

Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Química

Eduardo Ferreira Lourenço

Economia de insumos em lavadora de garrafas

Uberlândia, MG
2021

Eduardo Ferreira Lourenço

Economia de insumos em lavadora de garrafas

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro habilitação
Engenharia Química

Área de concentração: Engenharia Química

Orientador: Prof. Rubens Gedraite

Uberlândia

2021

Eduardo Ferreira Lourenço

Economia de insumos em lavadora de garrafas

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro habilitação Engenharia Química apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia

Área de concentração: Engenharia Química

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rubens Gedraite
Orientador
Faculdade de Engenharia Química / UFU

Prof. Dr. Rodrigo Sislian
Instituto Federal de São Paulo / Campus Guarulhos

Eng. Mestre Vinicius Pimenta Barbosa
Doutorando do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Química / UFU

Uberlândia, 09 de junho de 2021

2021

À minha família, Emerson, Dulce, Roberta, Ivanda e Elisangela.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo apoio e suporte para concretização dessa jornada. A minha irmã, por sempre me inspirar e acreditar em mim. Ao meu orientador Rubens Gedraite pela atenção, dedicação e suporte nesse período.

Evitar clichês porque senão ninguém lê

RESUMO

A economia de insumos químicos utilizados na limpeza de garrafas retornáveis tipicamente empregadas no envase de bebidas é uma meta sempre buscada nos processos industriais. O estudo foi realizado tomando-se por base uma máquina lavadora de garrafas com dois tanques com volume total de armazenamento de solução detergente alcalina igual a 80.000 L. Foram consideradas as perdas de solução detergente alcalina por vazamentos e por arraste juntamente com as garrafas e a troca trimestral de todo o volume de solução detergente alcalina armazenado nos tanques. Três cenários de economia de insumos foram estudados, tendo-se optado por sugerir aquele que proporcionou o maior retorno econômico e considerando-se a viabilidade técnica de sua implementação. O resultado mais atrativo foi o que contemplou uma redução de 10% nas perdas mensais e uma redução de 25% no volume de solução detergente alcalina renovado trimestralmente.

Palavras-chave: lavadora de garrafas, economia de insumos, solução detergente.

ABSTRACT

The economy of chemical inputs used in cleaning returnable bottles typically used in the filling of beverages is a goal that is always sought in industrial processes. The study was carried out based on a bottle washer machine with two tanks with a total storage volume of alkaline detergent solution equal to 80,000 L. The losses of alkaline detergent solution due to leaks and drag along with the bottles and quarterly exchange of the entire volume of alkaline detergent solution stored in the tanks were considered. Three input economics scenarios were studied, having chosen to suggest the one that provided the greatest economic return and considering the technical feasibility of its implementation. The most attractive result was that which included a 10% reduction in monthly losses and a 25% reduction in the volume of alkaline detergent solution renewed quarterly.

Key words: bottle washer, input savings, detergent solution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Representação simplificada da máquina de limpeza de vasilhames .	13
Figura 2.1: Representação simplificada da zona de pré-lavagem	16
Figura 2.2: Representação simplificada da zona de enxágue	16
Figura 2.3a: Representação simplificada de lavadora de garrafas	17
Figura 2.3b: Representação simplificada de lavadora de garrafas	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Custos com solução detergente	21
Tabela 5.1: Custo mínimo com solução detergente	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MEMORIAL DESCRITIVO DO EQUIPAMENTO	15
3	LAVAGEM COM SOLUÇÃO DETERGENTE	17
4	GASTOS OPERACIONAIS COM A LAVADORA.....	21
5	REDUÇÃO DOS GASTOS COM A LAVADORA.....	22
6	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A crescente utilização de sistemas de controle automático no ambiente industrial vem transformando o processo de ensino e aprendizagem em vigor nos cursos de engenharia. Nos dias de hoje, não se concebe o ensino apenas com lousa e giz. É imperativo que os alunos realizem experiências didáticas, onde a coleta eletrônica das informações pertinentes seja feita de forma automática e rápida, visando uma posterior análise dos dados, com o emprego de planilhas eletrônicas. Este procedimento pode permitir tanto a análise das condições de operação do equipamento como o projeto de modificações, que se façam necessárias no mesmo. Complementarmente, este trabalho de conclusão de curso apresenta contribuição para a disciplina Segurança e Análise de Riscos em Processos Industriais, proporcionando uma visão aplicada do embasamento teórico apresentado na referida disciplina, o que contribuirá para a melhoria da aprendizagem por parte dos alunos.

