

Análise do processo de purificação de fertilizante para produção de propelente de foguete experimental baseado em KNSU

Fernanda Beatriz Ribeiro | fernanda.br2008@aluno.ifsc.edu.br¹

Julia Wandalen Scottini | julia.w23@aluno.ifsc.edu.br²

Maria Eduarda Pereira Silva | maria.ps12@aluno.ifsc.edu.br³

Leonardo Ronald Perin Rauta | leonardo.rauta@ifsc.edu.br⁴

Romulo de Aguiar Beninca | romulo.beninca@ifsc.edu.br⁵

Maurício da Silva Justino | mauricio.justino@ifsc.edu.br⁶

Edital de fomento do trabalho

Edital nº 01/2025/PROPI - PIBIC-EM

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

O presente trabalho visa analisar a influência da pureza do nitrato de potássio (KNO_3) em propelentes para modelofoguetes à base de KNSu (sacarose + KNO_3), por meio da força de empuxo medida em testes estáticos. A necessidade desse estudo se deve ao fato de que diversos fertilizantes, comumente à base de nitrato de potássio, possuem substâncias potencialmente prejudiciais ao combustível. Consequentemente, surge a importância da utilização de técnicas para a separação de impurezas desses fertilizantes, mesmo aqueles com alta concentração de KNO_3 , com o intuito de se obter o melhor desempenho do motor. O objetivo do trabalho é realizar um estudo comparativo entre dois métodos de purificação do KNO_3 , analisando fatores como rendimento, tempo de produção e cristalização. Foi aplicada uma metodologia quantitativa, com a realização de diferentes técnicas de purificação, sendo essas a cristalização a frio e a cristalização em temperatura ambiente (RTA). Como resultados já encontrados, a técnica a frio apresenta um maior rendimento (85,48%) e menor tempo de processo (24,66h), comparada a RTA (21,04% e 168,75h). Contudo, ainda há de ser analisado como essa pureza afeta no desempenho do motor e a relação completa de custo de produção de ambas as técnicas.

Palavras-chave: cristalização; foguetemodelismo; KNSu; propelente; purificação.

Introdução

A propulsão de foguetes é um tema central na astronáutica, com destaque para os motores de propelente sólido no foguetemodelismo e no ensino experimental. Esses

¹ Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar;

² Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar;

³ Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar;

⁴ Servidor da área de Informática do IFSC – Câmpus Gaspar.

⁵ Servidor da área de Informática do IFSC – Câmpus Gaspar

⁶ Servidor da área de Física do IFSC – Câmpus Gaspar

motores permitem analisar grandezas como força, tempo de queima e impulso. Trabalho como o de Knop *et al.* (2025), já investigaram o tema, com foco no impacto da proporção entre combustível e oxidante na composição da mistura. No entanto, não foi feita uma análise a respeito do impacto da pureza dos componentes do propelente.

Entre os sistemas mais estudados nesse contexto, está o propelente à base de nitrato de potássio (KNO_3) e sacarose, também conhecido como KNSu. Entretanto, um aspecto relevante diz respeito à pureza dos agentes propulsores. Isso pois, a presença de determinadas substâncias em meio ao fertilizante, o qual é a principal fonte de KNO_3 utilizada, acaba não sendo benéfica para a finalidade do propelente. Segundo Richard Nakka (2008), fertilizantes agrícolas podem comprometer a eficiência do propelente devido à presença de impurezas incompatíveis com aplicações aeroespaciais, como a presença de magnésio, enxofre, entre outros componentes.

O presente estudo segue a proposta de integração do conhecimento e investigação experimental, análise técnica e construção de conhecimento aplicado. Diante desse contexto, esta pesquisa tem como objetivo investigar dois métodos de purificação, com o intuito de obter KNO_3 de maior pureza, analisando fatores como rendimento, tempo de produção e cristalização dos compostos.

Fundamentação teórica

A influência da pureza do KNO_3 pode ser observada em diferentes aspectos do desempenho do motor, especialmente no impulso gerado. Nesse contexto, é necessário discutir conceitos fundamentais relacionados à composição do propelente e seu comportamento durante a combustão. Na área do foguetemodelismo, o termo propelente é amplamente utilizado como a mistura de combustível e oxidante. Segundo George P. Sutton e Oscar Biblarz (2016), o oxidante fornece o agente necessário para a reação, enquanto o combustível é oxidado, liberando energia. Nos minifoguetes, é comumente utilizado o KNSU, formado por nitrato de potássio (KNO_3) e sacarose (SU), respectivamente na proporção de 65% de oxidante 35% de combustível, que apresenta bom desempenho geral (Cesca, 2021, p. 45).

