

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**DIAGNÓSTICO E MELHORIA NUM FORNO DE SECAGEM DE SAL UTILIZANDO GLP: UM
ESTUDO DE CASO**

AUTORES:

Marcos Antônio dos Santos, Jorge Recarte Henriquez Guerrero

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Pernambuco,

Resumo

As salinas do litoral do Rio Grande do Norte respondem por 97% da produção e exportação nacional de sal marinho, influenciando diretamente as economias locais e regionais por meio da geração de empregos e pagamento de impostos. Cerca de 12 mil toneladas de GLP são utilizadas na secagem de sal na região por ano, segundo dados da ANP, Agência Nacional de Petróleo, utilizando fornos de leito fluidizado na grande maioria das plantas refinadoras. À luz desta importante atividade econômica nesta região, este trabalho apresenta um diagnóstico energético do uso do GLP num forno de leito fluidizado no processo de secagem do sal refinado. Primeiramente foi elaborada uma análise energética e, posteriormente, sugeridas ações a serem implantadas para redução de consumo de gás liquefeito de petróleo, GLP. Pelos levantamentos realizados, as intervenções sugeridas visam redução nas perdas de energia, com o aumento de rendimento global da planta refinadora, almejando reduções de até 30%. Na esteira da redução de perdas energéticas, temos o benefício de redução de emissão de gases de efeito estufa. Usando o GLP, cada 1MWh de energia economizada reduziria cerca de 7,3 kg de CO₂ emitidos [1]. Este trabalho contribui para a construção de um modelo de análise energética que pode ser aplicado a qualquer planta da indústria de extração e beneficiamento de sal, especificamente aquelas em funcionamento no Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: Palavras-chave: eficiência energética, rendimento global de secagem, refinaria de sal.

Abstract

The salt flats along the coast of Rio Grande do Norte account for 97% of the national production and export of sea salt, directly influencing local and regional economies through job creation and tax payments. Approximately 12,000 tons of liquefied petroleum gas (LPG) are used annually for salt drying in the region, primarily in fluidized bed furnaces at most refining plants. In light of this significant economic activity in the region, this study presents an energy diagnosis of LPG use in a fluidized bed furnace during the refined salt drying process. First, an energy analysis was conducted, followed by proposed actions to reduce LPG consumption. These interventions aim to increase the overall yield of the refining plant, targeting reductions of up to 30% in energy consumption. Beyond the economic benefits, energy savings also contribute to a reduction in greenhouse gas emissions. Using LPG, every 1 MWh of saved energy would result in approximately 7.3 kg of CO₂ emissions reduction [1]. This work contributes to the development of an energy analysis model that can be applied to any salt extraction and refining plant, specifically those operating in Rio Grande do Norte.

Keywords: energy efficiency, overall yield of drying, salt refinery.

Introdução

1. Salinas do Rio Grande do Norte

As salinas do litoral do Rio Grande do Norte respondem por 97% da produção nacional e exportação de sal marinho, influenciando diretamente as economias locais e regionais por meio da geração de empregos e pagamento de impostos [2]. Cerca de 5 mil toneladas de GLP são utilizadas na secagem de sal na região por ano, sendo um importante mercado para o setor de distribuição de GLP [3]. A eficiência energética no uso do GLP tornou-se um pleito das empresas salineiras devido este ser um insumo importante da produção de sal refinado, impactando diretamente no seu custo final, conforme entrevista realizadas pelo autor em plantas refinadoras em 2019 [4]. Além disto, em recente pesquisa econômica, o conglomerado de salineiras do Rio Grande do Norte apresentou-se com baixa tecnologia, em termos de aplicações de inovação tecnológica. [5]. Este trabalho de estudo de caso foi realizado entre 2019 e 2020 e pode ser aproveitado por todas as plantas refinadoras de sal marinho na zona salineira do Rio Grande do Norte.

