



182 - PRODUTOS, MATERIAIS E SERVIÇOS - ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE DESÁGUE: ABORDAGEM BIBLIOGRÁFICA, ECONÔMICA E ESTATÍSTICA

Matheus Müller ¹, Thiago Albuquerque ², Beatriz B. Allariz ³, Edwin Fernando Ruiz ⁴, Daniel C. Vieira ⁵

¹ Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, mrlmuller@gmail.com;

² Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, thiago9106@gmail.com;

³ Universidade de Caen na Normandia – UNICAEN, bea.boullousa.allariz@gmail.com;

⁴ HUESKER Ltda, fernando@huesker.com.br;

⁵ Instituto de Estudos do Xingu – UNIFESSPA, daniel_cruzeiro@yahoo.com.br.

RESUMO

Estações de tratamento e serviços de dragagem geram como resíduos finais quantidades de material úmido, este material possuindo difícil maneabilidade, com destinação final incerta e possuindo altos custos de transporte e disposição. Assim, soluções de deságue, que contribuam com a redução do volume, umidade e facilidade no manuseio do material, são interessantes. O trabalho apresentado neste documento contempla breve estudo bibliográfico referente às soluções de deságue comumente utilizadas no contexto brasileiro, abrangendo leito de secagem, filtro prensa, filtro de bandas, centrífuga, sistema de confinamento de resíduos (SCR) e deságue em caçamba. Para estes sistemas, estudo sobre o tipo de desaguamento e estudo econômico foram realizados, através do contato e visita a algumas empresas de referência na área. Com os dados obtidos através destes estudos, análise comparativa crítica foi realizada, abordando fatores como o teor de sólidos por peso final, custo de manutenção, custo de transporte, custo de disposição, entre outros. Através destes foram realizados análise estatística dos componentes principais e agrupamento hierárquico. Como conclusão dos estudos, para o cenário avaliado, pode se inferir que o uso de soluções mecânicas de deságue é mais indicado para situações pontuais, enquanto soluções de deságue natural e descanso são mais indicadas para situações contínuas.

PALAVRAS-CHAVE: Deságue, Sistemas de desaguamento, análise econômica.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso importante para a qualidade de vida das pessoas, indispensável a diversas tipologias de uso, dentre essas a dessedentação. Porém, este recurso é finito e disponível em pequenas quantidades na qualidade de água doce, no estado líquido e de superfície. Sendo assim, rios e lagos, provedores dos recursos hídricos superficiais, devem ser tratados e mantidos limpos e protegidos de qualquer poluição.

Mesmo com o conhecimento por parte das pessoas sobre a importância da água, o cenário é justamente o contrário, sendo os recursos hídricos superficiais tratados de maneira não sustentável, recebendo cargas de efluentes, como esgotos domésticos e industriais, sendo degradados constantemente. Em função deste cenário, Ghisi (2006) afirma que vários países, dentre eles o Brasil, sofrerão com problemas e insuficiências na distribuição de água potável à suas populações.

Procurando colaborar com a manutenção dos recursos hídricos, órgãos reguladores, fiscais da qualidade da água e dos efluentes que ela recebe, buscam manter o estado atual ou melhorar a qualidade dos recursos hídricos. No Brasil, o órgão regulador é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o agente fiscalizador, por exemplo no estado de São Paulo, é a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Mas, apesar da existência de uma resolução e de fiscalização, ainda ocorre poluição e descuido com os rios e lagos de todo o país.

No Brasil o consumo de água varia de 118,9L/hab*dia na região Nordeste a 187,9L/hab*dia na região Sudeste (SINS, 2014). Desta quantidade, estima-se que apenas 1% seja destinada a usos externos, restando então 99% em usos que variam desde descargas sanitárias até lavagem de roupas (SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2014). Esta quantidade de água, representando quase a totalidade da água consumida por um indivíduo em sua residência, é então tratada como efluente, sendo destinada a estações de tratamento para processamento.



A água disponibilizada como potável para a população é tratada em estações de tratamento de água (ETA) e, depois de ser utilizada, é então encarada como esgoto e novamente tratada, agora em estação de tratamento de esgoto (ETE). Caso a água seja usada para finalidades industriais, etapas de tratamento adicionais podem ser necessárias e, nestes casos, o tratamento da água deve ser realizado em estações de tratamento de efluentes industriais (ETEI) (DI BERNARDO, DANTAS; 2005). As estações de tratamento procuram atender a resolução 430 do CONAMA (2011), para então devolverem o efluente já tratado aos corpos hídricos (MARÇAL, SILVA; 2017).

Contudo, nos processos de limpeza das estações de tratamento, quantidades significativas de resíduos húmido são gerados, estes com baixos teores de sólidos. Os resíduos gerados precisam, então, de um correto transporte e disposição final, podendo até serem reciclados e reaproveitados (PEREIRA, GARCIA; 2017).

