Processo de aquisição no saneamento básico como porta de entrada para inovação tecnológica: estudo de caso de centrífuga para desaguamento de lodo

Procurement process in sanitation as a gateway to technological innovation: a case study of a centrifuge for sludge dewatering

Data de entrada: 03/10/2024
Data de aprovação: 17/09/2025

Marcelo Kenji Miki[1]

DOI: https://doi.org/10.36659/dae.2026.120

Miki MK https://orcid.org/0000-0001-7250-6594

Resumo

A inovação tecnológica no setor de saneamento básico ocorre, muitas vezes, através dos fornecedores de tecnologia. Em tratamento de esgoto, é muito difícil fazer especificações técnicas com metas de performance, pois normalmente não há um registro histórico confiável ou simplesmente não há informação por ser uma inovação, sendo mais prudente recorrer a ensaios-piloto sempre que possível. De modo a trazer mais subsídios técnicos para a discussão de um aperfeiçoamento do modelo de contratação, foi realizado um teste-piloto por meio de centrífuga com o lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Franca) da Sabesp, situada no estado de São Paulo, de modo a contribuir na elaboração de especificações técnicas de um edital. Ele possibilitou checar o atendimento de um teor de sólidos na torta com 29,6% e captura de sólidos igual ou superior a 93% para o lodo da ETE Franca. Além desses requisitos de performance, também houve uma aceleração na curva de conhecimento do funcionamento de uma centrífuga, possibilitando um aprofundamento nos conceitos de diferencial de velocidade da rosca transportadora e tambor, nível g ou Força G, tempo de residência no cone cilíndrico etc. A partir desses conhecimentos técnicos, propõe-se um modelo de aquisição que eleva as exigências técnicas com base em resultados factíveis de serem obtidos na prática. A experiência obtida das discussões técnicas também permitiu a obtenção de reflexões sobre processos licitatórios que englobassem tanto a questão técnica como a administrativa para a sua aquisição.

Palavras-chave: Desaguamento. Lodo de ETE. Centrífuga. Inovação tecnológica.

Abstract

Technological innovation in sanitation often occurs by technology providers. Wastewater treatment faces greater difficult creating technical specifications with performance goals due to no reliable historical record or information (since it is an innovation), making it more prudent to use pilot tests whenever possible. To provide more technical support to discuss improvements to contracting models, a pilot test was carried out using a centrifuge with the sludge from the Sabesp Wastewater Treatment Plant (WWTP Franca), in the state of São Paulo, to contribute to the elaboration of technical specifications for a bid. It evaluated the achievement of a solids content in the cake with 29.6% and solids capture equal to above 93% for the sludge from the WWTP Franca.

[1] Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) – São Paulo – São Paulo – Brasil.
* **Autor correspondente:** mmiki@sabesp.com.br

CC BY NC

In addition to these performance requirements, it also accelerated the learning curve of the operation of a centrifuge, enabling a deeper understanding of the concepts of the differential speed of the conveyor screw and drum, G-force, residence time in the cylindrical cone etc. Based on this technical knowledge, this study proposed an acquisition model that raises technical requirements based on feasible results to be obtained in practice. The experience gained from these technical discussions also enabled reflections on bidding processes that encompassed the technical and administrative aspects of its acquisition.

Keywords: *Dewatering. WWTP sludge. Centrifuge. Technological innovation.*

1 INTRODUÇÃO

É prática comum no saneamento básico a adoção de contratos por performance na prestação de serviços, sendo bem difundido em programas de redução de perdas de água no sistema de abastecimento de água. No entanto, a previsão de desempenho de processos em processos de tratamento de esgoto é uma tarefa mais complexa, pelo fato de envolver processos microbiológicos, bem como o esgoto apresentar características bem mais complexas que a água tratada.

No saneamento básico, cita-se duas características relevantes intrínsecas do setor em relação à inovação tecnológica (Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação, 2008): a) setor de capital intensivo, b) dominado pelo fornecedor de tecnologia. Outra característica relevante de inovação no setor (2018 IWA World..., 2018) são as escalas de implantação, de modo a agregar valor e que podem ser metaforicamente comparadas com o elefante, o cavalo e a lebre. Nessas comparações, o elefante se equipara à infraestrutura como barragens e reservatórios/tanques os quais podem viver centenas de anos e ser concebidos num processo de gestação que pode durar uma década. Já o cavalo é como uma bomba, pode durar um par de décadas e ser concebida em poucos anos. E por último, as lebres seriam comparadas a sensores, apps, com gestação de meses de concepção e que se tornam obsoletos após poucos anos.

Nesse processo de gestação para introduzir uma tecnologia, muitas vezes a porta de entrada é através do processo de compra, principalmente para dispositivos como bombas e sensores. Quando a introdução de uma tecnologia requer a construção de uma infraestrutura civil, esse tipo de decisão muitas vezes é adotada na fase de projeto e tem uma característica muito maior de capital intensivo.

Entendendo essas abordagens referentes à inovação tecnológica, fica mais fácil de compreender por que certas tecnologias podem levar décadas para sua implementação no setor de saneamento básico, enquanto outras são de rápida implementação. No caso de baixa velocidade de implantação, pode ser citado o processo de hidrólise térmica de lodo (THP – *thermal hydrolysis process*), em que seu processo ainda está num nível muito baixo, mesmo após 23 anos de lançamento no mercado (O'Callaghan; Adapa; Buisman, 2021). O objetivo do trabalho é investigar os parâmetros de projeto e de operação de desaguamento de lodo através de centrífuga do tipo decanter realizado em testes-piloto, de forma a subsidiar o processo decisório de aquisição de centrífugas para ampliação de capacidade ou mesmo para novas instalações sem registro histórico confiável de dados.