2. Secagem

Define-se como secagem o processo de remoção de uma substância volátil de outra, e para isso pode-se utilizar energia térmica, e quanto utilizado, caracterizam-se por serem energo-intensivo especialmente quando o produto a ser removido é a água [6]. Situação que demanda atenção para uso eficaz da energia, em especial quando aplicado a produtos com baixo valor agregado, como nesse contexto, o Sal Marinho. Dois processos ocorrem simultaneamente durante a secagem: a transferência de energia, na qual a fonte quente cede calor para o produto de modo a evaporar a umidade nele contida; o transporte de massa, na qual o vapor retirado do produto é conduzido para fora do sistema. Nesse contexto o transporte de massa estará a cargo do ar. Esse atua como um elemento absorvedor e transportador do vapor de água. A capacidade de absorção de água pelo ar está relacionada com a pressão de vapor da água no estado termodinâmico que se encontram. É uma relação direta com a temperatura. Em um produto higroscópico, a secagem ocorre em etapas, primeiro a água livre da superfície é removida, isso gera uma diferença de concentração que estimula um fluxo de água do interior do produto para a superfície, por fim, quando o calor atinge as regiões mais internas, um fluxo de vapor se inicia em direção a superfície. Durante o aquecimento ligações físico-químicas fracas são desfeitas liberando a água [8].

As refinarias de sal do Rio Grande do Norte utilizam secadores de leito fluidizado vibrado de fluxo contínuo, utilizando como combustível o GLP ou gás natural [4].

Na Figura 1, é observado uma visão esquemática do processo de forno de leito fluidizado vibrado de dois estágios, um estágio secador e outro resfriador.

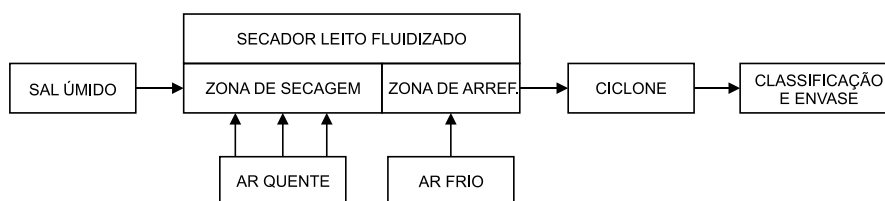
Após a entrada do produto à esquerda, o sal úmido está sobre um leito perfurado ao longo do secador. A velocidade do ar quente soprado abaixo do leito perfurado e a baixa altura da camada de sal criam um fluxo contínuo como em um tubo cilíndrico. Este efeito é chamado de *plug flow*.

A umidade superficial do sal começa a ser evaporada e, ao longo do leito, o fluxo de gases quentes e o produto, ambos, atingem a temperatura de saturação adiabática, ou seja, a temperatura que o gás atinge ao absorver o vapor d'água.

O calor sensível do gás é convertido em calor latente de vaporização.

O sal é admitido num fluxo contínuo e cede umidade ao ar quente soprado no *plenum* do primeiro estágio do forno. No segundo estágio o sal, já seco é resfriado e segue para classificação e embalagem.

Figura 1 – Esquemático do secador de leito fluidizado [4]



3. Eficiência e meio ambiente na secagem

Eficientizar a energia média utilizada para secagem é um fator de redução dos custos sobre o produto final, além da redução de emissão de gases de efeito estufa na produção de energia, os quais deveriam ser os mínimos possíveis para este processo de produção.

Numa combustão com fornecimento de excesso de ar de 10% acima da condição dita estequiométrica e temperatura efetiva de chama de 1.400°C, a emissão estimada de CO₂ é de 2,03 kg por cada giga joules ou 7,3 kg de CO₂ por MWh de energia térmica fornecida pelo GLP [1], [6].

