



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:
Limitações e possibilidades**



REDUÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA

Bruna Andrade Machado – bruna.a.machado@unesp.br
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP/FEB)

Priscila Roder - pri.roder@hotmail.com
Universidade de São Paulo (USP)

ÁREA: 9. ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE
SUBÁREA: 9.7 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

RESUMO: OS RECURSOS HÍDRICOS DO NOSSO PLANETA ESTÃO DIMINUINDO GRADUALMENTE EM DECORRÊNCIA DE UM CRESCIMENTO ECONÔMICO INSUSTENTÁVEL. A ÁGUA DOCE, VEM SENDO DESPERDIÇADA E SERÁ ESCASSA DENTRO DE ALGUNS ANOS SE AÇÕES PÚBLICAS E PRIVADAS NÃO FOREM IMPLANTADAS. PARA IMPEDIR QUE ESSAS PROJEÇÕES SEJAM ACELERADAS, É ESSENCIAL QUE AS EMPRESAS INCORPOREM PRINCÍPIOS ÉTICOS EM SUAS PRÁTICAS E REAVIVEM OS PRINCÍPIOS DE RESPONSABILIDADE SOCIAL E AMBIENTAL, CRIANDO VALOR POR MEIO DE INICIATIVAS VOLTADAS PARA A DIMINUIÇÃO DO USO DE ÁGUA EM SUAS OPERAÇÕES. MELHORIAS NO PROCESSO PRODUTIVO PODEM SER IMPLEMENTADAS A FIM DE TORNAR AS EMPRESAS MAIS SUSTENTÁVEIS. TENDO COMO BASE ESSA PREMISSA, FOI REALIZADA UMA PESQUISA-AÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR QUÍMICO COM O INTUITO DE REDUZIR DE CONSUMO DE ÁGUA AO LONGO DO PROCESSO PRODUTIVO. ATRAVÉS DA REALIZAÇÃO DE CAMPANHAS PRODUTIVAS (AGRUPAMENTO DE ORDENS) FOI POSSÍVEL REDUZIR O CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA EM DOIS REATORES. OS ESTUDOS INICIAIS SERÃO ESTENDIDOS AOS DEMAIS REATORES E NOVAS MELHORIAS DEVERÃO SER IMPLEMENTADAS PARA TORNAR O PROCESSO DA EMPRESA AINDA MAIS SUSTENTÁVEL.

PALAVRAS-CHAVES: SUSTENTABILIDADE; ODS; CONSUMO DE ÁGUA; PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS; PRODUÇÃO EM CAMPANHA.

1. INTRODUÇÃO

A indústria química se concentra na obtenção e transformação de materiais e compostos, através de procedimentos de natureza química. Inclui tanto a obtenção de matéria-prima para alimentar outras indústrias (químicas ou não), quanto o processamento de componentes químicos para a obtenção de determinados compostos. Trata-se, portanto, de uma indústria que pode ser encontrada tanto no primeiro quanto no segundo setor da cadeia produtiva (WONGTSCHOWSKI, 2009).

Os materiais advindos do primeiro setor podem ser destinados à indústria química de base (a qual produz insumos para outras indústrias) ou de transformação (que produz elementos para consumo direto).

Empresas químicas multipropósito, ou seja, que realizam diferentes tipos de processos não contínuos, apresentam muita complexidade, pois, em geral, na mesma planta realizam processos de: polimerização, esterificação, destilações, misturas a frio e a quente, dentre outros. Tais processos consomem muita água nas trocas de programação de produção, e, por comprometerem tal recurso natural, necessitam ser aperfeiçoados.

Dentro dos atuais níveis de consumo, desperdícios não são mais toleráveis pelo nosso planeta, o que fez com que em 2016, a ONU propusesse aos líderes mundiais 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para que, coletivamente, a humanidade pudesse dissociar o crescimento econômico da pobreza, da desigualdade e das mudanças climáticas (ONU, 2024).

Os recursos hídricos do planeta estão se esgotando gradativamente, o consumo irresponsável e sem fundamentação sustentável no desenvolvimento econômico é um fator relevante no processo de redução da água. Conforme Martins (2003), “até 2025, a água potável que hoje é desperdiçada fará falta para mais da metade da população do planeta”.