É interessante ressaltar a falta de importância dada, no passado, nas matrizes curriculares dos cursos de graduação em Engenharia Química à análise de perigos e de operabilidade de instalações industriais químicas, com foco em sistemas altamente automatizados. Este pensamento mostrava a tendência de conservadorismo do setor, inibindo a divulgação do conhecimento referente à área.

Atualmente esse cenário está mudando de forma acelerada, devido à grande demanda global para uma operação mais segura de instalações industriais, a qual vem incentivando a análise de riscos em processos e a respectiva mitigação por meio da instalação de sistemas de controle mais modernos **(AFONSO, 2008)**.

O funcionamento correto de equipamento essencial na industrialização de bebidas é fundamental para garantir a qualidade do produto, evitando perdas financeiras que poderiam ser evitadas **(CARVALHO, 2007)**.

O processo escolhido para cenário de estudo é uma máquina de lavagem de vasilhames, apresentada na **Figura 1.1**.

Figura 1.1: Representação simplificada da máquina de limpeza de vasilhames



Fonte: **(LIESS, 2021)**

As Lavadoras de Garrafas e Pasteurizadores de Túnel utilizam tecnologia moderna, alinhada com as tendências mundiais de engenharia, apresentando elevado rendimento e baixo custo operacional. Elas se caracterizam por apresentar os mais baixos consumos de água e energia deste segmento, fruto do constante desenvolvimento tecnológico e de processos inovadores **(LIESS, 2021)**.

As Lavadoras de Garrafas e Pasteurizadores de Túnel são projetadas para otimizar todo o processo de lavagem e enxágue de garrafas, contemplando:

- Automação voltada para o controle total do processo e redução de consumo, com receitas completas para cada tipo de garrafa;

- Acionamentos com sincronismo eletrônico, sem elementos mecânicos de transmissão;
- Sistema de descarga e Mesa de carga com sistema orbital, empregando sincronismo eletrônico e *set-up* por receitas pré-estabelecidas;
- Controle de nível dos tanques, concentração de detergente e temperaturas dos tanques automáticos;
- Configurações com ou sem extratores de rótulos;
- Células plásticas porta garrafas nos tamanhos 82 mm, 95 mm, 105 mm, 125 mm e 150 mm, atendendo a uma ampla variedade de garrafas.

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é avaliar a economia de solução detergente alcalina empregada como agente de limpeza na máquina, avaliando o reuso da mesma ao longo do tempo.

2 MEMORIAL DESCRITIVO DO EQUIPAMENTO

As Lavadoras de Garrafas e Pasteurizadores de Túnel são desenvolvidas com um projeto modular, atendendo às mais rígidas necessidades das modernas linhas de engarrafamento, tanto para garrafas de vidro para cerveja e refrigerantes, como também garrafas PET de refrigerante, rotuladas ou não. A grande variedade de configurações do equipamento permite o trabalho com garrafas com diâmetros de 50 mm (200 mL) a 120 mm (3,0 L), com alturas de até 380 mm **(ENGARRAFADOR MODERNO, 2021)**.