Metodologia

- I) Medição e coleta de dados das variáveis de processo de forma amostral em visitas a plantas de refinamento de sal no Rio Grande do Norte; (velocidade, pressão, temperatura, umidade de ar, vazão, pressão, temperatura do GLP, granulometria, vazão, temperatura, umidade do sal processado.
- II) Balanços de massa e energia com os dados coletados, são realizados balanços de massa e energia, conforme modelos termodinâmicos baseados nas leis de conservação de massa, 1ª Lei da

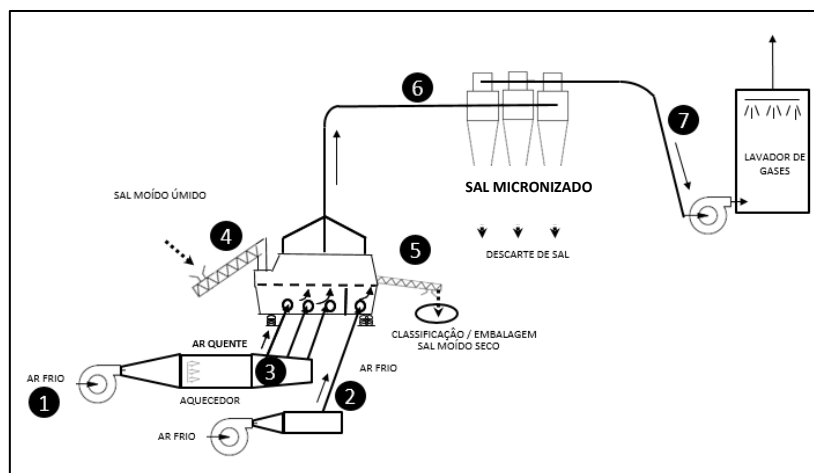
Termodinâmica. Para avaliação do ar foi utilizado o modelo do ar úmido proposto pela ASHRAE, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2017 [8].

- III) Instrumentos e softwares: anemômetro MDA-11, fabricante: Minipa; tubo de pitot e micro manômetro HD-350, fabricante: *Extech Instruments*; termômetro infravermelho RT 3320, fabricante: Minipa; Termovisor 872, fabricante: Testo; Chemist 404S, fabricante: Ecil/Seltron; Vazão de GLP: medidor de vazão GVT 1", fabricante Contech; Termo-higrômetro digital portátil, modelo HDC1080, fabricado pela *Texas Instruments*; Softwares utilizados foram aqueles fornecidos pelos fabricantes dos instrumentos e planilhas eletrônicas comerciais.

Resultados e Discussão

Para apresentação dos resultados iniciamos pela Figura 2 onde está ilustrado um secador de leito fluidizado vibrado com todos os pontos relevantes de medição para cálculo e análise do processo de secagem de sal neste forno. No ponto 1 o volume de ar de processo é tomado do exterior por um ventilador, em seguida é aquecido e finalmente é conduzido para o plenum do leito fluidizado (Ponto 3). O Ar tomado no Ponto 1 também serve como ar de combustão. O Ponto 2 é ar frio para a parte resfriadora do leito fluidizado, introduzido por um outro ventilador. Este ar frio é necessário para entregar o sal numa temperatura adequada para embalagem, aproximadamente 40 °C. Os gases quentes que saem da caixa de combustão, ponto 3, são entregues diretamente ao secador, que troca calor com o sal que entra úmido no ponto 4 e sai seco no ponto 5. No Ponto 6 temos a saída do ar introduzido nos Pontos 1 e 2 adicionado de finos de sal, que são separados em ciclones. No Ponto 7 temos a saída final dos gases ainda com finíssimas partículas de sal com granulometria menor que 0,106 mm para um lavador, e depois disso entrega-se ao ambiente o ar limpo novamente.

Figura 2 – Pontos principais de medição do processo de secagem de sal no leito fluidizado [4]



A seguir, são demonstrados os resultados de todos os pontos estudados neste processo de secagem, realizado no forno de leito fluidizado, e demais observações pertinentes.

Pontos 1 e 3

Estes pontos fazem o trecho do processo responsável pela geração da energia térmica do secador leito fluidizado através da combustão em ar do GLP. O ar combustão juntamente com o ar de processo é admitido no Ponto 1.