A principal fonte de oxidante são fertilizantes agrícolas, que podem conter substâncias consideradas impurezas para o nitrato de potássio. De acordo com

informações do fabricante presentes na embalagem do fertilizante YaraTera Krista K, o produto apresenta aproximadamente 13% de nitrogênio, 43% de óxido de potássio (K_2O), 1% de enxofre e 1% de magnésio. Segundo Adeniyi et al. (2021), esses aditivos podem influenciar a taxa de queima dos propelentes, atuando como catalisadores ou supressores do processo. Em vista disso, é relevante a compreensão desses aspectos no foguetemodelismo, correlacionando rendimento e tempo de preparo das misturas conforme as metodologias utilizadas.

Procedimentos metodológicos

Foram aplicada duas metodologias laboratoriais com o objetivo de obter KNO_3 em maior grau de pureza e analisar a eficiência das técnicas e o desempenho do propelente. Executou-se as seguintes abordagens experimentais:

1. **Cristalização a frio:** O procedimento seguiu Cesca (2021, p. 34), com substituição da água destilada por água potável devido à inviabilidade de uso. Realizou-se a solubilização de 2 kg de nitrato de potássio em 2L de água, com aquecimento até $60^{\circ}C$, seguido de armazenamento em recipiente fechado sob baixas temperaturas (Entre $1^{\circ}C$ e $4^{\circ}C$) por um dia. Após a formação dos cristais, o material foi moído e seco em estufa a $80^{\circ}C$. Em seguida, foi realizada a pesagem e a mistura com sacarose na proporção 65/35.
2. **Cristalização por resfriamento em temperatura ambiente (RTA)** – Este método, se baseia no mesmo princípio da cristalização a frio, diferindo nas condições de resfriamento e proporções. Foram solubilizados 3 kg de KNO_3 em 6L de água, com aquecimento a $60^{\circ}C$, seguido de resfriamento em temperatura ambiente por aproximadamente uma semana em recipiente fechado. Após a formação dos cristais, o material foi moído, seco em estufa e moído. Em seguida, realizou-se a pesagem e a mistura na proporção 65/35 de KNO_3 e sacarose.

Foram produzidos 20 motores com propelente purificado (10 por técnica) e 10 motores com KNSu sem purificação, todos contendo 35 g de propelente. A compactação foi realizada por prensagem com aplicação de 1,5 tonelada de força.

Com esses motores prontos, o próximo passo é a realização de testes estáticos para analisar a eficiência do motor em cada processo de purificação do nitrato de potássio.

Resultados e discussões

Através das metodologias de purificação utilizadas, obteve-se resultados apresentados no Quadro 1, que apresenta os valores de massa adquiridos por meio de cada técnica de cristalização, bem como a eficiência de cada processo.

Quadro 1 – Rendimento da purificação do KNO_3 por diferentes métodos de cristalização

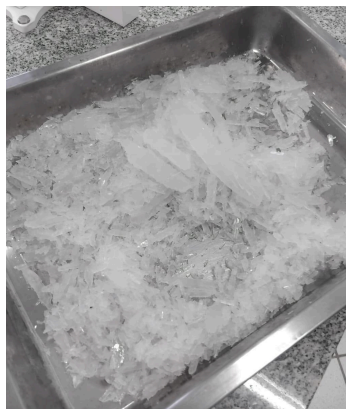
Método	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Rendimento (%)
Cristalização a frio	2000	1709,63	85,48
Cristalização RTA	3000	642,4	21,04

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

Os dados apresentados denotam uma grande diferença entre os métodos avaliados, sobretudo na porcentagem de rendimento, a qual evidencia a produtividade da cristalização a frio.

Outro ponto a ser considerado diz respeito às propriedades organolépticas (cor, odor e textura) dos compostos purificados, com amostras apresentando características como a perda da coloração amarelada do KNO_3 em solução aquosa e diferenças no tamanho dos cristais obtidos nas diferentes práticas realizadas.