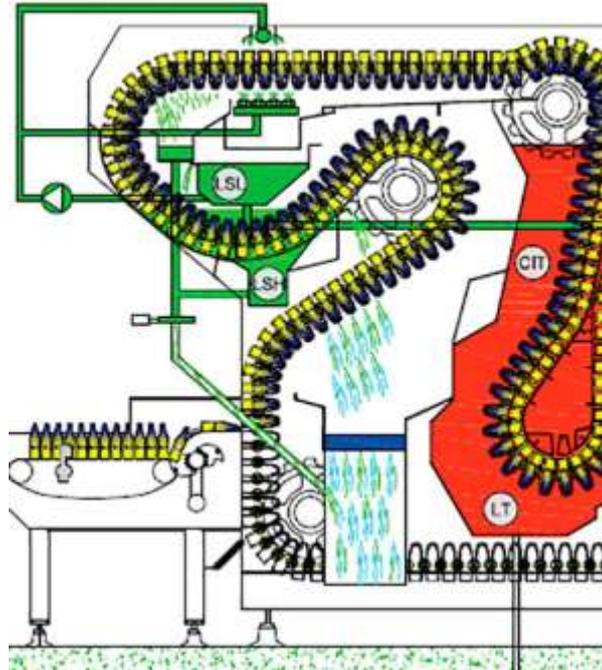
As Lavadoras de Garrafas e Pasteurizadores de Túnel são projetadas para permitir uma redução de 8% a 10% no consumo de vapor de água empregado no aquecimento, apresentando um consumo típico de água da ordem de 0,18 L por garrafa lavada. Elas apresentam as seguintes etapas de limpeza: (i)- pré-lavagem e (ii)- enxágue.

Na **ZONA DE PRÉ-LAVAGEM** é executada a primeira lavagem do vasilhame com o emprego do agente de limpeza preaquecido. Ela pode apresentar até três estágios, sendo um deles por imersão. As máquinas atuais permitem maior regeneração de energia recuperada das zonas de enxágue. Adicionalmente, permite a retirada de cacos de vidro e canudinhos porventura presentes no vasilhame. Estão equipadas com peneira autolimpante e com purga automática de lodo, promovendo menor contaminação da solução cáustica de limpeza e por conseguinte sua maior vida útil. Na **Figura 2.1** é apresentada uma representação simplificada da zona de pré-lavagem.

Na **ZONA DE ENXÁGUE** é realizado o pré-enxague com até cinco estágios, permitindo maior eficiência no enxágue e na retirada de calor dos pentes e garrafas, além de um menor consumo de água para enxágue e resfriamento das garrafas. Tipicamente emprega controle de nível de líquido nos tanques, controle de vazão e pressão da água conforme cada receita, com utilização da água recuperada. A máquina está equipada com painel de manobras com posições

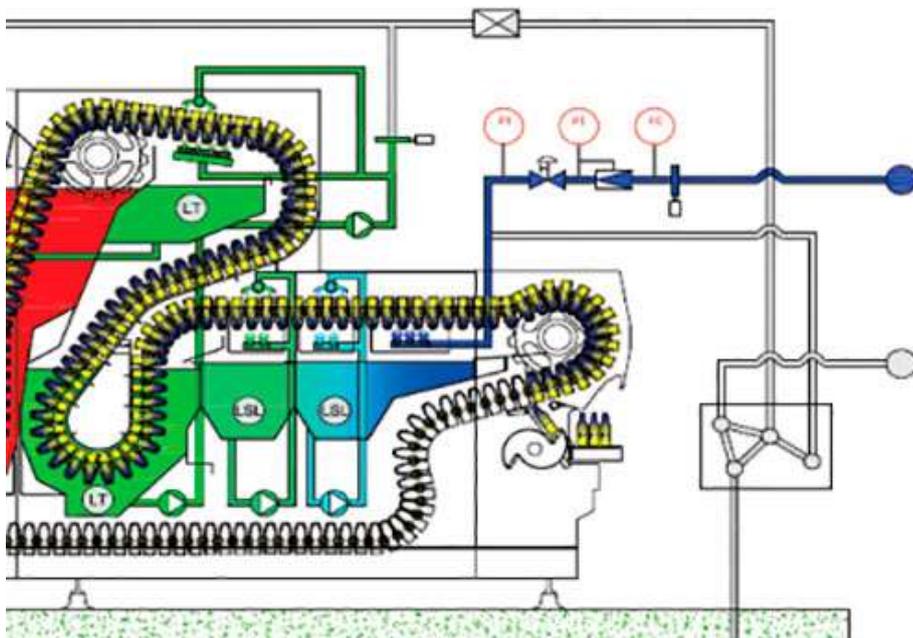
definidas para operação e manutenção. Na **Figura 2.2** é apresentada uma representação simplificada da zona de enxágue.