Vazão de combustível

O GLP foi modelado utilizando suas características típicas da região, como um hidrocarboneto equivalente: $C_{3,74}H_{8,5}$ e foi utilizado seu poder calorífico inferior médio típico: $PCI = 11 \text{ Mcal/kg}$ ($\sim 46 \text{ MJ/kg}$). A vazão média apurada de GLP no medidor de vazão foi de $35,17 \text{ kg/h}$. O calor entregue foi de $1.617,8 \text{ MJ}$ e o teor de O_2 médio identificado no ponto 3 foi de $18,46\%$.

Vazão mássica de água e entalpia do ar de admissão

A vazão mássica de água admitida no ar é uma variável relevante em processos de secagem e deve ser identificada. Especial atenção deve ser dada em sistemas com queima direta, onde a água gerada na combustão soma-se a água do ar admitido.

Com os dados da umidade relativa do ar e sua temperatura, pode-se calcular sua umidade absoluta, que somada a água gerada na combustão fecha o balanço de umidade.

Balanço de energia

Para avaliação da energia desse trecho soma-se a entalpia do ar de admissão com o aporte energético gerado pela combustão do GLP. Para avaliação do ar foi utilizado o modelo do ar úmido proposto pela ASHRAE, 2017 [8].

Na Tabela 1 estão condensados dados coletados e resultados no Ponto 1, a vazão tomada no medidor de vazão, além da energia entregue no Ponto 3.

Tabela 1 – Dados coletados no Ponto 1 e resultados do Ponto 3

	$\dot{m}_{ar,fg}$ [kg/h]	ω [kg ag/kg ar]	$\dot{m}_{\acute{a}gua}$ [kg/h]	$\dot{m}_{GLP}$ [kg/h]	UR [%]	h [kJ/kg]	t [°C]	O_2 [%]	Q_c [MJ/h]
Ponto 1	4.695	0,02294	107,7	35,17	66	94,4	35,3	20,9	1.617,8
Ponto 3	4.730	0,03468	164,0			439,8	329	18,5	

Emissões

Para efeitos de referência em relação às emissões, são apresentados na Tabela 2 a seguir o comparativo entre as emissões medidas e números referências do CONAMA, Resolução 436/2011 [9].

Tabela 2 – Comparativo de emissões com referência à resolução 436/2011 do CONAMA [9]

COMPARATIVO ENTRE EMISSÕES MEDIDAS E VALORES DE REFERÊNCIA						
	CO ₂	CO	O ₂	Faixa de excesso de ar	Combustível não queimado	
CONAMA 436/2011	N/A	<64 ppm	<80 mg/Nm ³	3%	N/A	N/A
Ponto 3 (Temperatura 329°C)	1,3%	173 ppm	216,2 mg/Nm ³	18,5%	684,6%	0,01%
Ponto 3 (Temperatura 329°C, corrigido a 3% de O ₂)	-	2.392 ppm	2.990 mg/Nm ³	3%	-	-

O excesso de oxigênio é compatível com sistemas de secagem e a concentração de CO está acima do preconizado que é de 80 mg/Nm³ para gases. Essa quantidade de CO pode estar ocorrendo devido ao aumento do fluxo de ar do processo sem a alteração do *flame profile* do queimador, o que tende a esfriar a chama antes que todo o CO seja oxidado à CO₂ [4], [6]. Esse valor, ainda que indique uma quantidade superior à estabelecida pela resolução, não indica a quantidade de CO emitida ao final do processo, já que esse percentual pode ser abatido ao longo da secagem e pelo lavador de gases.

Ponto 2

O ponto 2, foi medido no duto de entrada de ar de arrefecimento do sal. A vazão volumétrica foi convertida em vazão mássica através da identificação do volume específico do ar úmido no estado termodinâmico do escoamento. Na Tabela 3 resume-se os resultados.

Tabela 3 – Resumo de resultados Ponto 2

	$\dot{m}_{ar}$ [kg/h]	ω [kg ag/kg ar]	$\dot{m}_{\acute{a}gua}$ [kg/h]	UR [%]	h [kJ/kg]	t [°C]
Ponto 2	4.615	0,02865	132,2	66	97,5	38,3

Pontos 4 e 5

Após os cálculos nos pontos 1, 2 e 3, são determinadas todas as características do sal úmido no ponto 4 e do sal seco no ponto 5. O sal é admitido num fluxo contínuo e cede umidade ao ar quente soprado

no plenum do primeiro estágio do forno e o sal, já seco é resfriado e segue para classificação e embalagem. Os resultados estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo resultados no Pontos 4 e 5.