1.1 Premissas

A maneira ideal de se fazer uma aquisição de equipamentos de desaguamento de lodo com base em performance seria a convocação de todas as empresas fornecedoras, como centrífugas, filtros prensa de placas ou de esteira, prensas parafuso

e outros. E o critério para decidir a proposta mais vantajosa deveria levar em conta tanto o preço do equipamento em si (Capex) como os impactos nos custos operacionais (Opex), por exemplo, o consumo de polímero para condicionamento de lodo, o teor de sólidos final da torta, consumo de água de utilidade, a captura de sólidos e eficiência energética.

Do ponto de vista econômico e mesmo operacional, este tipo de tarefa não é factível, pois a sua execução deveria implicar testes realizados para o mesmo lote de lodo, ou seja, ao mesmo tempo, de modo a reduzir a variabilidade de qualidade do lodo e suas eventuais implicações na performance. Poderia haver até mesmo falta de lodo para a realização de testes para tamanha oferta de tecnologias rodadas em paralelo.

A escolha de tecnologias de desaguamento de lodo não é uma tarefa essencialmente técnica e muitas vezes prevalecem critérios subjetivos de preferência por parte da equipe de operação. E nesse tipo de enfoque, as centrífugas acabaram caindo na preferência de muitos operadores de tratamento de esgoto em detrimento de outras tecnologias.

Govea *et al.* (2003) citaram como fizeram um processo decisório através de um teste-piloto com um fornecedor e um contrato de leasing com outro, de modo a levantar os parâmetros de performance para uma licitação, contabilizando tanto o Capex como o Opex. Com o levantamento preliminar de performance foi possível obter a linha base.

Levando em conta a necessidade de aumento da capacidade operacional de desaguamento da ETE Franca, foi feita a contratação de um teste-piloto com centrífuga que apresentasse algum diferencial tecnológico em relação aos concorrentes e que pudesse indicar um potencial de desempenho superior quanto à concorrência.

Um dos componentes de uma centrífuga com diferencial tecnológico é a caixa de engrenagens do conjunto rotativo, que cria a velocidade diferencial entre o tambor e a rosca transportadora. Existem dois tipos principais de caixas de engrenagens usadas em decanters, que são o Planetário e a caixa de câmbio Cyclo, fabricada pela Sumitomo do Japão. No entanto, existem vários decanters que eliminaram a caixa de engrenagens com a utilização de um sistema hidráulico denominado Rotodiff, fabricado pela empresa suíça Viscotherm. O sistema planetário consiste em um eixo de pinhão e engrenagem, que engata três engrenagens planetárias (montadas em placas de suporte), que por sua vez engatam uma coroa fixada na carcaça da caixa de engrenagens (Figura 1). Para o decanter, a caixa de engrenagens planetária envolve dois estágios, embora recentemente tenham sido usados três estágios (Records; Sutherland, 2001).

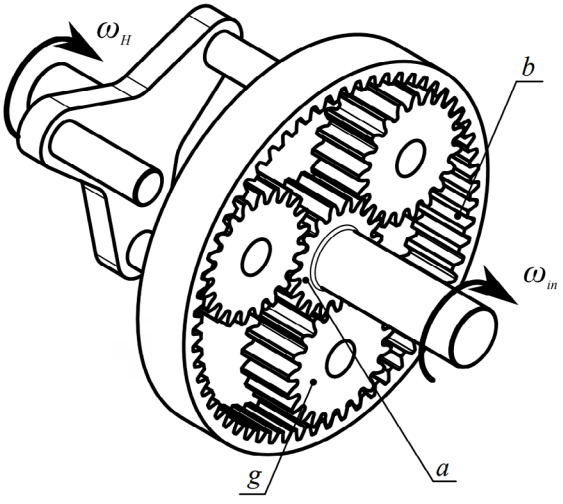


Figura 1 – Caixa de engrenagens Planetário.

Fonte: Sedak e Rosic (2021).

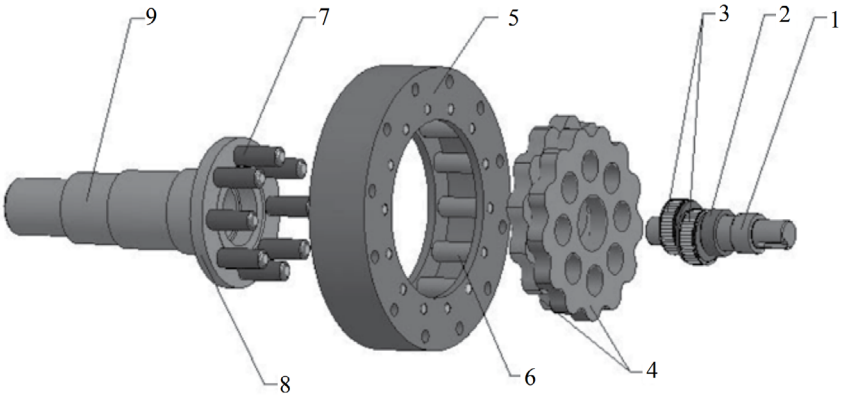


Figura 2 – Caixa de engrenagens Cyclo Gearbox.