Figura 2.1: Representação simplificada da zona de pré-lavagem



Fonte: (LIESS, 2021)

Figura 2.2: Representação simplificada da zona de enxágue

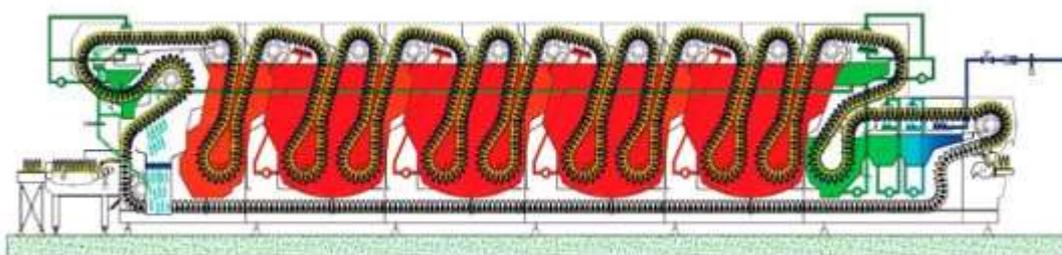


Fonte: (LIESS, 2021)

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, dois fabricantes de Lavadoras de Garrafas e Pasteurizadores de Túnel que atuam no mercado brasileiro foram identificados. São a LIESS Máquinas e Equipamentos Ltda. e a BOLLFILTER Protection Systems, sendo esta última com sede na Alemanha. Importante ressaltar que o foco deste TCC não foi na identificação de empresas fornecedoras do equipamento e sim na avaliação do potencial de economia com a solução cáustica de limpeza.

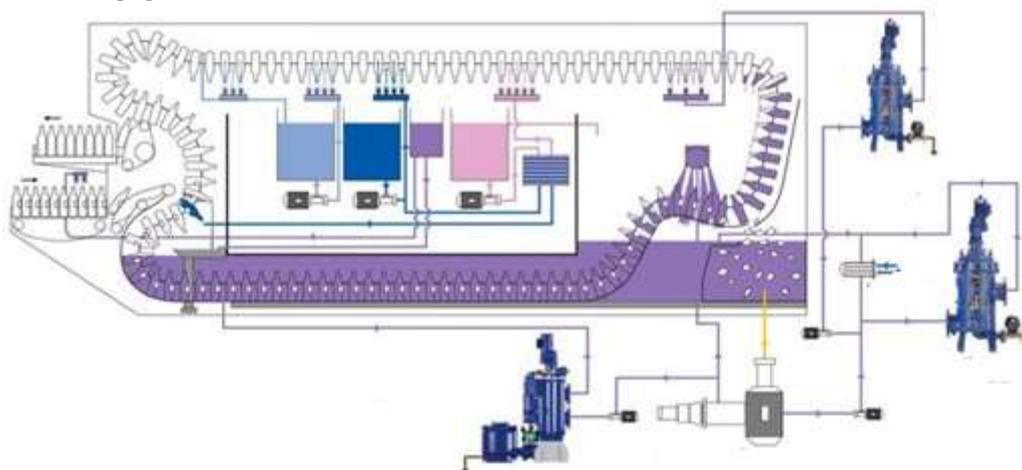
Na **Figura 2.3a** é apresentada uma representação típica de uma Lavadora de Garrafas e Pasteurizadores de Túnel fornecida pela LIESS e na **Figura 2.3b** a representação simplificada do mesmo equipamento fornecido pela BOLLFILTER.