	$\dot{m}_{sal}$ [kg/h]	ω [kg ag/kg sal]	$\dot{m}_{água}$ [kg/h]	h_{sal} [kJ/kg]	$h_{água,vapor}$ [kJ/kg]	t [°C]
Ponto 4	7.052	0,03160	222,85	33,9	163,2	36
Ponto 5	6.047	0,0004	2,59	69,8	2.653,6	82

Pontos 6 e 7

Nos pontos 6 e 7, há um fluxo constante e foram considerados praticamente idênticos, exceto pela perda de temperatura do ponto 7 em relação ao ponto 6. Então foram realizadas medições de velocidades do escoamento de ar no ponto 7, obtidos através de um Tubo de Pitot e Micromanômetro, conforme realizado anteriormente no Ponto 2. Os valores de vazão coletados no ponto 7 foram extrapolados para o ponto 6, exceto temperatura do ar, de 80,7°C e 65,5°C no ponto 7.

Tabela 5 – Resumo resultados nos Pontos 6 e 7

	$\dot{m}_{ar}$ [kg/h]	ω [kg ag/kg sal]	$\dot{m}_{água}$ [kg/h]	h_{ar} [kJ/kg]	t [°C]
Ponto 6	9.128	0,04465	407,6	199,6	81
Ponto 7	9.588	0,04251	407,6	177,4	65

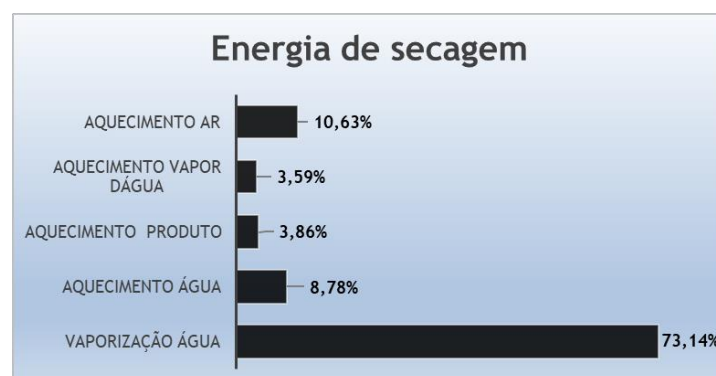
Energia térmica de secagem

A energia necessária para o sal é o produto da taxa de massa do material, seu aumento de temperatura e o valor de calor específico do material.

Para a evaporação da água contida no material, a energia necessária é o produto da taxa de massa do material e do calor latente de vaporização.

Além destas energias temos aquelas inerentes ao aumento de temperatura do ar e do vapor d'água presente no ar. A partir dos dados coletados, a energia total máxima entregue pelo GLP foi calculada em **1,62 GJ/h** ou **0,023 kWh/kg do sal úmido**. **A energia perdida total está calculada em 35% do total da energia entregue**. Os percentuais aplicados a cada item calculado são apresentados na Figura 3. A maior parte da energia de secagem entregue (81,92%) é para o aquecimento e vaporização da água contida no sal, porém cerca de 15% são utilizados para aquecimento do ar e vapor d'água contido neste ar. Assim, podemos ter noção da energia consumida apenas para esta massa gasosa.

Figura 3 – Distribuição da energia para secagem de sal no leito fluidizado deste estudo de caso [4]



Análise das Perdas de Energia

As fugas de ar foram em 342,2 kg/hg. As fugas de ar, que podem estar localizadas principalmente na descarga de sal seco, Ponto 5, em conexões elásticas de dutos e válvulas (nos ciclones, por exemplo) [1]. Perdas de energia por falta de isolamento são outros pontos notados nas observações realizadas.

