c - (x + y + \ldots + z)$$

Então o cálculo da incerteza do parâmetro Q é:

$$ɖQ = \sqrt{(ɖa)^2 + (ɖb)^2 \ldots + (ɖc)^2 + (ɖx)^2 + (ɖy)^2 + \ldots + (ɖz)^2}$$

Como exemplo de aplicação, temos a determinação do erro sistemático associado à subtração de A por B na determinação de uma incerteza parcial associada á concentração de cloretos, cuja determinação é baseada na seguinte equação:

$$mg\ CL -/L = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{mL\ sample}$$

Temos então que:

$$ɖ(A-B) \ = \sqrt{(ɖA)^2 + \ (ɖB)^2}$$

Sabendo que:

$ɖA = 0.05$

$ɖB \ = 0.08$

Obtemos:

$$ɖ(A-B) \ = \sqrt{(0.05)^2 + \ (0.08)^2} <=> \ ɖ(A-B) \ = 0.09$$

2. <u>No caso de multiplicação/divisão.</u>

Assumindo:

$$Q \ = \frac{ab \dots c}{xy \dots z}$$

Então:

$$ɖQ = |Q| \ \times \sqrt{\left(\frac{ɖa}{a}\right)^2 + \left(\frac{ɖb}{b}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{ɖc}{c}\right)^2 + \left(\frac{ɖx}{x}\right)^2 \ + \left(\frac{ɖy}{y}\right)^2 + \ \dots + \left(\frac{ɖz}{z}\right)^2}$$

Como exemplo de aplicação, temos a continuação da determinação do erro sistemático associado à concentração de cloretos, cuja determinação é baseada na seguinte equação:

$$mg \ CL -/L \ = \frac{(A-B) \ \times \ N \ \times \ 35450}{mL \ sample}$$

Temos então que:

$$ɖ(mg \ CL -/L) \ = |mg \ CL -/L| \ \times \sqrt{\left(\frac{ɖ(A-B)}{(A-B)}\right)^2 + \left(\frac{ɖN}{N}\right)^2 + \left(\frac{ɖ \ mL \ sample}{mL \ sample}\right)^2}$$

Sabendo que, para a amostra nº1 do Reservatório, os valores são os seguintes:

$|mg \ CL -/L| = 27.83$

$ɖ \ (A-B) = 0.09$

$(A - B) = 3.925$

$ɖ N \ = 0.0005$

$N = 0.02$

$ɖ\, mL\ sample \ = 0.08$

$mL\ sample \ = 100$

Obtemos:

$$ɖ(mg\ CL -/L) \ = 27.83 \times \sqrt{\left(\frac{0.09}{3.925}\right)^2 + \left(\frac{0.0005}{0.02}\right)^2 + \left(\frac{0.08}{100}\right)^2} <=>$$

$$<=> ɖ(mg\ CL -/L) \ = 0.97$$

Erros aleatórios

Segundo (McCormick & Roach (1987), erros aleatórios causam desvios positivos e negativos do valor médio de uma medida. Os erros aleatórios são anulados pela média, se a experiência for repetida muitas vezes. Na média de muitos ensaios, os erros aleatórios têm um efeito apenas na precisão de uma medição. Para uma única determinação, um erro aleatório tem o mesmo efeito numérico na precisão e exatidão. Para um pequeno número de ensaios, os erros aleatórios têm uma pequena precisão. Numa rápida revisão dos erros associados a uma experiência, basta considerar que o efeito de erros aleatórios é principalmente sobre a precisão. Cada medida experimental não-inteira é uma fonte de erro. O tamanho do erro aleatório é estimado a partir da legibilidade do dispositivo.

Considerando:

$$X = \frac{\sum_{n=i}^{z} Ci}{z}$$

Temos que:

$$ɖQ1 = C1 - X$$

$$ɖQ2 = C2 - X$$

$$\dots$$

$$ɖQz = Cn - X$$

Se $|ɖQ1| < |ɖQ2| < |ɖQn|$, então:

$$ɖQ = |ɖQn|$$

Como exemplo de aplicação, temos a determinação do erro aleatório associado á determinação da concentração de cloretos:

Sabendo que:

Concentração final (mg Cl/L)	Concentração média (mg Cl/L)
27,83	28,36
28,89	

Temos então que:

$$ɖQ1 = 27.83 - 28.36 \;\; <=> \; ɖQ1 = \text{-}0.532$$

$$ɖQ2 = 28.89 - 28.36 \;\; <=> \; ɖQ2 = 0.532$$

Como $|ɖQ1| = |ɖQ2|$, $d\ aleatório = 0.532$

Erro global

De acordo com Pentz, M. & Shott, M & Aprahamian, F. (1988) e Bevington, P. R. & Hill, M. (1969), para conseguir chegar a um valor único que seja representativo quer dos valores associados a erros sistemáticos, quer dos valores associados a erros aleatórios, tendo em consideração que estes são independentes, é realizada uma ponderação em quadratura:

$$ɖ\,Total \;\; = \sqrt{(ɖ\,Sistemático)^2 + \;(ɖ\,Aleatório)^2}$$

Como exemplo de aplicação, e para finalizar a determinação do erro associado à determinação da concentração de cloretos:

Em primeiro lugar, é preciso ter em conta que a análise foi realizada em duplicado pelo que o valor final apresentado é a média entre estes, como tal, existe a necessidade de reajustar os valores de erro sistemático:

$ɖ\,\text{Sistemático } 1 = 0.97$

$ɖ\,\text{Sistemático } 2 = 0.98$

$$ɖ\,\text{Sistemático} = \sqrt{(ɖ\,Sistemático\ 1)^2 + (ɖ\,Sistemático\ 2)^2} <=>$$

$$<=> ɖ\,\text{Sistemático} = \sqrt{(0.97)^2 + (0.98)^2} <=>$$

$$<=> ɖ\,\text{Sistemático} = 1.38$$

Utilizando o valor do erro aleatório calculado anteriormente, é então possível realizar a ponderação entre ambos:

$$ɖ\,Total = \sqrt{(ɖ\,Sistemático)^2 + (ɖ\,Aleatório)^2} <=>$$

$$<=> ɖ\,Total = \sqrt{(1.38)^2 + (0.53)^2} <=>$$

$$<=> ɖ\,Total = 1.48$$

Anexo 3 Determinação da massa de contaminantes - Reservatório e Pintura

Tabela 14 - Massa de cada sal - valor horário - Reservatório

			Valores horários	
Parâmetro	**Unidades**	**Concentração**	**Unidades**	**Massa**
Dureza	mg CaCO3/L	86	kg	1,03
Alcalinidade	mg CaCO3/L	29	kg	0,35
Sulfatos (SO4)	mg SO4/L	27,6	kg	0,33
Cloretos (Cl)	mg Cl/L	39	kg	0,47
Cloreto de sódio (NaCl)	mg NaCl/L	65	kg	0,78
Nitratos (NO3)	mg NO3/L	28,7	kg	0,35
Nitritos (NO2)	mg NO2/L	0,342	kg	0,00
Fosfatos (P)	mg P/L	0,953	kg	0,01