Fonte: Mackic *et al.* (2013).

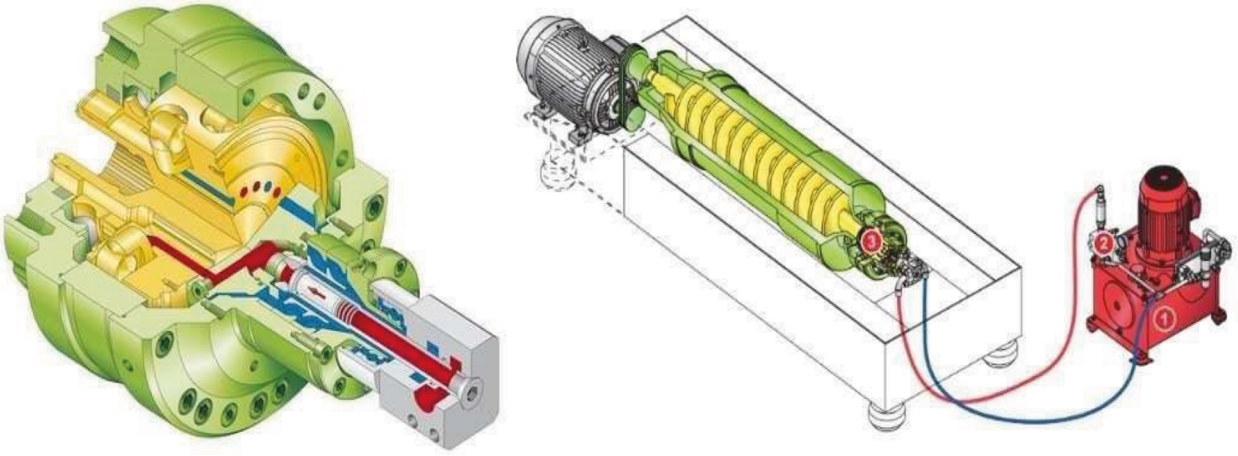


Figura 3– Sistema Viscotherm Rotodiff.

Fonte: Viscotherm[2].

O equipamento utilizado no teste adota o sistema de velocidade diferencial através da tecnologia de acionamento hidráulico patenteada da Viscotherm Rotodiff, cujo uso não é disseminado no setor de saneamento do Brasil. De acordo com o site da Viscotherm[3] os clientes da tecnologia Rotodiff são empresas fornecedoras de centrífugas. Ou seja, apesar de ser uma tecnologia proprietária, ela não se limita a somente um fornecedor de centrífuga. Assim foi feita a contratação de uma prestação de serviço com tecnologia de centrífuga com inovação tecnológica, possibilitando o aprofundamento técnico do funcionamento de uma centrífuga decanter e checar de fato qual seria uma meta atingível na prática em relação a performance de teor de sólidos final na torta e captura de sólidos.

2 METODOLOGIA

2.1 Fonte de lodo

Os testes foram realizados na ETE Franca com o lodo gerado nos digestores anaeróbios. A ETE Franca foi inaugurada em março de 1998, e sua concepção

[2] Disponível em: https://www.viscotherm.com/en/. Acesso em: 22 set. 2025.

[3] Disponível em: https://www.viscotherm.com/en/products/hydraulic-centrifuge-drive/rotodiff. Acesso em: 22 set. 2025.

tem algumas características que se mostram hoje ultrapassadas tecnologicamente, como o adensamento do lodo secundário por gravidade, a falta de sistema de aquecimento e isolamento térmico dos digestores etc. E em função de o início da operação contar com uma certa capacidade ociosa até os dias de hoje, foram adotados certos procedimentos operacionais, de modo a trabalhar na melhor condição possível, levando em conta as instalações existentes, bem como as características e quantidades do lodo. Dessa forma, atualmente o lodo primário é submetido a adensamento no próprio decantador primário, com valor médio de teor de sólidos de 2,9%. Já o lodo secundário é submetido a adensamento por gravidade, com valor médio de teor de sólidos de 1,9%. O lodo misto adensado e combinado é encaminhado aos digestores anaeróbios, resultando num lodo digerido com teor de sólidos aproximado de 2%.

Outra informação relevante referente à geração e qualidade do lodo refere-se ao recebimento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) através do sistema coletor de esgoto por meio de manobras em períodos noturnos, de modo a direcionar estes fluxos para tanques específicos de recebimento. Esse recebimento de lodo de ETA ocorre de maneira provisória até o término das obras da nova ETA de Franca, onde está previsto um duto de lodo que levará o lodo da nova ETA até a ETE Franca e não haverá mais a mistura deste lodo com aquele gerado na ETE Franca.

Conforme campanhas de monitoramento, as principais características do lodo da ETE Franca são:

- teor médio de sólidos do lodo digerido: 2,6%;
- teor mínimo de sólidos do lodo digerido: 1,61%;
- índice de Voláteis SV/ST: 46%;
- teor de sólidos da torta em filtro prensa de esteira: 19%;
- captura de sólidos: 78%;
- dosagem de polímero: 3,7 kg/ton.

2.2 Polímero utilizado

O polímero utilizado nos testes-piloto foi o mesmo utilizado no filtro prensa de esteira da ETE Franca, e utilizado em outras instalações com centrífugas da Sabesp, como ETE Barueri e ETE Várzea Paulista.

Polímero

- Marca: SNF Floerger;
- Modelo: Flonex 4350 SSH;
- Concentração de Aplicação: 0,4%.