No sentido de evitar que sejam aceleradas essas previsões, as empresas precisam adotar o sentido da ética nas organizações e revitalizar os conceitos de responsabilidade social e ambiental, gerando valor em ações que visam a redução de água em seus processos.

Dentro do contexto de uma indústria química localizada em Nova Odessa - SP, identificou-se a existência de um grande consumo de água durante o processo de limpeza dos tanques, reatores e equipamentos.

A partir do compromisso com a sustentabilidade e visando eliminar a utilização descontrolada de água em sua unidade fabril, apresenta-se o problema desta pesquisa: Como

reduzir o consumo de água no processo de higienização dos processos utilizados pela empresa?

Assim, o objetivo deste trabalho é reduzir o consumo de água a partir da otimização dos processos de higienização dos equipamentos.

São objetivos específicos:

- Estabelecer melhorias que padronizem os processos
- Alcançar a redução do consumo de água e de eliminação de resíduos
- Reduzir os custos operacionais através dessas melhorias

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para que o trabalho fosse desenvolvido, foi realizada pesquisa relacionada aos tipos de processos químicos aplicados pela empresa, bem como a sua relação com a sustentabilidade.

2.1. Processos químicos

A indústria de transformação química se vale de diferentes processos, tais como:

- **Reações do tipo esterificação e carboximetilação:** diz respeito à produção de ésteres e caboximetilesteres a partir de ácidos carboxílicos, anidridos de ácido carboxílico ou cloreto de acila com álcoois ou fenóis. Tais reações são comumente catalisadas por ácidos ou bases fortes e se tem como subproduto a água e solventes empregados no processo produtivo (NOVAIS, 2024).
- **Reações do tipo polimerização:** os polímeros são obtidos através de reações químicas chamadas Reações de Polimerização. A palavra “Polimerização” significa Poli: muitas e Meros: partes, ou seja, é união de vários “meros” que ao final da reação, formam uma cadeia longa chamada polímero, pode ser ainda definida como um conjunto de reações através das quais monômeros reagem entre si, formando macromoléculas poliméricas (DIAS, 2024).
- **Processos de mistura simples:** neste tipo de processo, não ocorre transformação química dos componentes, é realizada a mistura dos componentes, seja a frio, ou com aquecimento. Não há geração de subproduto tais como água ou solventes.

Esses processos são realizados em reatores, os quais podem ser compartilhados, sendo necessária a higienização do reator a cada troca de produto. O procedimento de limpeza dos

reatores pode ocorrer com o uso de água e/ou solventes. O Quadro 1 mostra as particularidades de cada processo.

QUADRO 1 – Particularidades e tipo de limpeza de casa processo

Tipologia	Particularidade	Tipo de limpeza do maquinário para setup
1 - Esterificação / Carboximetilação	Não é solúvel em água e gera subprodutos	Processo com fervura, com 2% de soda cáustica
2 – Polimerização	Solúvel em água, mas adere nas paredes do equipamento (forma filme e queima nas paredes)	Processo com fervura, com 2% de soda cáustica
3 – Mistura Simples	Solúvel em água, possui muitas tipologias químicas	Lavagem a frio, com <i>spray ball</i> (alta pressão)

Fonte: Autores, 2024

A limpeza consome tempo, recursos hídricos e químicos além de resultar na eliminação de resíduos/efluentes, os quais necessitam ser tratados para que possam ser devidamente descartados, o que vai de encontro com as necessidades de uma sociedade que visa o desenvolvimento sustentável.

2.2. Desenvolvimento sustentável

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu em 1987, no Relatório de Brundtland, desenvolvido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente. O relatório traz a definição de desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades (WCED, 1987).

Então, para garantir a sobrevivência da raça humana, há a necessidade de estabelecer processos produtivos adequados que respeitem as limitações da própria natureza. Tendo isso em mente, a ONU estabeleceu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 1).

Para que o sexto, o décimo primeiro, o décimo segundo e o décimo quarto objetivos sejam alcançado é importante que as empresas se conscientizem do seu papel e busquem formas de reduzir o consumo da água.

FIGURA 1 – Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2024)

3. METODOLOGIA

Esse estudo se realiza a partir de uma pesquisa-ação. A pesquisa-ação é uma metodologia difundida e utilizada ao redor do mundo, em diferentes áreas de atuação. Suas estratégias de ação, combinadas com os objetivos da pesquisa, na área escolhida, podem trazer resultados particulares muito importantes (THIOLLENT, 2009).