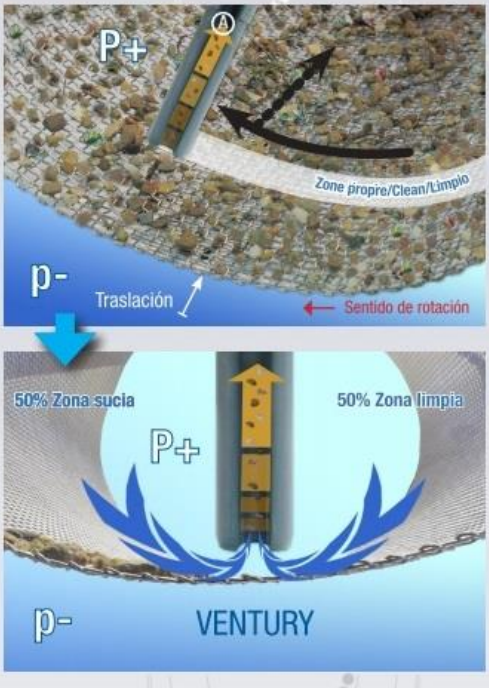
Tabela 15 - Massa de cada sal - valor horário - Pintura

			Valores horários	
Parâmetro	**Unidades**	**Concentração**	**Unidades**	**Massa**
Dureza	mg CaCO3/L	182	kg	2,18
Alcalinidade	mg CaCO3/L	189	kg	2,27
Sulfatos (SO4)	mg SO4/L	89,9	kg	1,08
Cloretos (Cl)	mg Cl/L	1200	kg	14,40
Cloreto de sódio (NaCl)	mg NaCl/L	2000	kg	24,00
Nitritos (NO2)	mg NO3/L	83	kg	1,00
Nitratos (NO3)	mg NO2/L	87,0	kg	1,04
Fosfatos (P)	mg P/L	150,4	kg	1,80

Anexo 4 Ficha técnica filtro EKO

Lama
Sistemas de filtrado / Filtration systems

FILTROS AUTOMÁTICOS HIDRÁULICOS | AUTOMATIC HYDRAULIC FILTERS | AUTOMATIQUES HYDRAULIQUES FILTRES



Sistema que limpia mediante boquillas aspiradoras de plástico, que recorren el cartucho impulsadas por energía hidráulica. Principio "acción-reacción".

System using plastic nozzles for the cleaning vacuum, ranging along the cartridge, driven by hydraulic power. Principle "action-reaction".

Système de nettoyage utilisant des buses d'aspiration en plastique, qui parcourent la cartouche tirée par entraînement hydraulique. Principe «action-réaction».

EKO
3" / 4" / 6" / 8" / 10"

EKOSENIOR 2"/ 3"

Filtros económicos
Responde a la demanda del mercado
Limpieza automática
Fácil manejo
Diseño compacto

Economic filters
Responds to market demand
Automatic cleaning
Easy to use
Compact design

Filtres économiques
Répondre à la demande du marché
Autonettoyant
Facile à utiliser
Design compacte

EKOLU
3" / 4" / 6" / 8" / 10" / 12"

www.lama.es

FILTROS AUTOMÁTICOS ELÉCTRICOS | AUTOMATIC ELECTRIC FILTERS | AUTOMATIQUES ÉLECTRIQUES FILTRES

Sistema mediante boquillas de goma. En su interior se crea una cámara estanca. Dispone de motor eléctrico que realiza la rotación del escáner de succión.

System using rubber nozzles. Inside it creates an airlock. The electric motor performs the rotation of the suction scanner.

Système utilisant des buses en caoutchouc. A l'intérieur, il crée un sas étanche. Un moteur électrique fournit la rotation du scanner que réalise la aspiration.

Boquilla / Nozzle / Buses

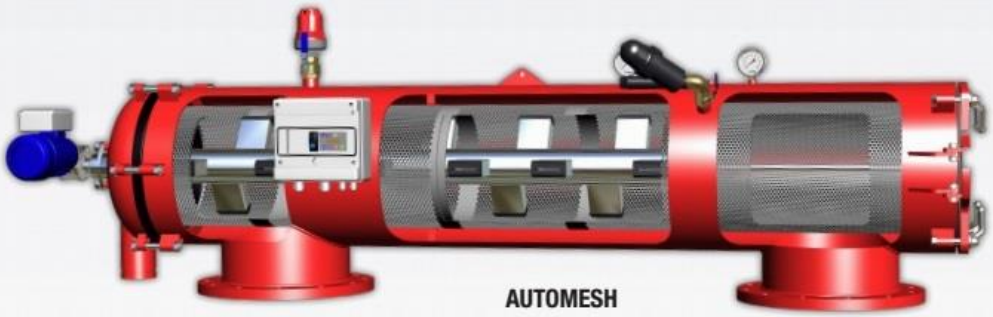
Es el sistema más económico por volumen de filtrado
Al ser autolimpiante no necesita otro filtro que le suministre agua limpia
No cesa la filtración durante la limpieza

The most inexpensive system by filtration flow
They are self-cleaning filters so they do not need any other filter to provide clean water
The filtration does not stop while cleaning

Le système le plus économique par volume de filtration
Il est autonettoyant par cela il n'a pas besoin d'un autre filtre qui lui fournit d' eau propre
La filtration ne cesse pas pendant le nettoyage

CALADO

1 ½" / 2" / 3" / 4" / 5" / 6" / 8"



AUTOMESH

4" / 6" / 8" / 10" / 12" / 14"

www.lama.es

WE ARE PRESENT IN THE FIVE CONTINENTS | NOUS SOMMES PRÉSENTES DANS LES CINQ CONTINENTS

ESTAMOS PRESENTE EN LOS CINCO CONTINENTES

Asistencia Tecnica y Comercial Altamente Profesional

Professional sales assistants and technical support | Assistance technique et commerciale des professionnels

Laboratorio I+D+I
Tecnología e Innovación
en Sistemas de Filtrado.