2.3 Equipamento-piloto de centrífuga decanter

A Figura 4 ilustra o equipamento-piloto na ETE de Franca.

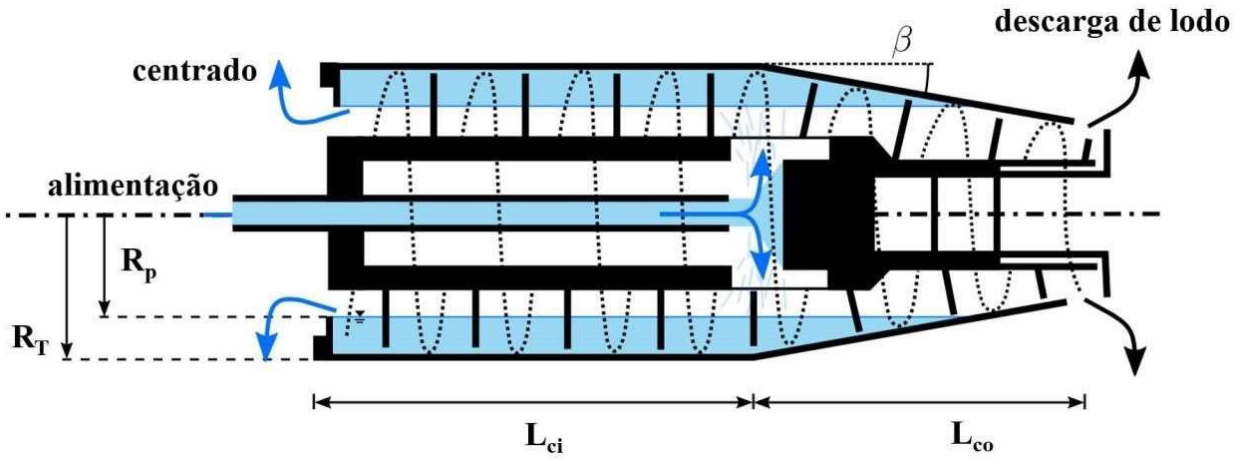
Figura 4 – Equipamento-piloto em instalação na ETE Franca.

Fonte: Valdir Gomes Pereira Junior/OFMF – Sabesp.

A Figura 5 apresenta as principais características dimensionais de uma centrífuga.

As características do equipamento-piloto de centrífuga estão mostradas no Quadro 1.

Durante os ensaios, adotou-se a metodologia de se fazer ajustes de vazão e dosagem de polímero fazendo observação do clarificado, bem como da carga aplicada. A partir da estabilização dessas condições operacionais é que se fazia a coleta de amostras, de modo a se levantar os parâmetros dos testes.



L_{ci} = comprimento da seção do cilindro

L_{co} = comprimento da seção do cone ß

= ângulo da seção cônica

R_T = raio do Tambor

R_p = raio do vertedor ajustável para determinar a profundidade da "piscina"

Figura 5 – Esquema de centrífuga com indicação de dimensões.

Fonte: Menesklou *et al.* (2021).

Quadro 1 – Características da centrífuga-piloto.

Fabricante	Centrisys
Modelo	CS14-4HC-2PH
Capacidade Hidráulica Nominal	2 a 14 m^3/h
Capacidade Nominal Máxima de Carga de Sólidos	365 kg Sólidos Secos por hora
R_T = Raio do Tambor	176,5 mm
L_{ci} = comprimento da seção do cilindro	1.046 mm
Comprimento da carcaça	1.400 mm
Rotação Máxima da Carcaça	4.000 rpm
Rotação da Rosca	1 a 20 rpm
ß: ângulo da seção cônica	15º
Força Centrífuga	3.000 G
Relação Nominal L/D	4:1
Potência instalada	Motor principal: 30 HP Unidade hidráulica: 10 HP Fonte de energia elétrica: 380V/480V, 60 Hz
Materiais	Carcaça e rosca: aço inox duplex CP 1.4470 Materiais em contato com lodo: aço duplex CP 1.4470 Materiais de desgaste da rosca: pastilhas de carbeto de tungstênio Material de desgaste no interior da câmara de alimentação: pastilhas de cerâmica

3 RESULTADOS OBTIDOS

Tabela 2 – Resultados do teste-piloto.

Data	19.02	20.02	21.02	22.02	23.02	26.02	27.02	28.02	29.02	Valor Médio
Vazão Total de Entrada (m^3/h)	10,69	10,33	14,38	15,03	14,80	13,70	13,81	12,43	12,52	13,08
Teor de Sólidos do Lodo de Entrada (%)	2,3	1,6	1,6	1,7	1,7	2,0	2,7	2,3	2,6	2,1
Teor de Sólidos da Torta (%)	28,4	29,9	29,7	29,3	30,5	29,0	29,9	30,2	29,9	29,6
Consumo Específico de Energia (kWh/m^3)	1,14	1,1	0,80	0,90	0,87	0,80	0,78	0,86	0,85	0,90
Torque (Bar)	158	194,0	201	204	255	198	205	200	215	203
Dosagem de Polímero (kg/ton)	13,9	16,8	14,3	8,8	9,4	12,5	8,3	8,2	7,5	11,1
Carga de Sólidos (kg/h)	248	169,9	232	260	255	273	375	282	319	268
Velocidade Diferencial (rpm)	7,70	4,79	4,14	4,43	4,80	4,38	6,34	4,74	7,85	5,46
Velocidade do Tambor (rpm)	4.037	4.053	4.049	3.863	4.036	3.658	3.718	3.829	3.824	3.896
g1 – no nível da "piscina"	3.169	3.194	3.187	2.908	3.168	2.602	2.689	2.851	2.846	2.957
Diâmetro do nível da "Piscina" (mm)	235	235	200	235	235	200	210	210	220	220
Profundidade da "Piscina" (mm)	57,5	57,5	75,0	57,5	57,5	75	70	70	65	65,00
Volume do Cilindro na "Piscina" (m^3)	0,0570	0,0570	0,0695	0,0570	0,0570	0,0695	0,0661	0,0661	0,0626	0,0624
TD (s) no nível da "Piscina"	19,20	19,86	17,40	13,65	13,87	18,27	17,24	19,16	18,00	17,40