O transporte e a disposição destes resíduos sem tratamento podem ser inviáveis, culminando no transporte de grande volume húmido, recebendo tarifação (custo de disposição) referente a este volume e ainda possibilitando a formação de maiores quantidades de chorume no aterro sanitário, o que representa risco ao meio ambiente em caso de vazamento. Por isso, técnicas e processos que colaborem com o desaguamento destes resíduos são fundamentais, possibilitando o transporte de um menor volume, com menor tarifação e implicando em mais segurança para a disposição em aterros sanitários.

Uma grande variedade de soluções para o desaguamento de resíduos pode ser encontrada, divididas em soluções de deságue natural, mecânico, e misto e, ainda, divididas em processos de desaguamento contínuo ou descontínuo (BOULLOSA ALLARIZ, LEVACHER; 2016). Os sistemas de desaguamento comumente utilizados no Brasil são: Leito de secagem; Filtro prensa; Centrífuga; Sistema de confinamento de resíduo (SCR); e, mais recente, deságue em caçamba (DI BERNARDO, DANTAS; 2005).

Porém, cada solução de deságue é singular, culminando em diferentes tempos de desaguamento, formas de deságue, teor de sólidos por peso final, consumo de energia elétrica, custo de manutenção, custo operacional mensal, consumo de polímero, transporte, disposição final, custo de compra dos sistemas e especificações das soluções. Neste sentido, análise comparativa entre as soluções de deságue é interessante, auxiliando em sua escolha e elucidando suas diferenças. Este artigo apresenta, então, de forma inédita este comparativo, apresentando os principais sistemas de deságue utilizados no Brasil, apontando suas singularidades, funcionamentos e custos atrelados mediante a um cenário de aplicação definido.

OBJETIVOS

- **Objetivo geral**

Apresentar comparativo qualitativo e econômico entre os sistemas de deságue comumente utilizados no Brasil.

- **Objetivos específicos**

- Definir cenário de aplicação para os sistemas de deságue em questão, propondo ETA fictícia
- Realizar levantamento de dados da literatura e de empresas referência no setor de desaguamento;
- Realizar análise estatística dos dados obtidos, apontando padrões e melhores usos para cada sistema de deságue.

METODOLOGIA UTILIZADA

- **Abordagem comparativa**

Visando a análise comparativa entre as soluções de deságue, fatores chave foram selecionados. Estes fatores abrangem as singularidades de cada solução envolvendo parâmetros pertinentes a especulações qualitativas, econômicas e estatísticas.

Os fatores selecionados, que foram abordados com maior grau de profundidade, correspondem ao custo inicial de aquisição da solução, o consumo elétrico mensal, o custo de manutenção mensal, o custo de polimerização mensal, o custo de carregamento do material desaguado, o custo de transporte do material desaguado, o custo de disposição final do material desaguado (aterro sanitário), o custo operacional mensal, o teor de sólidos final por peso, a redução volumétrica no material desaguado, a área necessária para a implementação de cada solução e a capacidade de armazenamento permanente do material desaguado.



- **Cenário de estudo**

Para avaliar as soluções de deságue perante a uma mesma situação, visando evidenciar suas singularidades, um cenário padrão foi estabelecido. Este cenário foi caracterizado por uma ETA com produção de 80m³ de lodo com 3% de teor de sólidos por peso, por semana, sendo predominantemente mineral, com densidade relativa dos sólidos de 2,58g/cm³, bem graduados.

Como para o funcionamento de quase todas as soluções um processo de polimerização é necessário para seu melhor funcionamento, com exceção do Leito de secagem, foi adotado um custo de polímero de R\$ 15,00/Kg.

- **Levantamento de dados e valores dos sistemas**

Com foco nas soluções de deságue usualmente empregadas em estações de tratamento brasileiras, estas sendo Leito de secagem, Filtro prensa, Filtro de bandas, Centrífuga, Sistema de confinamento de resíduos (SCR) e Deságue em caçamba, foi realizada pesquisa de mercado com levantamento de dados econômicos e qualitativos referentes às soluções, procurando avaliar o desempenho de cada uma perante ao mesmo cenário de funcionamento.

Para o levantamento dos dados em questão, abrangendo os fatores descritos anteriormente, empresas referência no mercado brasileiro foram consultadas, estas empresas fornecendo dados referentes aos sistemas. Os dados abordados foram teor de sólidos final por peso, área necessária à aplicação do sistema, capacidade de armazenamento do sistema, necessidade de adequação significativa da ETA para a utilização do sistema, necessidade de remanejamento interno do material desaguado gerado, tipo de desaguamento do sistema, custo de compra do sistema (investimento inicial), consumo de energia elétrica, consumo de polímero e custo de manutenção.

- **Análise qualitativa**

Cada sistema de deságue foi abordada quanto ao seu processo de funcionamento, sendo separadas em dois grupos, um grupo correspondendo às soluções de deságue mecânico, onde toda a operação é realizada através de um processo inteiramente induzido e, um grupo correspondendo às soluções de deságue natural, onde a operação é mista (inicialmente mecânica e depois natural) ou somente natural, ocorrendo em grande parte ou inteiramente por drenagem e evaporação.