4 Años de Garantía!
Tratamiento Superficial
Amonite + Epoxy

Manual del Usuario Detallado
Disponible en Nuestra Web.

Todos Nuestros Productos
Están Sometidos a Estrictos
Controles de Calidad.

Laboratory R & D + I
Technology and Innovation
in Filtration Systems.

4 Years Warranty!
Surface Treatment
Ammonite + Epoxy

Detailed User Manual
Available on Our Website.

All Our Products
Undergo Strict
Quality Controls.

Laboratoire R & D + I
Technologie et l'Innovation
en Systèmes de Filtration.

4 Ans de Garantie!
Surface Traitement
D'ammonite + Epoxy

Manuel de l'Utilisateur Détaillé
Disponibles Sur Notre Site Web.

Tous Nos Produits
Subissent Stricts
Contrôles de Qualité.

Lama
Sistemas de filtrado / Filtration systems

CE

SPAIN

Calle Artesanía 1-3-5 Polígono Industrial Guadalquivir 41120 Gelves (Sevilla) - ESPAÑA (UE) - Telf. (+34) 955 77 77 10 - Fax. (+34) 955 77 04 67 - E-mail: lama@lama.es

MAROC

Lot. Banque Populaire, 73 Rue Arrahma N° 8 Porte Droite B - Tanger, Maroc - E-mail: maroc@lama.es

Portab.: 00212 (0) 6 61 42 36 05 - Telf.: 00212 (0) 5 39 31 32 12 - Fax: 00212 (0) 5 39 31 32 11

TUNISIE - Bureau Commercial: tunisie@lama.es

IRAN - Commercial Office: iran@lama.es

ITALIA - Commercial Office: italia@lama.es

MÉXICO - Oficina Comercial: mexico@lama.es

PERÚ - Oficina Comercial: peru@lama.es

HONDURAS - Oficina Comercial: honduras@lama.es

CHILE - Oficina Comercial: chile@lama.es

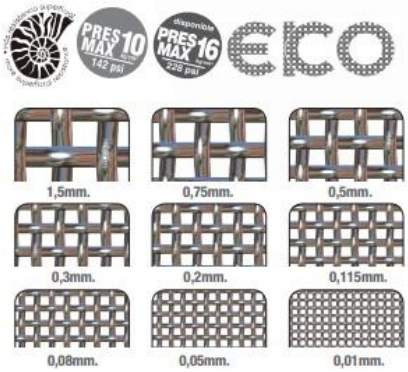
Fernando Lama S.L. © 2016 - Rev 3.0 - 4/2/2016

Lama
Sistemas de filtrado / Filtration systems

Malla
Eko

Motor hidráulico, principio acción-reacción. Programador no modificable. Filtro disponible desde 3" a 10".

Filtro EK06



FICHA TÉCNICA

SISTEMA

Filtración producida por la retención de partículas de tamaño superior al hueco de la malla usada.
Gran superficie de filtrado y mínima pérdida de carga.
Alta resistencia a efectos producidos por la presión diferencial.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Cuerpo: acero al carbono o acero inoxidable
Juntas: Caucho sintético nitrilo 60º Shore.
Tornillos: zincados.
Malla: acero inoxidable.
Mecanismo de aspiración: PVC

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DEL ACERO

Tratamiento interno y externo, por inmersión, mediante fosfatado e imprimación base. Posteriormente, pasa a pintarse por proyección electrostática de pintura en polvo epoxy poliéster.

ELEMENTO FILTRANTE

Malla de acero inoxidable termosoldada en una estructura tubular de PVC horadado. **Para nuestros filtros automáticos la malla standard es de 0,190 mm, aunque disponemos de mallas desde 1,5 mm a 0,01 mm.**

LIMPIEZA

Sistema hidráulico. La limpieza del cartucho filtrante se lleva a cabo de forma automática con la participación de un conjunto de boquillas aspiradoras encargadas de recorrer toda la superficie de la malla sucia.

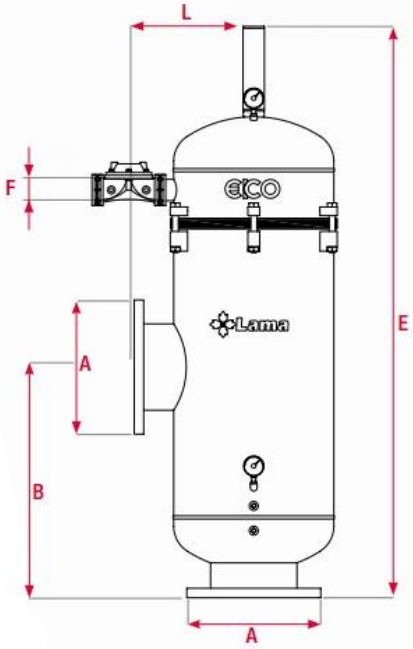
PRESIONES

Presión máxima: 10 kg/cm²
Presión mínima: 1 kg/cm²
Presión mínima de limpieza: 2,5 kg/cm²
Presión de prueba: 15 kg/cm²
Presión disponible: 16 kg/cm²

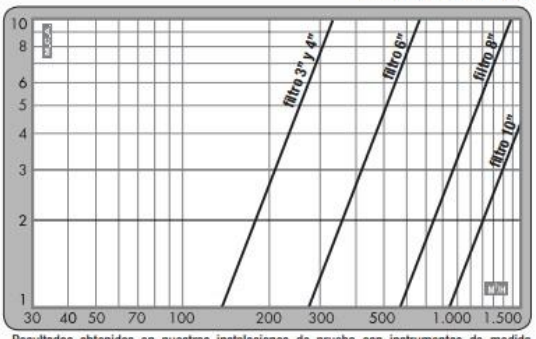
www.lama.es

Lama
Sistemas de filtrado / Filtration systems

FILTRO AUTOLIMPIANTE DE MALLA HIDRÁULICO EKO



PÉRDIDA DE CARGA



Resultados obtenidos en nuestras instalaciones de prueba con instrumentos de medida homologados, con la utilización de agua limpia como fluido para la evaluación y mallas Lama de 190 µm.