a) Torta de Lodo gerada no Teste **b) Centrado gerada no Teste**

Figura 6 – Produtos gerados no teste-piloto na ETE Franca.

Fonte: Antônio Sergio Chaves Ferreira/EIP – Sabesp.

Figura 7 – Amostras de centrado/clarificado do teste da centrífuga.

Fonte: Antônio Sergio Chaves Ferreira/EIP – Sabesp.

Tabela 3 – Resultados de análises laboratoriais de sólidos e captura.

DADOS LABORATORIAIS	22/02/2024	23/02/2024		26/02/2024	27/02/2024	28/02/2024	
ST lodo entrada (mg/L)	16.592	19.578	16.116	17.022	16.086	22.336	28.234
ST lodo desaguado (%)	26,6	30,2	28,5	29,1	29,0	28,8	28,7
ST centrado (mg/L)	1.202	858	480	892	1.182	1.062	876
Captura (%)	93%	96%	97%	95%	93%	96%	97%

Os valores médios obtidos da Tabela 3 são:

Nível da Força g1 = 1874

Volume no Cilindro no nível da "Piscina" = 0,0624 m^3

Vazão Total de Entrada (m^3/h) = 13,08 m^3/h

TD (s) no nível da "Piscina" = 17,40 s

4 DISCUSSÃO

4.1 Performance

Conforme Tabela 2, o teor de sólidos da torta médio foi de 29,6% e ilustrada na Figura 6a. Já a captura de sólidos resultou em valores igual ou superior a 93%, conforme a Tabela 3 e ilustrada na Figura 6b em campo, e Figura 7 através de coleta de amostras. Estes resultados podem ser considerados muito bons e não usuais de serem atingidos em equipamentos de centrífuga. A centrífuga utilizada nos testes serviu para demonstrar qual seria uma performance atingível, de forma a poder ser solicitada numa prestação de serviço, possibilitando o estabelecimento de metas reais com o lodo da ETE de Franca em contraposição a dados obtidos somente da literatura ou metas muito otimistas sem a devida sustentação técnica.

Esse valor médio de teor de sólidos da centrífuga de 29,6% foi bem superior ao valor histórico médio de teor de sólidos de 19% obtidos no filtro prensa esteira. No entanto, não se pode condenar de antemão a tecnologia de desaguamento de filtros prensa de esteira, sendo necessário fazer algumas considerações. Em primeiro lugar, a tecnologia hoje empregada na ETE Franca de filtro prensa de esteira tem aproximadamente 30 anos. Desde então, houve muita evolução tecnológica nos diversos tipos de equipamentos de desaguamento. Em segundo lugar, não é possível afirmar categoricamente que a tecnologia de centrífuga decanter é superior à tecnologia de filtro prensa de esteira. É necessário olhar além da tecnologia em si e enxergar diferentes contextos. Por exemplo, na ETE Blue Plains de Washington DC, operada pela DC Water, optou-se pela instalação de filtros prensa esteira com produção de torta a 30% de teor de sólidos. Essa performance foi possível devido ao tipo de tratamento de lodo que é submetido a uma operação de processo de hidrólise térmica do lodo, que favorece atingir teores de sólidos mais altos devido a destruição de substâncias poliméricas extracelulares (EPS – *extracellular polymeric substances*) e resultando num lodo com maior teor de sólidos fixos. Higgins *et al.* (2011) realizaram um estudo de modo a comparar a utilização de centrífugas versus filtros prensa de esteira em locais com hidrólise térmica do lodo através do processo CAMBI. O dado mais relevante deste estudo foi constatar que o filtro prensa de esteira apresentou resultados de teor de sólidos final iguais ao da centrífuga, o que normalmente não ocorre com outros tipos de lodo, que foi de 30% de teor de sólidos. A explicação para este comportamento pode ser devido à natureza da compressibilidade do lodo tratado com processo de hidrólise térmica.

Outra observação interessante foi o uso de outros dispositivos de desaguamento de lodo submetidos ao processo de hidrólise térmica. Macedo *et al.* (2015) relataram que, em testes-piloto com a tecnologia Bucher Press, os teores de sólido foram de 26% a 29% para lodo digerido convencional para 43% a 45% (lodo hidrolisado com contribuição de 50% de lodo de descarte aeróbio) e para 38% a 42% (lodo hidrolisado com 80% de lodo de descarte aeróbio). Após os testes, foi implantado o Bucher Press na Oxford STW da Thames Water e com resultados de 38% a 42% de teor de sólidos e dosagem de polímero de 10 a 12 kg/ton, após 1 ano de instalação. Outro cuidado relevante é que este resultado de teor de sólidos não pode ser transportado como meta para o lodo de outra ETE, pois cada lodo tem um processo único de geração, cuja qualidade do despejo de entrada e cada etapa de processo influencia muito o resultado final. Outro dado relevante é observar que a ETE Franca recebe até o momento o Lodo gerado da ETA de Franca, o que pode ter favorecido que o teor de sólidos final na torta tenha apresentado esse alto valor.