Sob esta metodologia, as atividades desenvolvidas no presente trabalho, permitem identificar o consumo de água ao longo do processo de higienização dos equipamentos, realizando análises, implementando ações de melhoria e apresentando cálculos comparativos.

Para obter os resultados, foram adotados os seguintes passos:

- (1) Identificação dos itens produzidos ao longo de 2022 afim de levantar os principais processos/reações utilizados pela empresa;
- (2) Quantificação dos tempos de higienização de cada processo: através de dados extraídos de fichas de controle usadas na produção da empresa, que foram preenchidos pelos operadores durante os processos.
- (3) Identificação do histórico de produção e consumo de água do ano de 2022: por meio de extração de relatórios do sistema ERP usado na empresa.
- (4) Elaboração de procedimento para higienização dos reatores, afim de padronizar a execução de tal atividade;

- (5) Alterações de programação de produção dos reatores no ano de 2023: por meio de parametrizações do sistema ERP da empresa, e treinamento das pessoas envolvidas com o planejamento da programação de produção.
- (6) Comparação entre histórico de consumo de água nos anos de 2022 e 2023: a partir da extração de dados disponíveis no sistema ERP da empresa, com o intuito de analisar os resultados obtidos.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

A partir de históricos de produção de 2022, os quais mostravam que alguns reatores possuíam um elevado número de trocas de produção, optou-se por realizar uma pesquisa aprofundada junto a dois reatores da empresa (Reator 6 e Reator 7).

Identificou-se que esses reatores trabalhavam com muitas trocas de tipologia química o que gerava grande necessidade de higienização. As Tabelas 1 e 2 apresentam dados sobre os reatores ao longo dos dois semestres de 2022.

TABELA 1 – Dados de produção e consumo de água no ano de 2022 do Reator 6

Reator 6	<i>Janeiro</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>	<i>Abril</i>	<i>Maio</i>	<i>Junho</i>
Quantidade produzida	65.097	64.783	55.302	89.702	75.640	53.393
Quantidade de lotes	9	15	16	17	18	11
Quantidade de trocas	7	8	15	7	12	11
Água consumida	22.280	30.673	43.210	29.990	34.930	19.710
Taxa de consumo	0,344	0,473	0,781	0,333	0,462	0,369
Reator 6	<i>Julho</i>	<i>Agosto</i>	<i>Setembro</i>	<i>Outubro</i>	<i>Novembro</i>	<i>Dezembro</i>
Quantidade produzida	74.613	67.392	63.688	79.375	43.816	14.505
Quantidade de lotes	11	13	12	22	8	6
Quantidade de trocas	6	8	7	8	6	6
Água consumida	34.990	36.340	17.215	25.400	25.810	15.500
Taxa de consumo	0,469	0,539	0,270	0,320	0,589	1,069

Legenda:

Quantidade de lotes: número de lotes produzidos no reator pesquisado.

Quantidade de trocas: número de vezes que houve setup de limpeza para troca de tipologia química fabricada.

Água consumida: quantidade total, em litros, consumido nos setups de troca de tipologia química produzida.

Taxa de consumo: volume de água por kg de produto fabricado

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

TABELA 2 – Dados de produção e consumo de água no ano de 2022 do Reator 7

Reator 7	<i>Janeiro</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>	<i>Abril</i>	<i>Maio</i>	<i>Junho</i>
Quantidade produzida	57.071	69.520	74.259	47.204	15.797	83.451
Quantidade de lotes	9	15	16	17	18	11
Quantidade de trocas	5	10	10	6	10	4
Água consumida	17.280	44.755	43.470	38.315	49.090	9.620
Taxa de consumo	0,303	0,644	0,585	0,812	3,108	0,115
Reator 7	<i>Julho</i>	<i>Agosto</i>	<i>Setembro</i>	<i>Outubro</i>	<i>Novembro</i>	<i>Dezembro</i>
Quantidade produzida	72.987	74.505	87.165	13.799	35.591	50.685
Quantidade de lotes	11	13	12	22	8	6
Quantidade de trocas	2	2	5	1	2	4
Água consumida	15.130	14.850	28.840	10.440	7.000	19.770
Taxa de consumo	0,207	0,199	0,331	0,757	0,197	0,390

Legenda:

Quantidade de lotes: número de lotes produzidos no reator pesquisado.