A (Ø)	B (mm)	E (mm)	F (Ø)	L (mm)	Peso Neto (Kg)	Dimensiones Embalaje (mm)	Peso Embalaje (Kg)	Volumen Embalaje (m^3)	Código
3"	300	975	1" H	170	31,5	850 x 600 x 310	35,5	0,158	EK03
4"	300	975	1" H	170	32	850 x 600 x 310	36	0,158	EK04
6"	500	1.320	1" ½ H	170	51	1200 x 600 x 310	55	0,223	EK06
8"	585	1.495	2" H	303	221	1300 x 700 x 700	225	0,637	EK08
10"	750	1.841	2" H	303	246	1650 x 700 x 700	250	0,808	EK010

Caudal Límite 3m. P.D.	Caudal Max. Recomendado (m^3/h)		Superfice Filtración (cm^2)	Presión Lavado (Kg/cm^2)	Caudal Lavado (m^3/h)	Cantidad Agua Lavado (£)	Duración Lavado (mínimo)	Código
	< 50ppm	50/100ppm						
181	70	37	1.650	2,5	6,2	34,5	20"	EK03
181	70	37	1.650	2,5	6,2	34,5	20"	EK04
372	144	77	3.210	2,5	12,4	69	20"	EK06
733	284	152	6.425	2,5	14,4	80	20"	EK08
1.116	431	231	9.550	2,5	20	111	20"	EK010

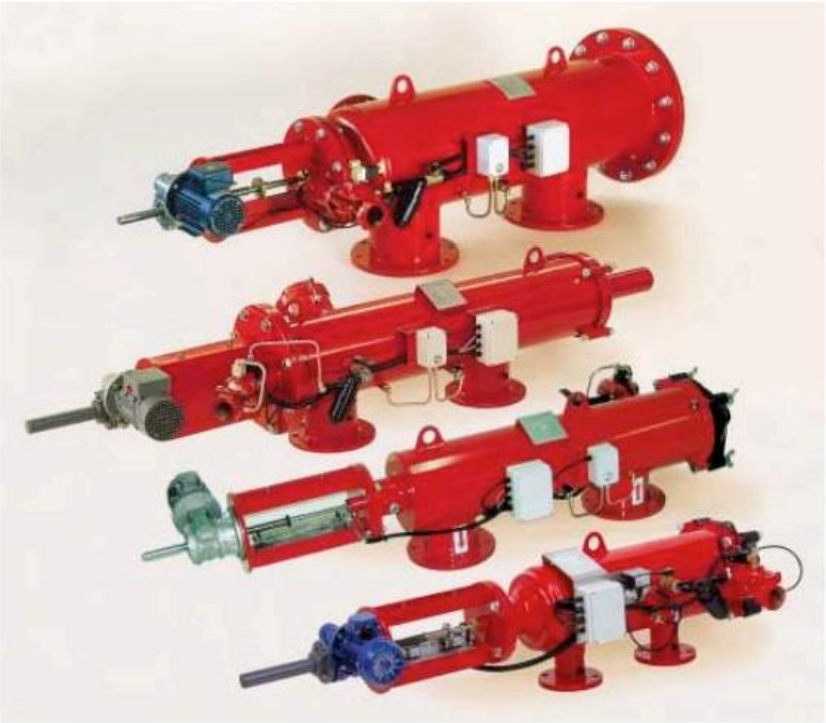
www.lama.es

Anexo 5 Ficha técnica filtro SAF

Filtro Amiad SAF

SAF 1500, 3000, 4500 e 6000

Características Técnicas, Procedimentos para Ensaios e Arranque da Estação de Filtração



HUBEL Indústria da Água

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Filtro de limpeza automática
Amiad SAF

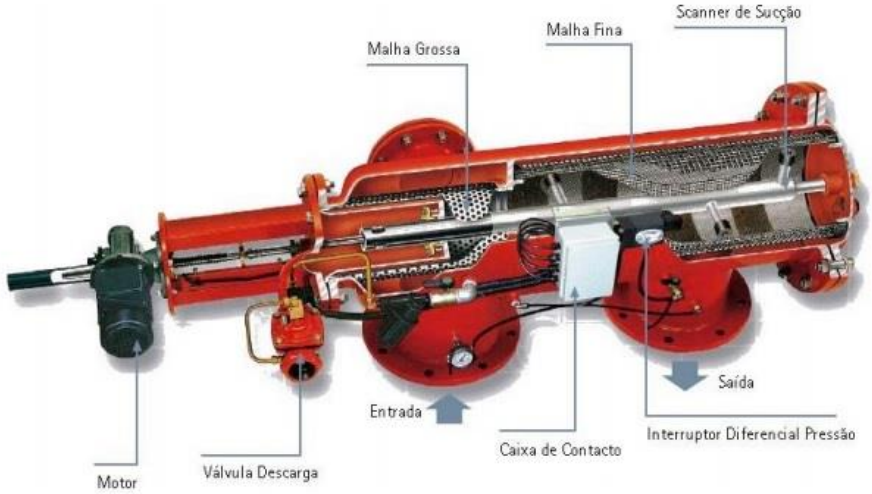
DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FUNCIONAMENTO

GERAL

O filtro automático marca AMIAD modelo SAF dispõe de um mecanismo de limpeza automática, que realiza a remoção das partículas retidas na malha do filtro durante o processo de filtração.

PROCESSO DE FILTRAÇÃO

A operação de filtração realiza-se através da passagem da água a filtrar da parte interna para a parte externa do elemento de filtração. Quando o processo se inicia e o elemento de malha está limpo a perda de carga é mínima. Com o decorrer do processo o elemento de malha começa a ficar colmatado devido à retenção das partículas de calibre superior à malha de filtração (e.g. com a malha de 130 microns ficam retidas partículas de calibre superior a 130 microns). Esta colmatação da malha origina um aumento da perda de carga que quando atinge um valor previamente estabelecido desencadeia o processo de limpeza.



PROCESSO DE LIMPEZA AUTOMÁTICO

Ao accionar-se de forma automática o processo de limpeza da malha de filtração realiza-se a abertura de uma válvula automática seguida do arranque de motor eléctrico. Este transmite um movimento de rotação e translação de um eixo no qual estão instaladas 6 boquilhas as quais fazem o varrimento do elemento de filtração removendo do mesmo as partículas retidas. O processo de "sucção" realizado pelas boquilhas deve-se à criação de um diferencial de pressão devido à abertura da válvula de lavagem. Assim, no interior do filtro do filtro temos uma pressão mínima de 2 bar e no exterior a pressão atmosférica, deste modo cria-se um fluxo direccionado e de elevada velocidade da zona abrangida pelas boquilhas para o exterior do filtro. Os sedimentos são veiculados para o exterior através da válvula automática Dn 50 mm que se encontra em posição de aberta durante o processo de limpeza.
Durante o processo de limpeza continua a realizar-se o processo de filtração.