Já em termos da influência da tecnologia no resultado final, algumas considerações podem ser levadas em conta.

No acompanhamento dos testes, visualizou-se que a tecnologia permitia um controle rápido e preciso do nível de torque, chegando em alguns momentos de ajustes preliminares até numa velocidade diferencial de 1 rpm.

Devido à limitada abrangência dos testes em confronto com outras tecnologias, como o acionamento através de *gear-box*/caixa de engrenagens, não é possível afirmar que a tecnologia Rotodiff foi o elemento determinante para se atingir o excepcional resultado de teor de sólidos. Apesar de a tecnologia Rotodiff não ser de uso exclusivo da Centrisys, este tipo de acionamento não é comumente ofertado pelas outras empresas de centrífugas para o setor de saneamento básico. Talvez um dos motivos seja que o 265 processos decisórios de aquisição pelas empresas operadora de Saneamento sempre se focaram no menor Capex, levando a distorções de se adquirir

somente pelo preço mais baixo e desprezando o impacto dos custos de disposição final de lodo, que se beneficiam com um teor de sólidos mais alto e custos de manutenção dos equipamentos, que são relativamente altos devidos aos esforços de altas rotações.

Outra limitação nos cenários estabelecidos nos testes-piloto refere-se ao polímero utilizado no condicionamento. A escolha do melhor polímero para determinada aplicação é uma tarefa complexa que depende de testes em escala plena, com diferentes dosagens e energias de mistura, que podem ser obtidas através da injeção em diferentes pontos. Os testes realizados com o mesmo polímero utilizado para desaguamento em filtros prensa esteira indicaram que este polímero pode atingir a performance obtidas nos testes, mas não podem afirmar que seria o melhor polímero para aplicação para a centrífuga testada. Ou seja, permitiu o estabelecimento de uma performance mínima. Possibilidades de se atingir melhores resultados com outros polímeros ficam em aberto.

Outra limitação refere-se à expansão de cenários com outras tecnologias de desaguamento de lodo além das centrífugas. O conhecimento prático de outras tecnologias de desaguamento depende de sua aplicação em escala plena ou de testes-piloto. Uma facilidade referente às centrífugas é a disposição no mercado de equipamentos montados em "*skids*" com painel de controle, sistemas de bombas de alimentação (lodo e de polímero) e sistemas de preparo de solução de polímero. Esta facilidade permite se testar este tipo de tecnologia de forma mais usual.

4.2 Parametrização simplificada dos resultados

Pelo fato de o equipamento utilizado nos testes-piloto não ter capacidade de atender à demanda plena operacional de produção de lodo da ETE de Franca, fez-se necessário estimar, através de uma parametrização, qual tamanho/modelo de centrífuga atenderia à demanda operacional.

Records e Sutherland (2001) citam sobre a construção de curvas a partir de testes-piloto, de modo a possibilitar o dimensionamento de máquinas maiores conforme o aumento da demanda. Os testes-piloto realizados na ETE Franca não possibilitaram a construção destas curvas devido a uma limitação contratual de número de ensaios realizados. No entanto, permitiu informar qual meta de teor de sólidos seria atingível do ponto de vista prático. De modo a não incorrer no risco de se aceitar a oferta somente através de uma meta de performance de teor de sólidos, partiu-se de uma abordagem de parametrização simplificada, de modo a se exigir pelo menos um critério técnico mínimo com base no tempo de residência e nível de Força G. Dessa forma, pelo menos as dimensões físicas da centrífuga deveriam, num primeiro momento, atender a este requisito técnico.

Parametrização para vazão de projeto:

Q_e = Vazão total de entrada de projeto
Q_l = Vazão de lodo
Q_p = Vazão de polímero

Produção de lodo digerido: 987 m^3/dia (teor de sólidos a 2%); 19,74 ton/dia

Número de Centrífugas: 2 em operação contínua

Vazão de lodo Por Centrífuga: (987 m^3/dia)/2 = 493,5 m^3/dia = 20,6 m^3/h = 0,0057 m^3/s Q_l = 0,0057 m^3/s

Carga de Sólidos Por Centrífuga: (19,74 ton/dia)/2 = 9,87ton/dia

Dosagem máxima de polímero em base seca: 15 kg/ton

Concentração da solução de aplicação de polímero: 0,20%

Demanda máxima de polímero em pó por centrífuga: 9,87 x 15 = 148,05 kg/dia

Demanda máxima de polímero em Solução por centrífuga: 148/0,2% = 74.000 litros/dia

Vazão máxima de polímero em Solução por centrífuga: 74.000 litros/dia = 3,1 m^3/h;

Q_p = 3,1 m^3/h

Vazão total de entrada = Q_e = Vazão de lodo + Vazão de polímero

Q_e = 20,6 + 3,1 = 23,7 m^3/h

Determinação do volume da centrífuga equivalente:

TD = Tempo de detenção obtido do teste-piloto = 17,4 s
Q_e = 23,7 m^3/h = 0,006583 m^3/s
$Q_e = V_{eq}/TD$
$V_{eq} = Q_e \times TD = (23,7/3600) \times 17,40\ V_{eq}$
= 0,115 m^3

A centrífuga equivalente deve ter no mínimo:

V_{eq} = 0,115 m^3.