Quantidade de trocas: número de vezes que houve setup de limpeza para troca de tipologia química fabricada.

Água consumida: quantidade total, em litros, consumido nos setups de troca de tipologia química produzida.

Taxa de consumo: volume de água por kg de produto fabricado

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Por se tratar de uma planta multipropósito, observa-se que não há regularidade de número de lotes produzidos a cada mês, o atendimento a demandas de vendas (produção sob pedido) flutua ao longo do ano. Outro fator observado no ano de 2022, é que a ausência de procedimentos escritos para os diversos tipos de limpeza executados gerava perda de tempo para a definição do melhor tipo de limpeza a executar, pois os operadores precisavam consultar os superiores para definir no momento do setup qual deveria ser o tipo de limpeza a adotar.

Com a aplicação de conceitos de planejamento e programação de produção, percebeu-se a oportunidade de agrupar alguns pedidos do mesmo produto em lotes sequenciais de forma a reduzir a necessidade de higienização dos equipamentos. Aplicou-se, então, a produção por campanhas e a limpeza passou a ser monitorada para gerar a padronização de procedimentos de limpeza. Em novembro de 2022, foram publicados os procedimentos de limpeza. No mesmo período alterou-se o sistema ERP da empresa (SAP) para que a programação considerasse o histórico de três meses de vendas e o *forecast* passou a ser preenchido pela área comercial, dando todo o suporte na tomada de decisões para a programação da produção ser por campanhas contínuas.

As ações implantadas neste sentido, foram aplicadas diretamente no setor de planejamento da empresa, a partir do mês de março de 2023 e foi possível verificar os

resultados a partir de julho de 2023. As tabelas 3 e 4 apresentam dados sobre os reatores ao longo dos dois semestres de 2022.

TABELA 3 – Dados de produção e consumo de água no ano de 2023 do Reator 6

Reator 6	<i>Janeiro</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>	<i>Abril</i>	<i>Maio</i>	<i>Junho</i>
Quantidade produzida	42.332	59.815	55.302	45.587	40.607	64.950
Quantidade de lotes	14	20	15	14	22	10
Quantidade de trocas	7	7	8	8	12	4
Água consumida	18.080	28.910	34.240	33.480	27.167	12,920
Taxa de consumo	0,427	0,483	0,751	0,824	0,418	0,388
Reator 6	<i>Julho</i>	<i>Agosto</i>	<i>Setembro</i>	<i>Outubro</i>	<i>Novembro</i>	<i>Dezembro</i>
Quantidade produzida	39.267	52.290	50.775	89.178	2.425	24.870
Quantidade de lotes	13	19	18	31	1	8
Quantidade de trocas	7	6	6	7	0	4
Água consumida	16.500	15.500	11.640	13.400	0	10.070
Taxa de consumo	0,420	0,296	0,229	0,150	0,000	0,405

Legenda:

Quantidade de lotes: número de lotes produzidos no reator pesquisado.

Quantidade de trocas: número de vezes que houve setup de limpeza para troca de tipologia química fabricada.

Água consumida: quantidade total, em litros, consumido nos setups de troca de tipologia química produzida.

Taxa de consumo: volume de água por kg de produto fabricado

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

TABELA 4 – Dados de produção e consumo de água no ano de 2023 do Reator 7

Reator 7	<i>Janeiro</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>	<i>Abril</i>	<i>Maio</i>	<i>Junho</i>
Quantidade produzida	133.638	127.911	130.293	151.231	129.252	111.295
Quantidade de lotes	7	10	12	7	2	12
Quantidade de trocas	5	4	3	2	2	2
Água consumida	26.070	9.400	14.830	10.730	1.500	15.150
Taxa de consumo	0,195	0,073	0,114	0,071	0,012	0,136
Reator 7	<i>Julho</i>	<i>Agosto</i>	<i>Setembro</i>	<i>Outubro</i>	<i>Novembro</i>	<i>Dezembro</i>
Quantidade produzida	131.682	138.140	72.274	113.217	103.495	80.854
Quantidade de lotes	11	11	14	3	5	7
Quantidade de trocas	3	5	4	3	4	1
Água consumida	9.470	13.070	22.470	3.580	15.000	7.440
Taxa de consumo	0,072	0,095	0,311	0,032	0,145	0,092

Legenda:

Quantidade de lotes: número de lotes produzidos no reator pesquisado.