O SISTEMA DE CONTROLO

O sistema de controlo do processo de lavagem dos filtros é realizado por quadro de comando, com o n.º de saídas necessárias para o n.º de filtros a controlar.
O quadro é fornecido em caixa armário metálico com fechadura e indicação visual através de sinalizadores das operações de limpeza. A unidade de comando é constituída por autómato programável com as extensões de memória e saídas necessárias para o n.º de filtros da estação.

CARACTERÍSTICAS

A operação de limpeza dos filtros pode ser desencadeada por sinal proveniente de pressostato diferencial, ou programação por tempo, com a definição do intervalo entre limpezas.
Quando se desencadeia o processo de limpeza, todos os filtros da estação realizam os procedimentos de limpeza de forma sequencial.
Possibilidade de selecção do mecanismo de activação do processo de limpeza:

- Por diferencial de pressão;
- Por intervalos de tempo;
- Conjugado o controlo por diferencial de pressão com a programação por tempo.

Possibilidade de activação manual da sequência de limpeza de cada filtro de forma independente (Botoneira impulsional para cada um dos filtros da estação).
O autómato programável é fornecido com a programação das temporizações de actuação dos diferentes componentes necessários para o processo de limpeza, contudo tal programação pode ser alterada de acordo com a necessidade do utilizador.
A programação do intervalo entre limpezas em temporizador – com escala em horas ou minutos.
O quadro possui contador do n.º de limpezas com possibilidade de "reset"
Sinalização de deficiências no funcionamento da estação:

- Alarme luminoso quando se realizarem um n.º pré estabelecido de lavagens consecutivas por manutenção do sinal do pressostato diferencial;
- Desligar o processo de limpeza automática quando se realizarem mais de dez ciclos de limpeza consecutivos por persistência do sinal do pressostato diferencial;
- Alimentação 380 V – trifásica a 50 HZ;
- Tensão de controle da válvula de lavagem – 24 V AC – 50 HZ.

HUBEL Indústria da Água

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Filtro de limpeza automática
Amiad SAF

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Modelo do Filtro	SAF 1500	SAF 3000	SAF 4500	SAF 6000	Observações
Caudal máximo (m^3/h) *	80	150	250	400	
Pressão serviço mínima (bar)	1.5	1.5	1.5	2	Mais baixa se for fornecida pressão suplementar para a lavagem
Pressão serviço máxima (bar)	10	10	10	10	16 bar sob consulta
Área de filtração (cm^2)	1500	3000	4500	6000	
Diâmetro entrada/saída (mm)	50, 80, 100 2", 3", 4"	80, 100, 150 3", 4", 6"	100, 150, 200 4", 6", 8"	150, 200, 250 6", 8", 10"	Standard das Flanges sob consulta
Diâmetro corpo (mm)	250	250	250	350	
Temp. máxima de serviço (ºC)	50	50	60	60	90ºC sob consulta
Peso (kg)	86	110	160	250	
Volume (l)	35	57	80	130	

* Caudal máximo para o corpo do filtro sem malha de filtração, i.e. sem considerar a perda de carga induzida pela malha de filtração – variável conforme o grau de filtração e a qualidade da água.

CARACTERÍSTICAS LIMPEZA

Válvula de descarga (mm)	50 (2")	50 (2")	50 (2")	50 (2")	
Tempo do ciclo de limpeza (s)	15	20	20	40	
Dispêndio de água por ciclo de limpeza (l)	25	64	83	280	À pressão de 2 bar
Caudal mínimo limpeza (m^3/h)	6	11	15	25	À pressão de 2 bar

Sistema controle limpeza dos filtros: Diferencial de pressão conjugado por intervalo de tempo, gerido por autómato.

CONTROLO ELÉCTRICO

Motor eléctrico (HP)	1/4	1/4	1/4	1/3	
Voltagem (V)	24 AC				12V ou 24VDC sob consulta
Voltagem de serviço	Trifásica, 220 / 380 / 440 V 50/60 Hz				12V ou 24V sob consulta
Consumo de corrente (Amp.)	0.6	0.6	0.6	0.8	Para trifásico 380/440 V

MATERIAIS CONSTITUINTES

- Corpo do filtro – Aço carbono c/ revestimento em poliester epoxy;
- Elemento filtrante – 4 camadas de Aço Inoxidável 316 L;
- Mecanismo de limpeza – Aço inoxidável 316 L, Acetal;
- Válvula de descarga águas limpeza – Ferro fundido revestido a epoxi, borracha natural;
- Vedantes – NBR e borracha sintética, Teflon.

GRAUS DE FILTRAÇÃO

- 10, 25, 50, 80, 100, 130, 200, 300, 500 e 800 microns.