As perdas totais de energia foram quantificadas em 63,7 kW, o que significam 2.510 kg por mês de GLP. Outras perdas referentes à operação e funcionamento mecânico do secador, tais como altura e

velocidade do ar no leito não foram contabilizados. Um estudo completo de leito fluidizado para secagem pode ser visto em Van't Land, 1991 [7].

Propostas para intervenção no processo de secagem

1. Combater as fugas de ar quente

Reforçar as vedações de fugas de ar.

Para compensar estas fugas, quantificando, seria necessários 24,13 kg/h de GLP para aquecer o ar de reposição.

Aplicar isolamento térmico nos dutos de condução de gases quentes reduzirá a conta mensal de gás combustível [10]. A determinação da espessura ótima do isolamento exige uma análise das transferências de calor e econômica [10], [11].

Para o costado do forno poderia ser realizada um aproveitamento do calor irradiado para pré-aquecimento de ar de processo, resultando em economia de combustível.

2. Reduzir perdas de processo (alimentação, dampers quebrados)

Um sistema de secagem contínua requer alimentação de produto contínua. Reduzir paradas de alimentação de produto aproveita de maneira adequada o sistema contínuo de secagem. Por exemplo, foram observadas durante as visitas, problemas de travamento de saída de produto dos silos de alimentação.

Foi observado também que os *dampers* de controle de velocidade na admissão de ar aquecido e ar frio, devem ser recuperados. Os *dampers* de controle de velocidade são essenciais para o controle fluidodinâmico do leito fluidizado. Regular a velocidade em leito fluidizado influencia no tempo de residência das partículas [7]. Um controle mais efetivo pode ser conseguido por inversor de frequência controlando a velocidade dos motores de acordo com a alimentação de produto.

3. Perdas por falhas no controle de temperatura e umidade na entrada de material.

A instalação de controle de temperatura na saída dos gases do leito fluidizado no Ponto 6, balanceado com o controle de temperatura na saída dos gases no Ponto 3 seria uma solução para atenuar, por exemplo, o fornecimento de calor em oscilações de vazão de material. O controle de valor máximo adequado aos parâmetros de umidade final do produto é visto como ideal em 65°C [7].

Um resumo dos principais destaques do processo de secagem de sal deste estudo de caso é apresentado na Tabela 7.

Tabela 6 – principais números do processo de secagem no estudo de caso deste trabalho

Item	Valor
Tipo secador	Leito fluidizado
Produção nominal (ton sal / h)	7,05
Produção real média base seca (ton sal / h)	6,05
Perdas de sal (%)	4
Produção real base úmida (ton sal / h)	6,8
Temperatura dos gases chegando ao secador (°C)	330
Potência térmica entregue (kW)	449,2
Potência térmica útil (kW)	292,0
Rendimento térmico (%)	65%
Consumo gás específico médio b. s. (kg GLP/Ton sal)	6,2

Para quantificar as melhorias possíveis busca-se na literatura e o benchmarking de modelos que possam ser utilizados para alcançar melhores números. Respectivamente, nas Tabelas 8 e 9 podemos ver o trabalho de pesquisa para comparar o estudo de caso deste trabalho com a literatura encontrada em [6] e [7] e em estudos dos arquivos da empresa Copa Energia em equipamentos similares [4].

Tabela 7 – Comparativo entre valores de processo encontrados no estudo de caso e na literatura [7]

Temperaturas de processo	Este estudo de caso	Referência literatura [7]
Temperatura do sal para obter umidade de saída adequada	67 °C	65 °C
Temperatura de operação de operação ideal	330 °C	150-170°C
Temperatura de operação máxima	300 °C	300 °C

Tabela 8 - Comparativo entre valores de processo encontrados em outros estudos de caso da empresa Copa Energia, 2019[4]

Energia da secagem	Este estudo de caso	Benchmarking [4] e Literatura [6]
Rendimento térmico do secador	65%	68 - 77%
Energia perdida costados leito e dutos	12%	5 - 7%

Conclusões

A análise aqui mostrada visa um encaminhamento no sentido de ofertar escolhas a partir de uma análise termodinâmica da secagem para melhoria de eficiência térmica. Outras perdas podem estar ligadas à construção, instalação e operação do leito que aqui não foram abordadas.