Cada solução foi também avaliada quanto ao teor de sólidos final por peso esperado para seu processo de deságue, levando-se em conta o volume final gerado e o tempo de espera necessário para o fim de seu processo.

As soluções foram também abordadas quanto a área necessária para sua aplicação, quanto a capacidade de armazenar o material desaguado e quanto a necessidade de remanejamento do material.

- **Análise econômica**

Perante aos dados levantados, referentes aos fatores descritos anteriormente, foi realizada uma análise econômica objetivando estimar os valores mensais de utilização para finalmente ser possível avaliar os valores totais de operação aproximados para cada um dos sistemas em estudo.

Os valores mensais de utilização contemplaram os custos mensais com eletricidade, manutenção, carregamento, transporte, polimerização e disposição final, caracterizando em sua soma o custo de operação mensal estimado. Foi abordada também a amortização do custo inicial de aquisição da solução, ou de intervenções necessárias a localidade para utilização da solução, no primeiro ano, fracionando este valor nos 12 meses subsequentes.

- **Análise estatística**

O programa R foi utilizado para a análise dos componentes principais e para o agrupamento hierárquico quanto aos dados levantados. Estas abordagens estatísticas permitem avaliar as soluções quanto a relevância e correlação entre os dados, apontando quais são os possíveis dados mais importantes, possibilitando uma escolha de sistema de deságue e, também, agrupando os sistemas quanto as suas semelhanças, mediante a definição de *Clusters*.

A análise de componentes principais (ACP) foi calculada através do pacote FactoMineR, consistindo num método de análise de dados multivariados, permitindo a correlação de diversos dados, variáveis quantitativas, dispondo-as de forma resumida e visual. A plotagem final desta análise é apresentada como vetores em uma esfera, onde o usuário pode escolher dimensões de visão para a projeção dos vetores no plano em questão (escolha dos eixos de visão). Desta forma, a análise das projeções é conduzida com a avaliação do valor R e, conseqüentemente com o coeficiente de determinação (R²), validando a confiança da variável analisada.



Num determinado plano escolhido, as projeções mais próximas da borda da esfera (círculo no plano) são as mais confiáveis, seguindo as relações de que vetores num mesmo sentido são diretamente proporcionais, vetores perpendiculares entre si são independentes e vetores contrários entre si são inversamente proporcionais.

A análise por agrupamento hierárquico, *Clustering*, é realizada analisando os parâmetros (sistemas de deságue) e agrupando-os progressivamente segundo suas variáveis. Inicialmente, cada parâmetro é atribuído ao seu próprio cluster e, em seguida, o algoritmo procede iterativamente, em cada estágio unindo os dois clusters mais semelhantes, continuando até que haja apenas um único cluster. Em cada estágio, as distâncias entre os clusters são recalculadas pela fórmula de atualização de dissimilaridade de Lance-Williams, de acordo com o método específico de *Clustering* utilizado.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- **Origem do lodo**

O tratamento da água e o tratamento de efluentes são feitos através de estações de tratamento, estas dispostas como estações de tratamento de água (ETA), estações de tratamento de esgoto (ETE) e estações de tratamento de efluentes industriais (ETEI). As ETA são responsáveis pelo fornecimento de água potável a população e, as ETE e ETEI são responsáveis pelo tratamento do efluente gerado pela utilização da água, procurando garantir sua qualidade antes de sua condução a corpos hídricos (DI BERNARDO, DANTAS; 2005).

Para atenderem os padrões de qualidade estipulados, limpeza é realizada e, com isso, resíduos são acumulados em suas etapas. Estas etapas devem ser limpas em intervalos frequentes de tempo, garantindo o correto funcionamento do processo. Estas limpezas, geralmente realizadas nos filtros e decantadores no caso de uma ETA, geram quantidades consideráveis de resíduos húmidos, que devem ser corretamente dispostos.

A limpeza dos filtros gera geralmente efluente com menor teor de sólidos do que o efluente gerado pela limpeza dos decantadores. O teor de sólidos encontrados nestes efluentes varia de 0,25% a 12% (METCALF & EDDY, 1991).

- **O processo de desaguamento**

O deságue é uma técnica de elevação do teor de sólidos de um efluente/resíduo. Desta forma, esta técnica corresponde à operação onde o teor de umidade é reduzido para que o resíduo gerado possa ser manipulado como um semissólido/sólido, assim, proporcionando manuseio muito mais fácil e eficiente do que o que aconteceria com o material no estado anterior (METCALF & EDDY, 1991).

O deságue pode ocorrer de maneira contínua e descontínua, dependendo se a solução empregada é capaz de receber efluente de maneira ininterrupta, fornecendo o deságue do resíduo, ou se é capaz de receber efluente em ciclos, necessitando de tempo para a ocorrência do desaguamento entre estes.