E.T. Amiad SAF
2016-04-26

4

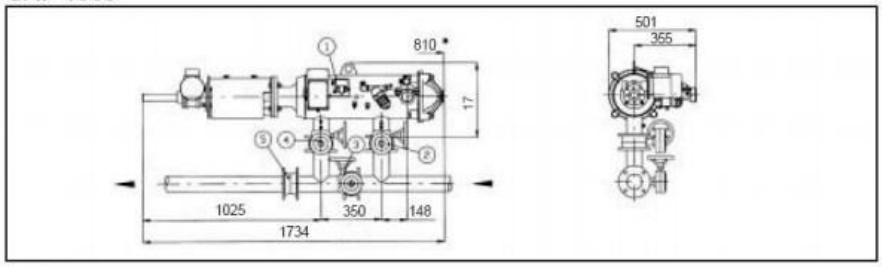
HUBEL Indústria da Água

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

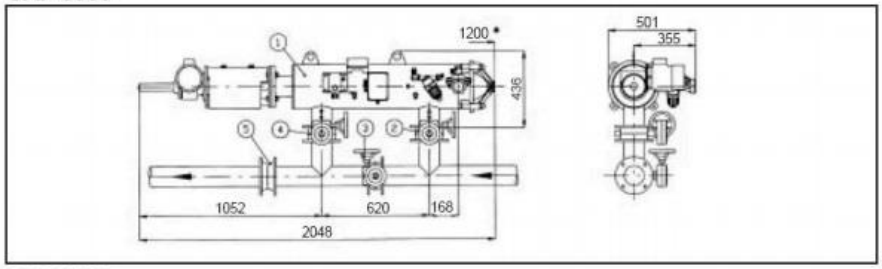
Filtro de limpeza automática
Amiad SAF

INSTALAÇÃO PROPOSTA

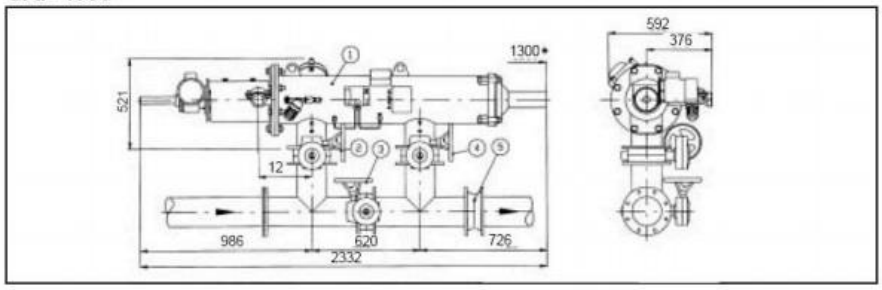
SAF-1500



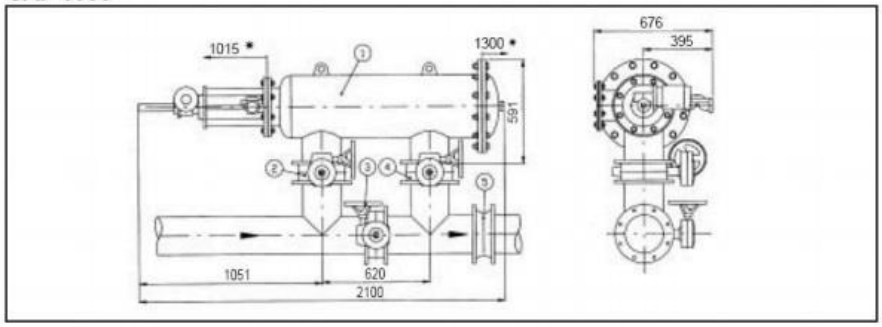
SAF-3000



SAF-4500



SAF-6000



E.T. Amiad SAF
2016-04-26

5

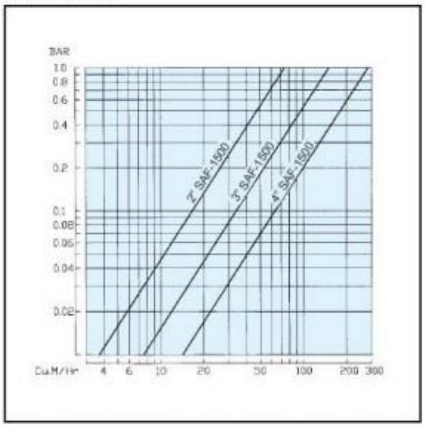
HUBEL Indústria da Água

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

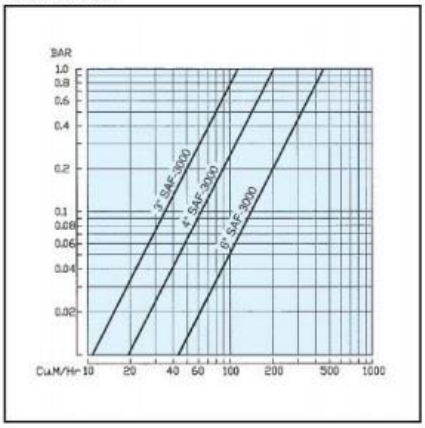
Filtro de limpeza automática
Amiad SAF

GRÁFICOS DE PERDA DE CARGA

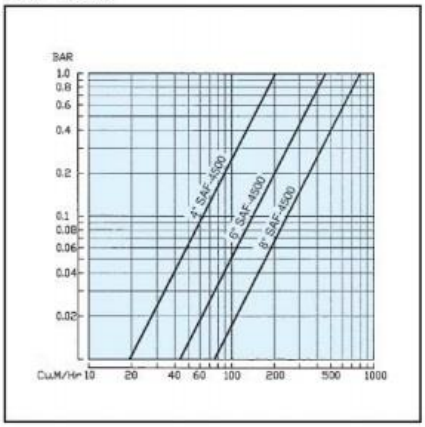
SAF-1500



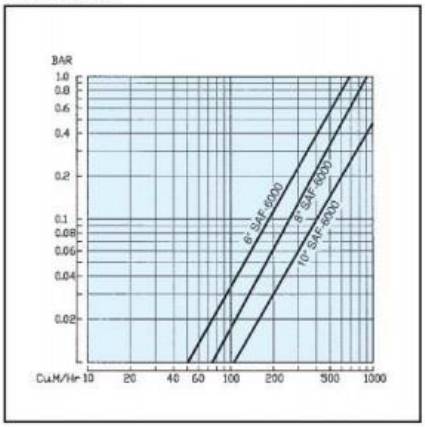
SAF-3000



SAF-4500



SAF-6000



*Medições realizadas para uma malha de 130 microns.

E.T. Amiad SAF
2016-04-26

6

Anexo 6 Ficha técnica filtro TAF

amiad® WATER SYSTEMS | AMIAD

TAF Series

Innovative self-cleaning high quality plastic filter for a wide variety of applications

flowrates	filtration degrees	water for cleaning	minimum operating pressure
up to 50 m³/h (220 gpm)	500-10 micron	less than 1% of the total flow	1.5 bar (22 psi)

features:

- Unique electric drive mechanisms
- Automatic flushing according to differential pressure and/or time
- Option for continuous flushing
- Low power consumption
- No interruption of downstream flow during flushing
- Electronically monitored cleaning with flexible control options
- Applications: Water supply systems, cooling water, wastewater treatment

How the TAF Filters Work

General

Amiad's TAF Series consists of easy-to-operate 2" and 3" automatic filters constructed of high quality plastic and driven by either an electrical or electronic self-cleaning mechanism. The various types of TAF screens are designed to cover a filtration degree range of 500-10 micron and flowrates up to 50 m³/h (220 gpm).

The Filtering Process

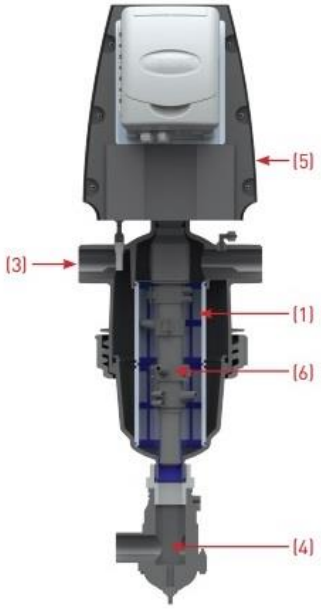
Water enters the inner area of the screen cylinder (1) through the filter inlet (2) and flows through the screen to the filter outlet (3). The dirt particles are trapped on the inner screen surface and form a "filtration cake" that causes a differential pressure across the screen.