A exigência de um volume mínimo através de um volume parametrizado equivale a se exigir uma dimensão mínima do cilindro, ou seja, tem-se uma grandeza física que implica certo tamanho mínimo confeccionado com o material de construção especificado.

Além desta exigência, também se considerou que a Força G seria outra grandeza a ser exigida. Quanto maior o diâmetro do tambor da centrífuga, maior o impacto na Força G. Na Tabela 2, a força G é dada pela linha do g1, ou seja, a força G na altura de lâmina de água estabelecida pelo vertedor da "piscina", cujo valor é 1.874.

Entende-se que estas exigências técnicas são os requisitos mínimos necessários e devem ser consideradas como condições mínimas, mas não suficientes. A performance de uma centrífuga é afetada por outras características técnicas. Por exemplo, o ângulo ß da seção cônica pode ter diferentes valores conforme o fabricante e isto implica em maior ou menor resistência de saída do lodo da centrífuga, que influencia no torque e da velocidade diferencial.

Como há uma combinação de características tecnológicas, focou-se somente no volume físico e no nível da força g1.

4.3 Fase de habilitação

A partir dos resultados obtidos no teste-piloto e da demanda projetada de produção de lodo, pode-se fazer uma exigência mínima de características técnicas da centrífuga. Assim, pode-se exigir o volume equivalente mínimo obtido através da parametrização e o nível de força g1. Além disso, pode ser solicitado o tipo de material de construção da centrífuga, de modo a se ter uma característica referente a durabilidade.

Estabelecidos os critérios técnicos, pode ser feita a solicitação de propostas técnicas com base nesses requisitos.

Uma forma de evoluir no processo de compra é incluir uma etapa de habilitação técnica, que seria através de um teste-piloto para demonstração de capacidade e performance, antes da assinatura do contrato. O objetivo deste teste-piloto seria de comprovar se os requisitos de capacidade e desempenho operacional exigidos na chamada de propostas são atingíveis pela proponente, da mesma forma que foram obtidos através do piloto. Dessa forma, diminui-se o risco de se ter um equipamento instalado e que não atinja futuramente a performance exigida para a capacidade solicitada.

Pressupõe-se que este teste-piloto implicará custos que deverão ser bancados pelo proponente e que possivelmente terá este custo diluído no preço da proposta técnica e comercial. Assim, caso essa fase não seja superada, o fornecedor corre o risco de não ser pago por esta etapa.

Também deve ser feita a avaliação da capacidade de processo da máquina do piloto, de modo a se checar se a máquina ofertada tem a capacidade equivalente, através do parâmetro tempo de detenção. Esta abordagem evita que se favoreça

uma performance em detrimento com a vazão de processo, ou, sendo mais direto, evita-se manipular os testes através da diminuição da vazão da centrífuga, de modo a atingir um teor de sólidos mais alto.

Caso a fase de habilitação seja atendida, tem-se o acordo no prosseguimento para a assinatura do contrato.

4.4 Fase de comprovação de performance de campo

Após a aprovação do projeto e da instalação, tem-se a fase de operação preliminar, em que devem-se comprovar os requisitos de performance para a capacidade operacional real.

A Figura 8 ilustra os estágios a serem cumpridos no processo de aquisição.

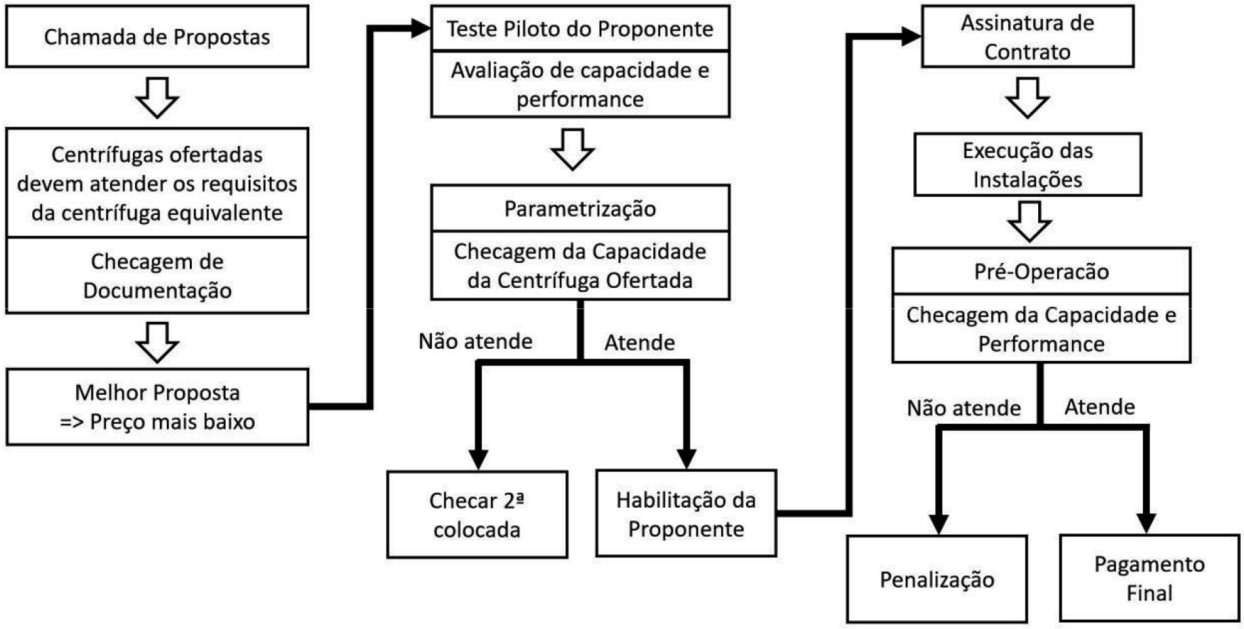


Figura 8 – Estágios a serem cumpridos no processo de aquisição.