- **Sistemas de deságue comumente utilizados no Brasil**

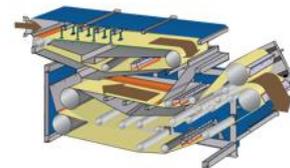
As soluções de deságue comumente utilizadas no Brasil são Leito de secagem (LS), Filtro prensa (FP), Filtro de bandas (FB), Centrífuga (C), Sistema de confinamento de resíduo (SCR) e Deságue em çaçamba (DC). Um ilustrativo geral dos sistemas é apresentado na Figura 1, seguido de uma breve descrição de cada um.



Leito de secagem
(a)



Filtro Prensa
(b)



Filtro de bandas
(c)



Centrífuga
(d)



SCR
(e)



Deságue em caçamba
(f)

Figura 1: Sistemas de desaguamento comumente utilizados no Brasil.

- Leito de secagem (LS): É um sistema de deságue natural, descontínuo, constituído por uma área com fundo drenante (geralmente areia e cascalho) onde o lodo é espalhado e mantido por grande período de tempo, no qual, ocorrem o processo de evaporação e de drenagem e, portanto, o desaguamento (DI BERNARDO, DANTAS; 2005) (TUROVSKIY & MATHAI; 2006). Ilustração do sistema de deságue por leito de secagem pode ser encontrada na Figura 1 a;
- Filtro prensa (FP): É um sistema de deságue mecânico, descontínuo, onde o lodo é inserido em câmaras com paredes filtrantes. Uma vez o preenchimento das câmaras com lodo, pressões diferenciais são aplicadas e se inicia a compressão do material, a água é expelida pelas paredes filtrantes e o particulado sólido é retido, proporcionando o deságue (DI BERNARDO, DANTAS; 2005) (REALLI, 1999) (TUROVSKIY & MATHAI; 2006). Ilustração deste sistema pode ser encontrada na Figura 1 b;
- Filtro de bandas (FB): É um sistema de deságue mecânico, contínuo, constituído por etapa de drenagem e etapa de esmagamento mecânico (REALLI, 1999) (TUROVSKIY & MATHAI; 2006). É composta por uma esteira filtrante movida por rolos tratores, onde, numa primeira etapa o lodo fica sujeito a ação da gravidade e, após está, é comprimido entre duas esteiras filtrantes e, estas, comprimidas pelos rolos, caracterizando o desaguamento. Ilustração deste sistema pode ser encontrado na Figura 1 c;
- Centrífuga (C): É um sistema de deságue mecânico, contínuo, constituído por uma centrífuga que recebe o lodo, submetendo-o a rotações e, com isso, aumentando em várias vezes a pressão interna pela força centrífuga. Este processo causa o desaguamento do lodo por separação de fases, de tal modo que a água é conduzida a uma saída enquanto o particulado sólido desaguado é conduzido a outra (REALLI, 1999). Ilustração deste sistema pode ser encontrado na Figura 1 d;
- SCR (SCR): É um sistema de deságue misto, descontínuo, constituído por tubo confeccionado com geossintético e hidraulicamente preenchido com lodo ou similar (CASTRO, 2005) (KOERNER, 2005) (PILARCZYK, 2000) (TOMINAGA, 2010) (VERTEMATTI, 2015). Na etapa de preenchimento, correspondente ao deságue mecânico por filtração forçada, a pressão hidráulica faz com que a parte líquida seja expulsa através do geossintético, enquanto a parte sólida é retida por este. Após o preenchimento o lodo sofre desaguamento natural, evaporação e drenagem. Ilustração deste sistema pode ser encontrado na Figura 1 e; e
- Deságue em caçamba (DC): É um sistema de deságue misto, descontínuo, funcionando com os mesmos princípios de deságue mecânico por pressão de bombeamento e deságue natural por drenagem e evaporação, como o deságue em SCR. A diferença se dá que no deságue em SCR é necessário a preparação de um berço drenante, enquanto que no deságue em caçamba, a caçamba drenante faz a vez de berço. O deságue em caçamba é então o uso de uma SCR dentro de uma caçamba especial, modificada para a drenagem. Ilustração deste sistema pode ser encontrado na Figura 1 f.



RESULTADOS OBTIDOS

- Análise qualitativa**

Informações qualitativas sobre as soluções de deságue abordadas são apresentadas na Tabela 1. Estas informações abrangem o teor de sólidos final por peso estimado (TSP), a área necessária a utilização do sistema (A), a capacidade de armazenamento permanente de cada sistema em volume, a necessidade de adequação significativa do local (como a construção de um leito), a necessidade de remanejamento do material desaguado gerado (seja para preenchimento de caminhões ou remanejamento na área da ETA) e qual o tipo de deságue é utilizado por cada sistema.

Tabela 1: Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas.

