

## ESTUDO

## DE SENSIBILIDADE DO INVESTIMENTO DE UMA INSTALAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE SUPERFOSFATO TRIPLO

**ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LA INVERSIÓN DE UNA INSTALACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE SUPERFOSFATO TRIPLE**Teresa de la Caridad Iraola Reyes <sup>1\*</sup>E-mail: [teresa1999@nauta.cu](mailto:teresa1999@nauta.cu)ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3818-1391>Jenny Castillo Serrano <sup>2</sup>E-mail: [jenny.serrano@geiq.cu](mailto:jenny.serrano@geiq.cu)ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7555-2315>David Muto Lubota <sup>3</sup>E-mail: [marciodeivy@yahoo.com.br](mailto:marciodeivy@yahoo.com.br)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5684-8279>Erenio González Suárez <sup>5</sup>Email: [erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

\*autor para correspondência

<sup>1</sup> Empresa Refinería de Cienfuegos, Cuba.<sup>2</sup> Centro de Investigaciones e Ingeniería, Cuba.<sup>3</sup> Universidad "11 de Noviembre", Angola.<sup>4</sup> Universidad Central de las Villas, Cuba.

Isto menções sugeriram (APA, sétima edição)

Iraola Reyes, T. C., Castillo Serrano, J., Muto Lubota, D. & González Suárez, E. (2024). Estudio de sensibilidad de do investimento de uma instalação para produção de superfosfato triplo. *Universidad y Sociedad*, 16(3), 537-545.

## RESUMO

Este trabalho visa apreciar a sensibilidade das variáveis influentes na avaliação dos indicadores dinâmicos de um investimento para produção em Cuba de adubos fosfatados com vista a satisfazer a procura nacional através da execução do projecto de investimento e da sua futura exploração. Isso ocorre porque falta uma planta de produção relacionada no Sistema da Indústria Química de Cuba e é necessário um investimento nacional para ser feito com segurança. Na avaliação, os factores que afectaram o Lucro que a instalação de 100 00 t por ano traria foram as concentrações de ácido fosfórico, os custos da rocha fosfórica e do ácido fosfórico, bem como o custo de investimento da instalação, concluindo-se que os três primeiros o fazem em maior ou menor grau e não a incerteza do custo de investimento da instalação, deve ser dada especial importância à minimização dos custos do ácido fosfórico.

## Palavras-chave:

Ácido Fosfórico; Fertilizantes; Investimentos; Rocha Fosfórica; Superfosfato Triplo.

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la sensibilidad de las variables influyentes en la evaluación de los indicadores dinámicos de una inversión para la producción de fertilizantes fosfatados en Cuba con miras a satisfacer la demanda nacional mediante la ejecución del proyecto de inversión y su explotación futura. Esto se debe a que falta una planta de producción relacionada en el Sistema de la Industria Química de Cuba y se necesita una inversión nacional para que se realice de manera segura. En la evaluación, los factores que incidieron en la Ganancia que traería la instalación de 100,00 t anuales fueron las concentraciones de ácido fosfórico, los costos de roca fosfórica y ácido fosfórico, así como el costo de inversión de la instalación, concluyendo que el Los tres primeros lo hacen en mayor o menor medida y no la incertidumbre del coste de inversión de la instalación, hay que dar especial importancia a minimizar los costes del ácido fosfórico.

Palabras clave: Ácido Fosfórico; Fertilizantes; Inversiones; Roca Fosfórica; Superfosfato triple.

## INTRODUÇÃO

Actualmente, a indústria química cubana deve basear seu desenvolvimento na pesquisa para a busca de produtos que sejam atraentes do ponto de vista de seu uso, qualidade e mercado, o que também leve à sua viabilidade técnica, económica e ambiental, são utilizados para melhorar as características desta e conseguir um maior desenvolvimento das culturas agrícolas; permitindo que os produtores de alimentos para obter uma maior produção do ponto de vista intensivo e extensivo. Os fertilizantes, juntamente com o clima e as doenças, são os principais responsáveis pela qualidade e quantidade dos produtos agrícolas colhidos.