5 CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O teste-piloto com a centrífuga do tipo decanter com o lodo gerado na ETE Franca permitiu acelerar a curva de aprendizado do fenômeno de centrifugação, possibilitando um maior aprofundamento dos fenômenos envolvidos no processo e seus detalhes técnicos.

Muitas vezes, limitar-se a exigir uma performance a ser atingida num contrato pode ser contraproducente, devido à possibilidade de se exigir algo não possível tecnicamente. No entanto, reconhece-se que nem sempre é possível realizar testes-piloto devido aos altos custos envolvidos.

No teste-piloto com centrífuga do tipo decanter com o lodo da ETE Franca, foi possível atingir um teor de sólidos médio de 29,6% e captura de sólidos maior ou igual a 93%. Esses resultados não

podem ser transportados e exigidos em contrato para outras fontes de lodo. Não há testes laboratoriais que permitem estimar a performance de um equipamento em escala plena. Sempre que possível, é desejável a realização de testes-piloto. No entanto, um piloto nem sempre é possível onde sequer há lodo a ser testado. Mesmo assim, pode-se exigir certos requisitos técnicos preliminares, como o volume útil da centrífuga na parte cilíndrica determinado pelo raio do tambor e raio de descarga de sólidos, velocidade mínima diferencial entre rosca e tambor (e respectivo sistema de controle), tempo de detenção mínimo na parte cilíndrica da centrífuga etc.

De modo a promover uma melhoria no processo decisório de equipamentos, pode-se fazer uso tanto de requisitos técnicos pré-estabelecidos bem como de comprovação de performance *a posteriori*. A experiência obtida das discussões técnicas também permitiu a obtenção de reflexões sobre processos licitatórios que englobassem tanto a questão técnica como a administrativa para a sua aquisição.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Miki MK; **Metodologia**: Miki MK; **Investigação**: Miki MK; **Redação – Revisão & Edição**: Miki MK; **Supervisão**: Miki MK.

7 REFERÊNCIAS

2018 IWA WORLD Water Congress & Exhibition – Keynote Sudhir Murthy – **The Diffusion of Innovation**: a Utility Perspective. [*S. l.*: *s. n.*], 2018. 1 vídeo (14 min). Publicado pelo canal worldwatercongress.org. Disponível em: https://vimeopro.com/iwahq/2018-iwa-world-water-congress-and-exhibition/video/294169862. Acesso em: 26 set. 2024.

GOVEA, P. *et al*. Putting a good spin on it: evaluated bid process for centrifugal dewatering system rewards city and manufacturer. *In*: CALIFORNIA WATER ENVIRONMENT ASSOCIATION CONFERENCE, 2003, Los Angeles. **Proceedings** [...]. Los Angeles: CWEA, 2003.

GRUPO DE ESTUDOS SOBRE ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA E DA INOVAÇÃO. **Radiografia da inovação, concepção, desenvolvimento e implantação de modelo de gestão em tecnologia e inovação na Sabesp**. Relatório interno de Consultoria para Sabesp Contrato nº 59.490/07. Campinas: Unicamp/Geopi, out. 2008.

HIGGINS, M. *et al*. Dewatering Characteristics of Cambi Thermal Hydrolysis Biosolids: Centrifuge vs. BFPs. *In*: WATER ENVIRONMENT FEDERATION'S TECHNICAL EXHIBITION AND CONFERENCE, 2011, Los Angeles. **Proceedings** [...]. Los Angeles: CWEA, 2011.

MACEDO, F. *et al*. One year of Bucher Press Operational Experience at Oxford Sewage Treatment Works. *In*: EUROPEAN BIOSOLIDS & ORGANIC RESOURCES, 20., 2015, Leeds. **Proceedings** [...]. Leeds: Aqua Enviro, 2015.

MACKIC, T. *et al*. Influence of design parameters on cyclo drive efficiency. **Journal of the Balkan Tribological Association**, [*s. l.*], v. 19, n. 4, 2013.

MENESKLOU, P. *et al*. Scale-up od decanter for the Particle Separation and Mechanical Dewatering in the Minerals Processing Industry by Means of a Numerical Process Model. **Minerals**, Basel, v. 11, n. 2, 2021. https://doi.org/10.3390/min11020229.

O'CALLAGHAN, P.; ADAPA, L. M.; BUISMAN, C. Assessing and anticipating the real world impact of innovative water technologies. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 315, 128056, Sept. 2021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128056

RECORDS, A.; SUTHERLAND, K. **Decanter Centrifuge Handbook**. Amsterdam: Elsevier Advanced Technology, 2001.

SEDAK. M.; ROSIC, B. Multi-Objective Optimization of planetary gearbox with adaptive hybrid particle swarm differential Evolution algorithm. **Applied Sciences**, [*s. l.*], v. 11, n. 3, 1107, 2021. https://doi.org/10.3390/app11031107.