SISTEMA	TSP (%)	ÁREA (m ²)	ARMAZENAGEM (m ³)	ADEQUAÇÃO LOCAL	MOVIMENTAÇÃO	DESÁGUE
LS	27	150	150	Sim	Sim	Natural
FP	22	4	0	Não	Sim	Mecânico
FB	23	4	0	Não	Sim	Mecânico
C	18	3	0	Não	Sim	Mecânico
SCR	30	64	60	Sim	Sim	Misto
DC	30	45	45	Não	Não	Misto

Ressalta-se que perante o ciclo de deságue de cada solução, uma redução volumétrica do resíduo final gerado é alcançada. Esta redução é descrita a seguir para cada uma das soluções analisada seguindo a metodologia proposta em Müller, Vidal e Guanaes (2018):

- Leito de secagem: De 360 m³ iniciais para 34 m³;
- Filtro prensa: De 360 m³ iniciais para 43 m³;
- Filtro de bandas: De 360 m³ iniciais para 41 m³;
- Centrífuga: De 360 m³ iniciais para 54 m³;
- SCR: De 360 m³ iniciais para 30 m³; e
- Deságue em caçamba: De 360 m³ iniciais para 30 m³.

- Análise econômica**

Algumas informações econômicas relevantes sobre os sistemas de deságue abordados são apresentadas na Tabela 2. Estas informações abrangem parâmetros geradores de custos para cada solução, estes sendo o investimento inicial necessário ao uso do sistema (INV), consumo elétrico mensal (E) (ELETROPAULO, 2017), quantidade de polímero estimada ao processo de deságue (P), custo de transporte para o volume final gerado (T) (transito de caminhões) (SOBRATEMA, 2017), custo de carregamento para o volume final gerado (C) (carregamento de caminhões) (SOBRATEMA, 2017), custo de disposição final do volume gerado em aterro sanitário (D) (OLIVEIRA NETO, PETTER, 2008), custo de manutenção estimado (M), demais custos necessários (D) (como compra de refis e aluguel) e, por fim, custo de operação mensal estimado (OP).

Tabela 2: Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas.

FATOR	LS	FP	FB	C	SCR	DC
Investimento	25.000,00	75.000,00	115.000,00	150.000,00	10.000,00	0,00
Eletricidade	0,00	378,00	378,00	1.890,00	0,00	0,00
Polímero	0,00	825,00	825,00	1.320,00	495,00	495,00
Transporte	3.810,00	5.080,00	5.080,00	6.350,00	3.810,00	2.400,00
Carregamento	1.383,72	1.844,96	1.844,96	2.306,20	1.383,72	0,00
Disposição final (Aterro)	816,00	997,60	955,30	1.215,00	732,00	732,00
Manutenção	0,00	2.513,44	3.351,26	3.850,00	0,00	0,00
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	5.000,00	7.700,00
Custo operacional	6.009,72	11.639,00	12.434,52	16.931,20	11.420,72	11.327,00

Devido à necessidade de amortização do valor de investimento inicial por parte da maioria das soluções, para o período de um ano, tem-se o seguinte:

- Leito de secagem (LS): O valor operacional mensal para este sistema fica próximo de R\$ 6.009,72/mês mais o investimento inicial de R\$ 25.000,00, totalizando R\$ 97.116,64 no primeiro ano e R\$ 72.116,64 nos anos subsequentes;
- Filtro prensa (FP): O custo de operação é próximo de R\$ 11.639,00 mensais, mais o investimento inicial de R\$ 75.000,00, totalizando R\$ 214.668,00 no primeiro ano e R\$ 139.668,00 nos anos subsequentes;
- Filtro de bandas (FB): O custo de operação é próximo de R\$ 12.434,52 mensais, mais o investimento inicial de R\$ 115.000,00, totalizando R\$ 264.214,24 no primeiro ano e R\$ 149.214,24 nos anos subsequentes;
- Centrífuga (C): O custo de operação é próximo de R\$ 16.931,20 mensais, mais o investimento inicial de R\$ 150.000,00, totalizando R\$ 353.174,40 no primeiro ano e R\$ 203.174,40 nos anos subsequentes;
- Sistema de confinamento de resíduo (SCR): O custo de operação é próximo de R\$ 11.420,72 mensais, mais o investimento inicial de R\$ 10.000,00, totalizando R\$ 147.048,64 no primeiro ano e R\$ 137.048,64 nos anos subsequentes; e
- Deságue em caçamba (DC): O custo de operação é próximo de R\$ 11.327,00 mensais, totalizando R\$ 135.924,40 no primeiro ano e nos subsequentes.

Também, através de análise dos resultados encontrados, pode-se estimar o custo por tonelada de matéria seca. Estes resultados dispostos no gráfico a seguir, apresentado como Figura 2, onde: Leito de secagem (LS); Filtro prensa (FP); Filtro de bandas (FB); Centrífuga (C); Sistema de confinamento de resíduos (SCR) e; deságue em caçamba (DC).