Figura 2.3: Representação simplificada de lavadora de garrafas
(a)



Fonte: **(LIESS, 2021)**

(b)



Fonte: **(BOLLFILTER, 2021)**

3 LAVAGEM COM SOLUÇÃO DETERGENTE

A solução dos tanques de lavagem são soluções de soda cáustica a 2% ou a 2,2%, mantidas rigorosamente em uma destas concentrações (**FREIRE et al., 2000**). A temperatura de operação típica está compreendida entre 58°C e 60°C, mantida com o emprego de trocadores de calor para manter a temperatura o dia todo. Usualmente são empregados dois tanques independentes, minimizando desta maneira o arraste de solução cáustica de um tanque para o outro. A água de enxágue tratada é proveniente da estação de tratamento de água (ETA) e é introduzida no quinto tanque, sendo transferida ao quarto tanque por transbordamento que, pelo mesmo processo, alimenta o terceiro tanque. As garrafas a serem limpas são transportadas por esteira mecanizada, acumulando na entrada da lavadora até que um "copo" do tamanho da garrafa a introduzisse na máquina, de modo a ser lavada (**LOURENÇO, 2021**).

No primeiro tanque, que é o tanque de pré-lavagem, as garrafas recebem jatos de água, armazenada no próprio tanque, que é operado em circuito fechado, sendo em seguida imersas nesse mesmo tanque. O segundo tanque é praticamente idêntico ao primeiro tanque, a menos dos jatos de água, operando somente por imersão. Depois disso, as garrafas são imersas no terceiro tanque, o qual recebe um aditivo químico específico que atua como produto tampão para a soda cáustica. No quarto tanque as garrafas recebem vários jatos de água, internos e externos, em circuito fechado, para retirar a soda cáustica residual e finalizar a lavagem. No quinto tanque as garrafas são imersas em uma água tratada que vem direto da ETA, visando remover por completo a solução cáustica residual e resfriar as garrafas de maneira contínua, de modo a permitir o envase logo em seguida. Importante destacar que o refrigerante é envasado gelado, visando minimizar as perdas do agente de carbonatação e evitar o choque térmico com o vasilhame, que provocaria a quebra dos vasilhames de vidro (**LOURENÇO, 2021**).

A solução detergente à base de soda cáustica pode ser usada por até 3 meses, desde que a máquina lavadora de garrafas não apresente nenhum problema de contaminação ou perda de eficiência do poder detergente da solução de soda cáustica. Os parâmetros tipicamente avaliados para detectar a perda de qualidade da solução detergente, são: *i*)- mudança da cor, *ii*)- produção de odor ou *iii*)- contaminação detectada por meio de análise microbiológica.

A análise microbiológica da solução detergente é feita uma vez por semana. São coletadas diferentes amostras para realizar a referida análise, sendo uma amostra de 100 mL para realizar a análise relacionada à presença de bactérias, uma amostra de 100 mL para realizar a análise relacionada à presença de bolor e levedura, e uma amostra de 1 mL para realizar a análise relacionada à presença de coliformes. Os valores limites considerados para fins de aprovação são os mesmos avaliados para a água fornecida pelo serviço de tratamento de água da região (DMAE) ou retirada de poço artesiano existente na instalação de envase **(LOURENÇO, 2021)**.

O controle de qualidade da solução de soda cáustica é tradicionalmente realizado por meio de: *i*)- avaliação do poder de detergência da solução, realizado por titulação; *ii*)- medição da temperatura da solução na máquina lavadora de garrafas, registrada de hora em hora e *iii*)- tempo de contato das garrafas com a solução, o qual é avaliado uma vez por turno.

O método de medição da temperatura é bastante interessante e consiste em inserir um sensor de temperatura sem fio no interior de uma dada garrafa. O sistema de segurança da máquina lavadora está equipado com detector de presença de corpos estranhos no interior dos vasilhames, o qual – no fim da etapa de lavagem – executa a expulsão da garrafa que contém o sensor de temperatura da linha de produção. O sensor de temperatura é então retirado e tem o histórico de temperatura registrado transferido para um aplicativo de monitoração de temperatura, que gera um gráfico da variação de temperatura por tempo. Com este gráfico é, também, possível ver o tempo que a garrafa

permaneceu no interior de cada tanque. Este procedimento é tipicamente realizado três vezes ao dia, sendo uma em cada turno de operação.

Outro ponto que recebe atenção no que diz respeito ao controle da qualidade do processo de lavagem dos vasilhames é a pressão dos jatos produzidos pelo sistema de limpeza da máquina lavadora, a qual é monitorada por manômetros instalados na tubulação de saída da bomba utilizada para movimentar a solução detergente, sendo o respectivo valor registrado de hora em hora **(MOTTA, 2021)**.