Com base nas observações descritas, pode-se decidir por aquelas intervenções de ajuste de processo que são de baixo custo e retorno maior tal como a aplicação de isolamentos térmicos nos dutos de condução de ar quente, por exemplo. Tomando como base a literatura e o benchmarking apresentado busca-se rendimentos térmicos de 75% aproximadamente. Assim, as intervenções sugeridas e maiores observações na operação podem chegar a valores de economia energética de até 30% para o secador de leito fluidizado, incluindo-se um esperado aumento de produtividade. O resultado da soma destes ganhos é a redução de custo de produção.

Os dados apresentados acima foram uma estimativa baseada em um modelo simplificado da fenomenologia do processo para um período curto de dados e uma comprovação com mais observações e variáveis não notificadas seria recomenda.

Finalmente, este estudo de caso foi anteriormente apresentado aos responsáveis da planta considerada e serviu como base para os proprietários realizarem estudos de avaliação técnico-econômica para substituição deste leito fluidizado.[4]

Agradecimentos

À Copa Energia pela disponibilização de arquivos de estudos de processos de secagem, resguardando os sigilos dos nomes das empresas, sendo utilizados apenas aspectos gerais, mas que serviram de base sólida para este trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1]. TURNS, S.R., An Introduction to Combustion: Concepts and Applications, Bookman, 2013
- [2]. COSTA, D. F. S.; SILVA, A. A.; MEDEIROS, D. H. M.; LUCENA FILHO, M.A. ; DE MEDEIROS ROCHA, R. ; LILLEBO, A. I. ; SOARES, A. M. . Breve revisão sobre a evolução histórica da atividade salineira no estado do Rio Grande do Norte (Brasil). Sociedade & Natureza (UFU. Online) v. 25, p. 24-34, 2013. DOI: 10.1590/S1982-45132013000100003
- [3].SINDIGÁS,https://www.sindigas.org.br/Download/PANORAMAS/NOVO-GLP-EM-MOVIMENTO_MAIO_2019_VF.pdf
- [4]. SANTOS, M. A., Trabalhos de suporte técnico na combustão de GLP, Arquivos da Copa Energia, 2019.

- [5]. SILVA et al, O Aglomerado Produtivo da Indústria Salineira do Rio Grande do Norte, Desenvolvimento em Questão, Agosto, 2021, DOI: 10.21527/2237-6453.2021.55.11360
- [6]. MUNJUMDAR, A. S., HANDBOOK INDUSTRIAL DRYING, 3RD EDITION, TAYLOR & FRANCE GROUP, LLC, p. 2006
- [7]. VAN'T LAND C.M., INDUSTRIAL DRYING EQUIPMENT: SELECTION AND APPLICATION, MARCEL DEKKER INC., CAP.5, 1991
- [8]ASHRAE, Fundamentals. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2017.
- [9]. CONAMA, Programa Nacional de Controle da Poluição; Conselho Nacional do Meio Ambiente; Resolução 436/ 2011.
- [10]. ÇENGEL, YUNUS A., Transferência de Calor e Massa : Uma Abordagem Prática I; Tradução Luiz Felipe Mendes de Moura ; Revisão técnica Kamal A. R. Ismail. --São Paulo: McGraw-Hill, 2009
- [11]. ABRALISO, Espessuras Econômicas de Isolamento, Site da Associação Brasileira dos Fabricantes de Lãs Isolantes, disponível em <https://www.abraliso.org.br/calculos.html>, acessado em 14/06/2019.

Notação	Descrição
h_x [$x = 1,2,3, v$ (vapor de água), fg (gases da combustão)]	Entalpia no ponto determinado ou da espécie [kJ / kg]
$\dot{m}_x$ [$x = 1,2,3, v$ (vapor de água), fg (gases da combustão)]	Fluxo mássico da espécie [kg/s] ou [kg/h]
ω	Umidade absoluta [kg água / kg ar], [kg água/ kg sal]
t	Temperatura [°C]