The Self-Cleaning Process

During the self-cleaning process, while filtered water continues to flow, the filter's Exhaust Valve (4) is opened and the Drive Unit (5) spirals the Suction Scanner (6) back and forth. The spiral rotation of the suction scanner nozzles across the inner surface of the screen vacuums the filtration cake out the exhaust valve.

The Control System

The control system consists of an Amiad Electronic Flushing Controller (7), a 3-way Solenoid Valve (8) that controls the filter's exhaust valve and a Pressure Differential Switch (9) that senses the pressure differential across the screen and sends a signal to the controller when it reaches a pre-set value (usually 0.5 bar/7 psi).



The controller begins a self-cleaning cycle under any of the following conditions:

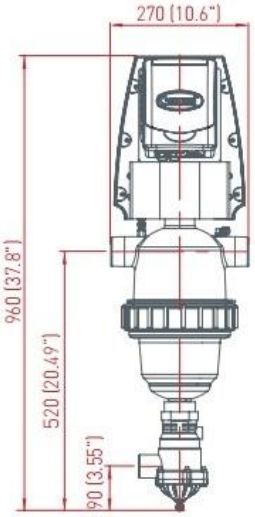
1. On receiving a signal from the Pressure Differential Switch
2. On reaching a time interval parameter set by the user
3. Manual Start function at the controller keyboard

Models

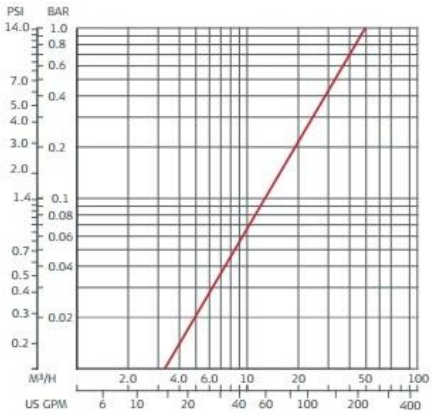
Amiad's TAF product-line consists of electric filters with 220/110 VAC drive unit:

- 2" TAF 500 for flowrates of up to 25 m³/h (110 gpm)
- 2" TAF 750 for flowrates of up to 25 m³/h (110 gpm) and higher dirt loads
- 3" TAF 750 for flowrates of up to 50 m³/h (220 gpm)

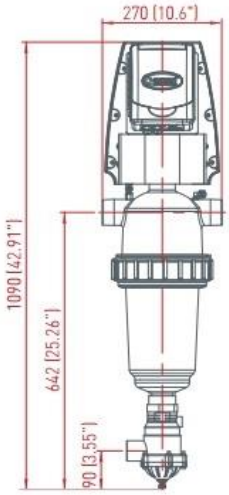
2" TAF-500

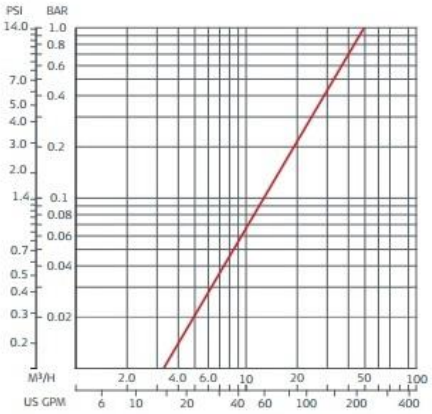


Pressure Loss Graph
in clean water



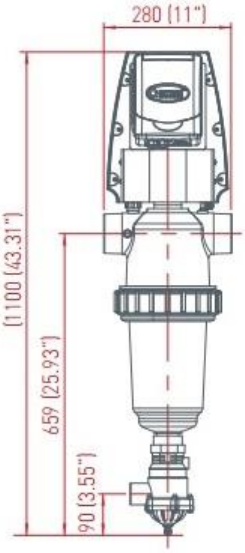
2" TAF-750



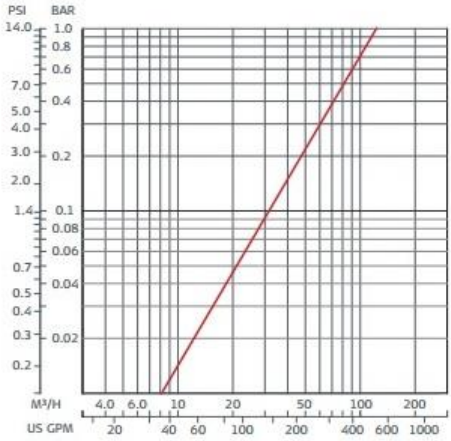


Dim: mm (inch)
*Approx. length required for maintenance

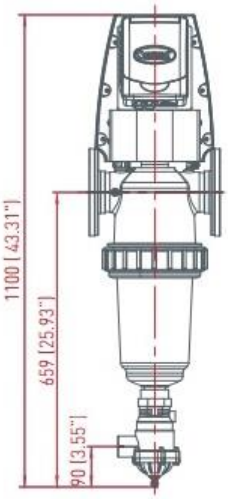
3" TAF-750

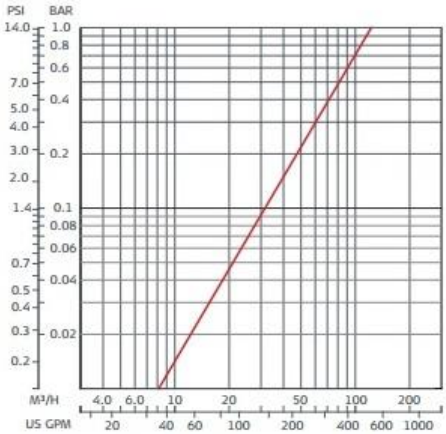


Pressure Loss Graph
in clean water



3" TAF-750, Flanges





Dim: mm (inch)
*Approx. length required for maintenance

Technical Specifications

Filter Type	2" TAF 500	2" TAF 750	3" TAF 750
General Data			
Maximum flowrate*	25 m³/h (110 gpm)	25 m³/h (110 gpm)	45 m³/h (198 gpm)
Inlet/Outlet diameter	2"/50 mm	2"/50 mm	3"/80 mm or 3" Flanged
Standard filtration degrees	500, 300, 200, 130, 100, 80, 50, 25, 10 micron		
Min. working pressure	1.5 bar (22 psi) Can be lower if pressure is increased for flushing		
Max. working pressure	8 bar (116 psi)		
Max. working temperature	60°C (140 °F)		
Electrical Supply	110/220 VAC		
Weight (empty)	11.6 kg (25.6 lb)	12.4 kg (27.3 lb)	13.0 kg (28.7 lb)

* Consult Amiad for optimum flow depending on filtration degree & water quality.