Figura 1– Cristais por cristalização RTA



Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 2 – Cristais por cristalização a frio



Fonte: Autoria própria (2025)

Além disso, foram comparados outros parâmetros entre ambas as técnicas aplicadas, visando analisar fatores como o tempo de determinadas etapas do processo, além da quantidade dos compostos utilizados durante a realização das metodologias. Deste modo, o Quadro 2 apresenta a comparação de alguns parâmetros como a quantidade de água, tempo de preparo e tempo total de processo em cada um dos processos.

Quadro 2 – Comparação dos parâmetros experimentais entre os métodos de cristalização

Parâmetros	Cristalização a frio	Cristalização RTA
Razão fertilizante/água (Kg/L)	1:1	1:2
Quantidade de água (L)	2	6
Quantidade de fertilizante (Kg)	2	3
Tempo de preparo (min)	40	45
Tempo de cristalização (dia)	1	7
Tempo na geladeira (h)	24	0
Tempo total do processo (h)	24,66	168,75

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

Contudo, como aspectos negativos de cada prática, foram identificados os seguintes pontos: na cristalização RTA, foi observada a necessidade de um tempo

prolongado para a obtenção dos resultados, com tempo total de processo de 168,75 h, significativamente superior ao da cristalização a frio (24,66 h).

Além disso, mesmo com maior utilização de água (6 L) e nitrato inicial (3 kg), a recuperação de KNO_3 foi inferior. Por outro lado, a cristalização a frio apresentou maior rendimento e menor consumo de reagentes (2 L de água e 2 kg de nitrato). Entretanto, a desvantagem com maior destaque foi o gasto de energia elétrica, devido à necessidade de resfriamento da solução em geladeira por 24h, o que pode impactar o custo do processo.

Considerações finais

O trabalho analisou diferentes metodologias de purificação de fertilizantes à base de KNO_3 . Até o momento, os dados laboratoriais indicam maior rendimento da cristalização a frio em comparação à RTA, embora ambas apresentem limitações. Entre os principais fatores observados, destacam o longo tempo de preparo da RTA e a necessidade de custo de energia elétrica para a produção da cristalização a frio.

Ressalta-se, entretanto, que o rendimento isolado não determina o melhor desempenho propulsivo, uma vez que a presença de impurezas pode influenciar diretamente a queima do propelente e seus resultados. Esses resultados estão em etapa de aquisição e estudo, sendo que a continuação do projeto visa a análise da eficiência dos produtos de cada processo em motores de foguetes experimentais.

Referência ao fomento recebido

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através da bolsa de iniciação científica, no âmbito do edital nº 01/2025/PROPI - PIBIC-EM, e ao Instituto Federal de Santa Catarina- Câmpus Gaspar, pelo suporte institucional e pela estrutura laboratorial disponibilizada para esta pesquisa.

Referências



ADENIYI, G. *et al.* Performance analysis of a dual-fuel sugar based solid rocket propellant. **European Journal of Engineering and Technology Research (EJERS)**, [s. l.], v. 6, n. 2, feb. 2021. Disponível em: <https://www.ejers.org/index.php/ejers/article/view/2347>. Acesso em: 24 abr. 2025.

CESCA, Flávio Salton. **Avaliação do desempenho propulsivo utilizando dois agentes oxidantes na forma de propelente sólido em minifoguetes**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/items/bf2d872a-1bb7-4cc3-830e-14232e0e3ee9>. Acesso em: 03 out. 2025.

KNOP, Guilherme Neuber *et al.* **Desenvolvimento de propelente sólido para foguetes amadores**. Projeto Integrador (Técnico Integrado em Química) - Instituto Federal de Santa Catarina, Gaspar, 2025.

MARCHI, Carlos Henrique. **Propelente KNSu a frio para minifoguetes**: preparo, carregamento, estocagem e uso. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Slides de aula.

NAKKA, R. **Purification of Low-grade Potassium Nitrate**. [S. l.], 03 abr. de 2008. Disponível em: <http://www.nakka-rocketry.net>. Acessado em: 26 abr. de 2026.

SUTTON, George P.; BIBLARZ, Oscar. **Rocket propulsion elements**. 9. ed. Hoboken: Wiley, 2016.