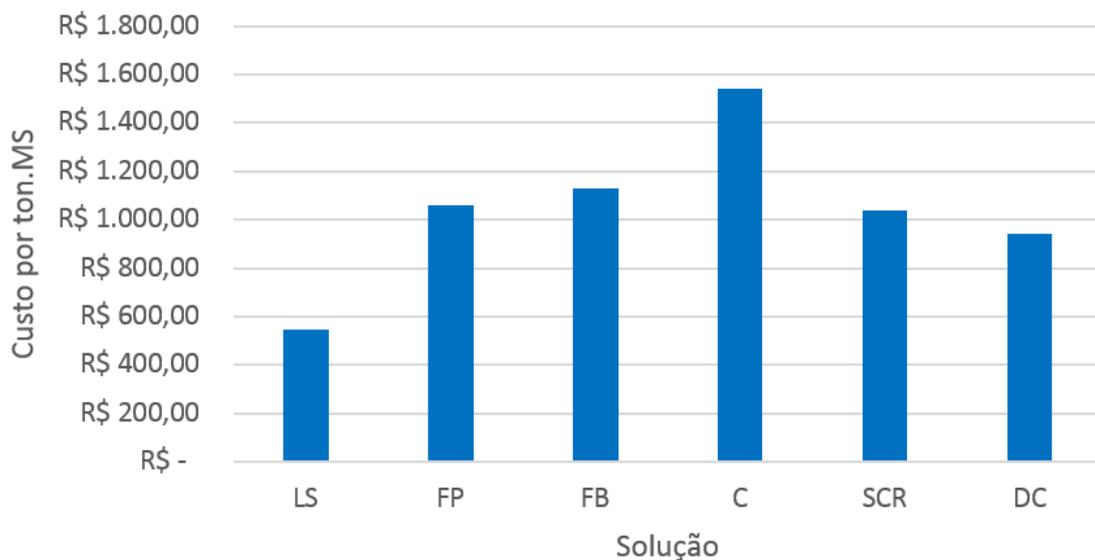


Figura 2: Comparativo de custos operacionais entre sistemas de desaguamento comumente utilizados no Brasil.

• **Análise estatística**

Através dos dados obtidos, apresentados nas Tabelas 1 e 2, estudo estatístico foi realizado, utilizando-se do software R, encontrando correlação entre as soluções e seus parâmetros.

Na Figura 3 é possível observar a relação entre cada parâmetro analisado perante a dimensão 1 – 2 da ACP efetuada. Onde os vetores referem-se a teor de sólidos final por peso estimado (TSP), a área necessária a utilização do sistema (A), investimento inicial necessário ao uso do sistema (INV), consumo elétrico mensal (E) (ELETROPAULO, 2017), quantidade de polímero estimada ao processo de deságue (P), custo de transporte para o volume final gerado (T) (transito de caminhões) (SOBRATEMA, 2017), custo de carregamento para o volume final gerado (C) (carregamento de caminhões) (SOBRATEMA, 2017), custo de disposição final do volume gerado em aterro sanitário (D)

(OLIVEIRA NETO, PETTER, 2008), custo de manutenção estimado (M), demais custos necessários (D) (como compra de refs e aluguel) e custo de operação mensal estimado (OP).

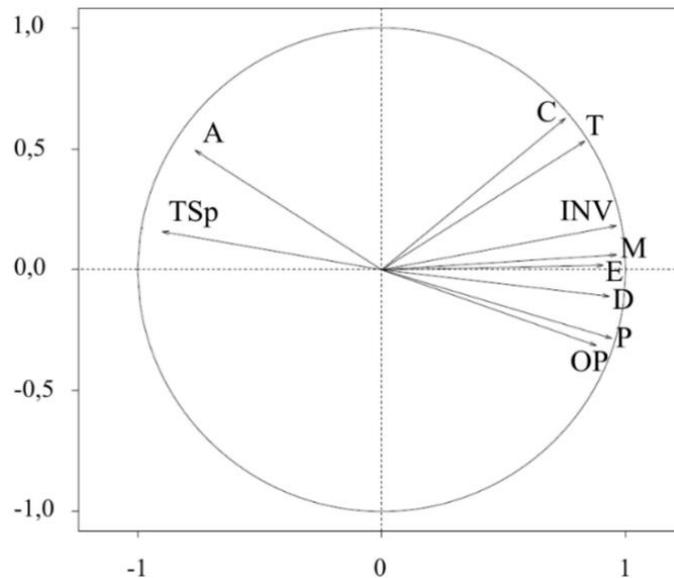


Figura 3: ACP, Dimensão 1-2 (78,43%) (Autores).

Na Figura 4 é possível observar a relação entre os sistemas e suas semelhanças, através de agrupamento hierárquico, evidenciando claro agrupamento de sistemas de deságue misto e natural e de sistemas de deságue mecânico.