O procedimento de amostragem consiste em o operador ir até a máquina lavadora, abrir as válvulas instaladas para retirada da amostra e deixar as mesmas abertas por aproximadamente 2 minutos, visando homogeneizar a composição da amostra retirada na saída. As amostras são acondicionadas em erlenmeyers e levadas ao laboratório de controle de qualidade para titulação **(LOURENÇO, 2021)**.

A quantidade de solução detergente usada na máquina lavadora estudada, depende da taxa de produção estabelecida pelo fabricante do equipamento. No equipamento em estudo, são utilizados aproximadamente 80.000 L de solução detergente, armazenados em dois tanques, sendo um de 35.000 L e o outro de 40.000 L de capacidade. Tipicamente, são utilizados de 2.000 L a 4.000 L por mês de solução detergente por mês para repor as perdas de solução detergente devido a vazamentos e arraste. A solução detergente utilizada é um produto comercial à base de soda cáustica, denominado divobrite™, produzido e comercializado pela empresa Diversey **(DIVERSEY, 2021)**.

4 GASTOS OPERACIONAIS COM A LAVADORA

Considerando o que foi apresentado na seção 3 desta monografia de TCC é possível avaliar o gasto total com a compra da solução detergente alcalina utilizada para a limpeza dos vasilhames.

O insumo mais caro é o produto diverbrite™, que é largamente usado na máquina lavadora. Assim, a avaliação econômica teve como foco calcular o gasto mensal e o gasto anual com o referido insumo.

Importante recordar que 80.000 L do produto diverbrite™ devem ser substituídos a cada 03 meses por recomendação técnica do fabricante do equipamento.

Na **Tabela 4.1** é apresentado um resumo dos custos envolvidos com a solução detergente considerando dois cenários típicos de perdas mensais de produtos (**LOURENÇO, 2021**).

Tabela 4.1: Custos com solução detergente

Tipo/Custo da perda	Cenário 1	Cenário 2
Volume mensal de sol. detergente	2.000 L/mês	3.000 L/mês
Custo mensal perdas sol. detergente	R\$ 10.000,00	R\$ 15.000,00
Volume da troca solução detergente	80.000 L/trimestre	80.000 L/trimestre
Custo trimestral troca sol. Detergente	R\$ 400.000,00	R\$ 400.000,00
Custo total anualizado	R\$ 1.720.000,00	R\$ 1.780.000,00

É importante destacar que os custos associados com a limpeza dos filtros da máquina lavadora e a recalibração dos bicos pulverizadores não foram considerados nesta análise devido ao fato de apresentarem valores significativamente menores em comparação com os valores da solução detergente. O mesmo raciocínio vale para a água utilizada no processo, que é proveniente de poço artesiano.

5 REDUÇÃO DOS GASTOS COM A LAVADORA

O estudo da redução dos custos envolvidos com a operação da máquina lavadora de garrafas adotou a premissa de minimizar as perdas mensais de solução detergente.

Foram estudados alguns cenários simples de minimização das perdas de solução detergente por arraste e por vazamentos, considerando o valor mínimo mensal com elas previamente estabelecido em 1.800 L. Esta redução no valor das perdas representa um esforço considerável por parte da equipe de manutenção da empresa, que precisa alocar recursos financeiros para diminuir o problema com vazamentos e com arraste de produto.

O valor estabelecido para as perdas que foi citado no parágrafo anterior representa uma redução de aproximadamente 10% em relação ao volume perdido considerando o cenário 1 apresentado na **Tabela 4.1**. Este percentual de redução é considerado exequível em médio prazo e geraria uma economia anual de aproximadamente R\$ 12.000,00 tomando por base o cenário 1. Já para o cenário 2 o percentual de redução nas perdas seria de 40% em relação ao volume de solução detergente com uma economia anual de aproximadamente R\$ 72.000,00.