Flushing Data			
Minimum flow for flushing (at 1.5 bar - 22 psi)	4 m³/h (18 gpm)	5.7 m³/h (25 gpm)	5.7 m³/h (25 gpm)
Reject water volume per flush cycle	18 liters (4.7 gallons)	25 liters (6.6 gallons)	25 liters (6.6 gallons)
Flushing cycle time	16 seconds		
Exhaust valve	40 mm (1½")		
Flushing criteria	Differential pressure of 0.5 bar (7psi), time intervals or manual operation		

Screen Data			
Filter area	500 cm² (77.5 in²)	750 cm² (116 in²)	750 cm² (116 in²)
Screen types	St. St. 316 weave wire screen with Polycarbonate construction, SMO-254		

Control and Electricity	
Rated operation voltage	220 V, 110 V upon request
Electric motor	15 Watt 50/60 Hz, Gear output 48/58 R.P.M.
Current consumption	0.18 A
Control voltage	Electric TAF - 24 VAC

Construction Materials	
Filter housing and lid	PA + GF
Cleaning mechanism	PVC, Delarin
Exhaust valve	Plastic, Natural rubber
Seals	NBR
Control	Brass, Stainless steel, PE, PP

Headquarters

Amiad Water Systems Ltd. D.N. Galil Elyon 1, 1233500, Israel,
Tel: 972 4 690 9500, Fax: 972 4 814 1159,
E-mail: info@amiad.com

The Americas

Amiad USA Inc. Main Office and Manufacturing: 120-J Talbert Road, Mooresville, NC 28117,
Tel: 1 704 662 3133, Fax: 1 704 662 3155, Toll Free: 1 800 24 FILTER,
E-mail: infousa@amiad.com www.amiadusa.com

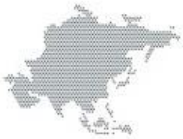
West Coast Sales Office and Warehouse:
1251 Maulhardt Ave, Oxnard, CA 93030
Tel: 805 988 3323, Fax: 805 988 3313, Toll Free: 1 800 969 4055

Brazil
Amiad Sistemas de Água Ltda., Av. Funchal, 411, Conj. 42, Vila Olimpia, São Paulo, CEP 04551-060
Tel: +55 11 31923824, E-mail: infobrasil@amiad.com

Amiad Oil & Gas, E-mail: amisur@adinet.com.uy

Mexico
Amiad Mexico SA DE CV, Vialidad de la Barranca # 6 Piso 4,
Col. Valle de las Palmas 52787. Huixquilucan (Interlomas), Edo de Mexicoo,
Tel/Fax: +52 55 636 28122, E-mail: info@amiadmexico.com

Asia



India
Amiad Filtration India Pvt Limited, 305 Sai Commercial Building,
Govandi St Rd, Govandi Mumbai 400 088,
Tel: 91 22-67997813/14, Fax: 91 22-67997814, Email: info@amiadindia.com

China
Amiad China (Yixing Taixing Environtec Co., Ltd.) 70 Baihe Chang, Xingjie Yixing Jiangsu, 214204,
Tel: 86 510 87134000, Fax: 86 510 87134999, E-mail: marketing@taixing.cc

South-East Asia
Filtration & Control Systems Pte. Ltd., 22 Sin Ming Lane #07-71 Midview City, Singapore 573969,
Tel: 65 6 337 6698, Fax: 65 6 337 8180, E-mail: amiad@amiad.com.sg

Turkey
FTS – Filtration & Treatment Systems, Istanbul yolu 26 Km, Yurt Orta Sanayii, Saray, Ankara,
Tel: 90 312 8155266/7, Fax: 90 312 8155248, E-mail: info@fts-filtration.com

Australia

Amiad Australia Pty Ltd. 138 Northcorp Boulevard, Broadmeadows, Victoria 3047,
Tel: 61 3 93585800, Fax: 61 3 93585888, E-mail: infoau@amiad.com

Europe

Amiad Water Systems Europe SAS, Ilot No4 ZI La Boitardière, 37530 Chargé, France,
Tel: 33 (0) 2 47 23 01 10, Fax: 33 (0) 2 47 23 80 67, E-mail: industry-europe@amiad.com

Amiad Water Systems Europe SAS (Irrigation Division)
100 avenue de l'Anguillon, Z.I. des Iscles, 13160 Chateaurenard,
Tel: +33 (0) 4 32 60 10 01, Fax +33 (0) 4 32 60 60 85

Germany
Amiad Water Systems SAS Europe (German branch office)
Zweigniederlassung Deutschland Prinz-Regent-Str. 68 a 44795 Bochum,
Tel: 49 (0) 234 588082-0, Fax: 49 (0) 234 588082-10, E-mail: info@amiad.de

amiad WATER SYSTEMS ARKAL FILTOMAT AMIAD

www.amiad.com

910101-000196/11.2015

Copyright © 2013 Amiad Water Systems Ltd. All rights reserved. The contents of this catalogue including without limitation all information and materials, images, illustrations, designs, icons, photographs, graphical presentations, designs, literary works, data, drawings, slogans, phrases, names, trademarks, titles and any other such materials that appear in this catalogue (collectively, the "Contents") are the sole and property of Amiad Water Systems Ltd. ("Amiad"). Amiad has sole and exclusive right, title and interest in the Contents, including any intellectual property rights, whether registered or not, and all know-how contained or embodied therein. You may not reproduce, publish, transmit, distribute, display, modify, create derivative works from, sell or participate in any sale of, or exploit in any way, in whole or in part, any of the Contents or the catalogue. Any use of the catalogue or the Contents, other than for personal use, requires the advanced written permission of Amiad.

ozbranding.co.il

Anexo 7 Preço da energia ativa

Tabela 16 - Preço da energia ativa (valores referentes ao ano de 2017 - Fonte EDP)

Preço da energia ativa	Período Trimestral	Período Horário	€/kWh
Tarifa de longas utilizações (MT)	I e IV	Horas de Ponta	0,1384
		Horas de Cheia	0,1087
		Horas de vazio normal	0,0767
		horas de super vazio	0,0654
	II e III	Horas de Ponta	0,1414
		Horas de Cheia	0,1109
		Horas de vazio normal	0,0793
		horas de super vazio	0,0729

Assumindo uma utilização temporária semelhante para todos os períodos horários, em todos os períodos trimestrais, é possível concluir que o valor médio do preço da energia ativa é de 0.10€/kWh.