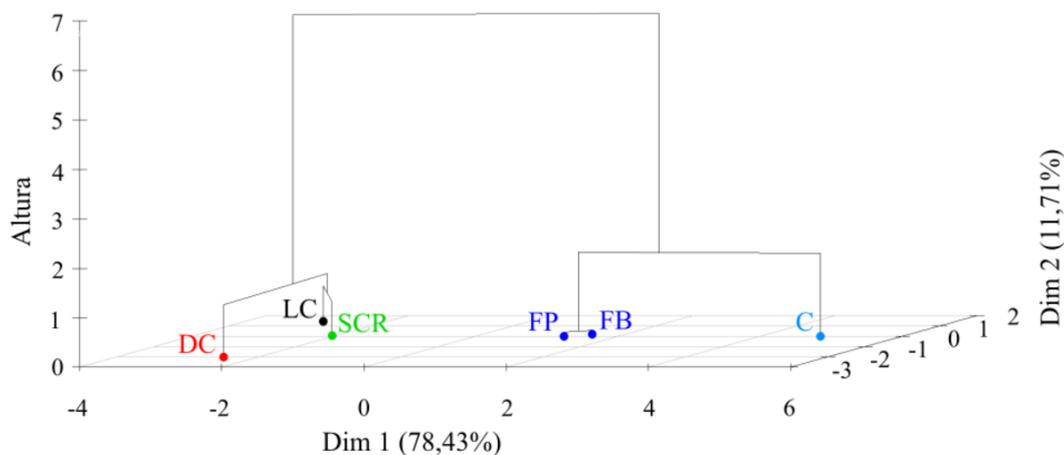


Figura 4: Agrupamento hierárquico, Clustering (Autores).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foi verificado que para o caso de estudo abordado, os sistemas que abrangem o deságue natural, composto por drenagem e evaporação, apresentam custos operacionais mensais menores, não necessitando de energia elétrica, manutenção constante, grandes quantidades de polímero, entre outros, tornando o processo de deságue menos custoso, mas, necessitando de mais tempo para atingirem os teores de sólidos finais do que os sistemas de desaguamento mecânicos, que os atingem quase que imediatamente após o recebimento e deságue do lodo.

Apesar da rapidez dos equipamentos mecânicos no deságue, perante a um cenário de tratamento de lodo constante, percebe-se que este não é um parâmetro governante, onde em ciclos mensais de deságue os sistemas que abrangem o deságue natural e descanso tem potencial de atingirem maiores teores de sólidos. Porém, perante ao volume mensal que deverá ser tratado, área proporcional deverá ser disposta as soluções de deságue natural e descanso, o que não ocorre com as soluções mecânicas de deságue. Ainda, o clima é um fator importante nas soluções de deságue natural



e descanso, a incidência de sol influenciando todas estas soluções positivamente e a incidência de chuva prejudicando a solução de deságue em leito de secagem.

Pela ACP foi possível conferir que o teor de sólidos por peso final é geralmente maior para maiores áreas de disposição do lodo e, ainda, que o custo operacional mensal é inversamente proporcional a este, indicando que as soluções mais caras não são as melhores para um cenário de tratamento contínuo. Também foi possível observar que as despesas mensais de carregamento e transporte pouco tem relação com a área necessária para cada uma das soluções. Portanto, para o cenário em questão, soluções de deságue natural e descanso resultaram ser mais competitivas.

Observa-se que o sistema de Leito de secagem (LS) foi o que obteve menores custos operacionais, porém, ressalta-se que este sistema acaba sendo atrelado a esforços de trabalho elevados, vide retirada do material dos leitos, limpeza, readequação a novo ciclo de deságue, manejo do material gerado internamente na estação de tratamento e carregamento de caminhões para o transporte para a destinação final. Além, os demais sistemas como Sistema de confinamento de resíduos (SCR), Filtro prensa (FP), Filtro de bandas (FB) e Centrifuga (C) também compartilham de algumas destas dificuldades.

Perante a estas dificuldades, verifica-se que o sistema de Deságue em caçamba (DC) se mostra facilitado, onde com a finalização de um ciclo de desaguamento, caminhão simplesmente retira a caçamba *roll on rll off* e a descarrega na destinação final, disponibilizando novo sistema com refil SCR para novo ciclo. Proporcionando agilidade e funcionalidade ímpares a estação de tratamento.

É interessante observar no agrupamento hierárquico que as soluções mecânicas de deságue e as soluções de deságue natural e descanso ficaram nitidamente separadas, divididas em dois grupos de afinidade.

Finalmente, observa-se que as soluções mecânicas de deságue apresentaram maior potencial de uso em cenários pontuais, onde o volume de material úmido deve ser tratado em uma quantidade pequena de tempo ou, no caso que não seja possível a aplicação de soluções de deságue natural e descanso. Já as soluções de deságue natural e descanso, mostraram-se mais competitivas para cenários contínuos, onde o volume constante é gerado e existe disponibilidade de área e maior tempo ao tratamento.

CONCLUSÕES

Através da pesquisa realizada é possível perceber que existem vários sistemas de deságue disponíveis no mercado, variando de sistemas de deságue natural, mecânico e misto. Foi possível perceber também a importância destes sistemas, que possibilitam uma grande redução do volume final a ser transportado, descartado, entre outros e, ainda, possibilita a reutilização deste resíduo, caso desejado, seja desde aplicações de correção do solo até obras viárias.