Quantidade de trocas: número de vezes que houve setup de limpeza para troca de tipologia química fabricada.

Água consumida: quantidade total, em litros, consumido nos setups de troca de tipologia química produzida.

Taxa de consumo: volume de água por kg de produto fabricado

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

A partir dessas informações foi possível comparar os totais anuais de produção e consumo de água e assim verificar os ganhos obtidos (Tabelas 5 e 6).

TABELA 5 – Comparações entre produção e consumo de água no Reator 6

Reator 6	2022	2023	Resultado	Porcentagem
Total produzido	747.306	545.400	(201.906)	(27%)
Total de água consumida	336.058	221.907	(114.151)	(34%)
Taxa de consumo (água consumida/produção)	0,44969	0,40687	(0,04282)	(9,5%)

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

A Tabela 5 mostra que no reator 6, houve uma redução de 27% da produção entre os anos 2022 e 2023, mas, o consumo de água reduziu ainda mais, 34%. No geral, percebe-se uma redução real de 9,5% na taxa de consumo de água com relação aos produzido.

TABELA 6 – Comparações entre produção e consumo de água no Reator 6

Reator 7	2022	2023	Resultado	Porcentagem
Total produzido	682.034	1.423.282	741.248	108%
Total de água consumida	298.560	148.710	(149.850)	(50,2%)
Taxa de consumo (água consumida/produção)	0,43774	0,10448	(0,33326)	(76,1%)

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

A Tabela 6, por outro lado, apresenta que, no reator 7, houve um aumento da produção em 108%, combinado com uma redução de mais de 50% do consumo de água, em outras palavras, dobrou-se a produção consumindo a metade do volume de água. Houve, portanto, uma redução real de 76% da taxa de consumo de água.

Comparando-se os dados mensais, observam-se resultados positivos a partir de março de 2023, com uma variação abril, mês no qual o responsável pela programação da produção esteve de férias e seu substituto não tinha conhecimento profundo das mudanças. Isso foi identificado e imediatamente corrigido pela empresa através de ações de treinamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que uma gestão seja eficaz, é necessário conhecer todos os processos internos e padronizá-los, através de procedimentos escritos que descrevam os passos, atividades e responsáveis. A implantação de procedimentos por escrito melhorou muito os fluxos internos da empresa. A padronização de processos é importante ainda para garantir um fluxo eficiente

para cada tarefa, ter um caminho bem definido para a execução de atividades e proporcionar mais previsibilidade sobre o resultado esperado.

Através da implementação de procedimentos de higienização e da programação da produção por campanhas (sequenciamento de lotes com a mesma tipologia química, sem a higienização dos equipamentos entre eles), pode-se reduzir a taxa de consumo de água em até 76% (Reator 7).

Em decorrência dos resultados obtidos a empresa replicará o trabalho para todos os demais reatores o que aumentará o impacto na redução do consumo de água, auxiliando para o desenvolvimento de uma atividade e sociedade mais sustentável

REFERÊNCIAS

DIAS, Diogo Lopes. **O que é polimerização?** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-polimerizacao.htm>. Acesso em 16 jun 2024.

MARTINS, A. **O planeta está sedento**. Folha Universal, 16, 2A. 2003.

NOVAIS, Stéfano Araújo. **Esterificação**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/reacoes-esterificacao.htm>. Acesso em 16 jun 2024.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 24 fev. 2024.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 16ª Edição. Cortez: São Paulo. 2009.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção**. Bookman Editora. 1996.

WCED – The World Commission on Environment and Development. **Our common future**. Oxford; Oxford University Press. 1987.

WOMACK, J., JONES, T. E ROOS, D. T. **The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production**. New York, EUA: Rawson Associates. 1990.

WOMACK, J. P. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Gulf Professional Publishing. 2004.

WONGTSCHOWSKI, P. **Indústria química: riscos e oportunidades**. Editora Blucher. 1999.