Se a redução das perdas puder ser aplicada, também, à diminuição do volume de solução trocado trimestralmente, haveria a possibilidade de aumentar a economia com a solução detergente de maneira significativa. Fazendo uma hipótese de que seja efetuada a troca de 60.000 L de solução detergente a cada trimestre – ao invés dos 80.000 L – seria possível economizar anualmente o montante de R\$ 100.000,00. É importante destacar que o controle de qualidade atualmente praticado na empresa continuaria garantindo a assepsia do equipamento, intervindo na substituição completa da solução detergente sempre que for exigido em função das análises microbiológicas.

Se for considerada a redução no volume das perdas mensais de 2.000 L para 1.800 L e a redução no volume de solução detergente trocado trimestralmente de 80.000 L para 60.000 L, a economia anual chegaria a R\$ 400.000,00.

Usando o recurso do Solver da planilha eletrônica Excel™ e fixando o custo total anual mínimo desejado de R\$ 1.308.000,00 – que é o valor obtido com as medidas apresentadas anteriormente nesta seção – é possível alterar simultaneamente o valor das perdas mensais e o valor da troca trimestral da solução detergente, obtendo-se os valores de perdas mensais de 1.968 L e de troca da solução detergente de 59.497 L respectivamente.

Na **Tabela 5.1** é apresentado o cenário de maior economia possível de insumos considerando o emprego da solução detergente alcalina estudada neste TCC.

Tabela 5.1: Custo mínimo com solução detergente

Tipo/Custo da perda	Cenário 3
Volume mensal de sol. detergente	1.800 L/mês
Custo mensal perdas sol. detergente	R\$ 9.000,00
Volume da troca solução detergente	60.000 L/trimestre
Custo trimestral troca sol. Detergente	R\$ 400.000,00
Custo total anualizado	R\$ 1.308.000,00

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudada a possibilidade de economia de insumos químicos utilizados em uma máquina lavadora de garrafas, sendo que o insumo principal considerado foi a solução detergente alcalina da marca diverbrite™.

Os parâmetros mais importantes estudados foram a perda mensal da solução detergente alcalina devido a vazamentos e arraste junto com as garrafas e a renovação completa do conteúdo dos tanques da máquina lavadora.

O cenário mais favorável de economia encontrado foi aquele que considera uma redução de 10% nas perdas mensais – adotando que as perdas atuais se situem na faixa de 2.000 L/mês – e a renovação de aproximadamente 75% do volume total armazenado nos tanques da máquina lavadora, isto é, 60.000 L/trimestre.

REFERÊNCIAS

AFONSO, R.V. **Estudo da sujidade de garrafas de tara retornável e da eficiência de remoção numa lavadora industrial**. 2008. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP), Departamento de Engenharia Química, Universidade do Porto. Porto/PT.

BOLLFILTER. **Bottle washing machines: Filtration of caustic**. 2021. Disponível em: <<https://www.bollfilter.com/applications/care-of-machining-cleaning-systems/bottle-washing-machines-bollfilter/>>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

CARVALHO, L.G. **Dossiê Técnico: Produção de Cerveja**. 2007. Sistema Brasileiro de Resostas Técnicas: Rio de Janeiro/RJ.

DIVERSEY. **Divobrite RPB**. 2021. Disponível em < <https://diversey.com.br/pt-br>>. Acesso em 21 de maio de 2021.

ENGARRAFADOR MODERNO. **Guia do engarrafador**. Disponível em: <<https://engarrafadormoderno.com.br/guia>>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

FREIRE, R.M.M.; NÓBREGA, M.B.M.; SANTOS, R.C.; CARVALHO, J.M.F.C. **Circular Técnica NR. 42**. 2000. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Embrapa: Campina Grande/PB.

LIESS. **Equipamentos para linhas de engarrafamento**. 2021. Disponível em: <<https://www.liess.ind.br/pt/>>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

LOURENÇO, E.F. 2021. **Comunicação pessoal**, Uberlândia, MG, Brasil.

MOTTA, M. **Envasamento de garrafas retornáveis**. Disponível em:<<https://www.cervesia.com.br/>>. Acesso em: 21 de maio de 2021.