Percebe-se que os sistemas de deságue natural e misto se mostram interessantes para cenários de aplicação com geração de lodo frequente, onde solução definitiva deve ser aplicada, representando um menor custo operacional e uma maior efetividade, principalmente no ganho de teor de sólidos e redução volumétrica.

Observa-se que, por outro lado, os sistemas de deságue mecânicos são mais interessantes para situações de desaguamento pontual, com período de trabalho definido e finito, onde ação rápida é necessária, representando um maior custo de execução, mas com facilidades no desaguamento, através de tempos mais curtos e necessidade de menores espaços para seu funcionamento adequado.

Por fim, conclui-se que sistemas de desaguamento de lodo são de extrema importância, proporcionando a solução para a problemática do seu descarte incorreto. Devolvendo a água percolada para o processo da estação de tratamento e promovendo um material residuário final mais seco, com menor volume e com custo-benefício ímpar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOULLOSA ALLARIZ, B. LEVACHER, D. *Mechanical dewatering solutions for sediments*. 15th Geo-Environmental Engineering – GEE, p. 23-32, 2016.



2. BOULLOSA ALLARIZ, B. LEVACHER, D. THERY, F. *Behaviour of dredged dam sediments during natural dehydration*. 16th Geo-Environmental Engineering – GEE, p. 105-110, 2017a.
3. BOULLOSA ALLARIZ, B., LEVACHER, D., THERY, F. *Nouvelles techniques de déshydratation mécanisée en continu des sédiments*. La presse à boues KDS®. 4th Coastal and Maritime Mediterranean Conference – CM2, p. 23-26, 2017b.
4. CASTRO, N. Sistemas tubulares para contenção de lodo e sedimentos contaminados. São José dos Campos, 2005. Dissertação de mestrado em infraestrutura aeroportuária do ITA, 2005.
5. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 9 p. Disponível em: <http://www.legislacao.mutua.com.br/pdf/diversos_normativos/conama/2011_CONAMA_RES_430.pdf> Acesso em 29/02/2019.
6. DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. RIMA, 2. Ed. v. 1-2, 2005.
7. ELETROPAULO (2017) Tarifas de energia elétrica. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica>> Acessado em: 25/03/2019.
8. GHISI, E. *Potential for potable water savings by using rainwater in the residencial sector of Brazil*. Building and Environment, v. 41, 7 p, 2006.
9. KOERNER, R.M. *Designing with Geosynthetics*. Upper Saddle River, NJ, Pearson, 5. Ed. p.796, 2005.
10. MARÇAL, D.A.; SILVA, C.E. *Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI)*. Eng Sanit Ambient, v.22, n.4, p. 761-772, 2017.
11. METCALF & EDDY *Wastewater engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Tchobanoglous, G. and Burton, F.L., International Ed., McGraw-Hill, Inc, Ed. 3, 1991.
12. MÜLLER, M., VIDAL, D., GUANAES, E.A. *Adensamento de resíduo confinado no processo de desague em Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR): Um estudo comparativo entre dados de campo e bibliografia*. COBRAMSEG 2018, ABMS, 2018.
13. OLIVEIRA NETO, R., PETTER, C.O. *Modelo de estimativa dos custos em aterros sanitários para apoio no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos*. 1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2008.
14. PENMAN, H.L. *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc. Roy. Soc. London A, v. 194, p. 120-145, 1948.
15. PEREIRA, A.C.A., GARCIA, M.L. *Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso*. Eng Sanit Ambient, v.22, n.3, p. 531-538, 2017.
16. PILARCZYK, K.W. *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Costal Engineering*. Netherlands, A.A. Balkema, 1. Ed. 913 p, 2000.
17. REALLI, M.A.P. *et al. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. PROSAB, p. 224, 1999.
18. ROHWER, C. *Evaporation from different types of pans*. Transactions. A. S. C. E., v. 99, p. 673, 1934
19. SILVA, C.M., SOUSA, V., CARVALHO, N.V. *Evaluation of Rainwater Harvesting in Portugal: Application to Single-Family Residences*. Resources, Conservation and Recycling, v. 94, p. 21-34, 2015.
20. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SINS. *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2014*. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento ambiental. 2014. Disponível em: <http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico_AE2014.pdf> Acessado em: 10/04/2019.
21. SOBRATEMA-Associação brasileira de tecnologia para construção e mineração, 2017, *Tabela custo horário*, Disponível em: <<https://www.sobratema.org.br/CustoHorario/Tabela>> Acessado em: 25/03/2019
22. TOMINAGA, E. *Análise dos procedimentos para avaliação de desempenho de sistemas fechados com geotêxtil para desaguamento*. São José dos Campos, 2010. Dissertação de mestrado em infraestrutura aeroportuária do ITA, 2010.
23. TUROVSKIY I. S. & MATHAI P. K. *Wastewater sludge processing*. John Wiley and Sons, 2006.
24. VERTEMATTI, J.C. *Manual brasileiro de geossintéticos*. Blucher, 2. Ed. p. 570, 2015.