Hoje é aceito que todo solo contém uma série de elementos químicos que são necessários para o crescimento das plantas. Os elementos mais importantes são: nitrogénio, fósforo e potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, boro e em alguns casos molibdénio sem contar o carbono, hidrogénio e oxigénio que são os constituintes orgânicos que se encontram em maiores proporções.

O fósforo desempenha um papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, entre outros, e outros processos vegetais. Apenas uma pequena quantidade de fósforo no solo (que vem da degradação dos minerais) pode ser aproveitada pelas plantas, por isso deve ser melhorada com adubação.

A exploração contínua da terra sem aplicação de fósforo esgota rapidamente as reservas desse elemento no solo, gerando problemas de produtividade e qualidade.

O fósforo é de especial interesse para o rendimento das culturas e para todos os alimentos em geral, uma vez que a agricultura não tem substituto. Até agora, a fonte tradicional de fósforo disponível é o fosfato de rocha.

Para os volumes de cultivos que são manuseados em um país, a opção de fertilizantes naturais ou fertilizantes não é viável. Para a produção massiva ou em grande volume de fertilizantes, a opção viável são os fertilizantes minerais, sintéticos, químicos ou produzidos em fábrica.

Dentre os fertilizantes produzidos industrialmente entre os mais utilizados e ricos em fósforo está o superfosfato triplo (SFT).

O superfosfato triplo (SFT) foi um dos primeiros fertilizantes fosfatados com alto teor de fósforo (P) a ser amplamente utilizado no século XX. Tecnicamente, é conhecido como diácido fosfato de cálcio e como fosfato monocalcico. O SFT é produzido pela reacção de rocha fosfática

finamente moída com ácido fosfórico líquido em um misturador cónico.

El SFT granulado, se produce casi de la misma manera, pero la solución resultante se rocía sobre partículas pequeñas para formar gránulos del tamaño deseado.

Os fertilizantes fosfatados SFT têm uma grande influência no custo das importações que Cuba realiza na agricultura. A produção nacional destes permitiria a substituição de importações de produtos acabados por importações de matérias-primas, menos dispendiosos e ao mesmo tempo substituir parte deles, através do melhoramento da rocha fosfórica nacional da referida jazida de Trinidad de Guedes.

Foram realizados estudos para melhorar o teor de  $P_2O_5$  no material obtido na referida jazida, o que permite a sua utilização para a produção de fertilizantes fosfatados e embora tenha sido possível estabelecer uma tecnologia que alcance sua produção, constatou-se que: um aspecto essencial a estudar é o sensibilidade dos indicadores económicos aos preços internacionais e custos de produção nacional de ácido fosfórico com tecnologia e instalações cubanas.

Em estudos realizados e relatados na literatura nacional e internacional, os riscos de investimento são obtidos devido aos preços e custos dos insumos e aos valores dos investimentos (Soto, 2000).

A viabilidade económica de uma planta química para a produção de superfosfato triplo e seu impacto no meio ambiente são fundamentais para a tomada de decisões sobre a conveniência ou não de sua construção e entrada em operação. Por isso o presente trabalho se dedica ao estudo da incerteza existente na viabilidade económica da operação como uma planta química para produção de superfosfato triplo pelo método contínuo.

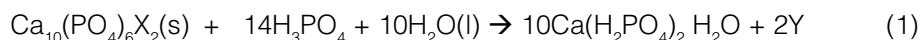
Além disso, na literatura científica, eles são relatados há mais de uma década (Ferretti et al 2016), estudos de sensibilidade estão se tornando mais frequentes e artigos sobre boas práticas de análise de sensibilidade são refletidos em revistas importantes (Saltelli et al., 2012).

Por isso o objectivo desta investigação é determinar a sensibilidade da factibilidade de uma inversão aos câmbios das variáveis que incidirão no comportamento económico da mesma para poder avaliar a oportunidade ou não de realizar a inversão.

O superfosfato triplo (SFT), com fórmula química  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ , também conhecido na América do Norte como superfosfato concentrado (SFC) e fosfato

monocálcico monoidratados (FMM), é um fertilizante químico industrial com um conteúdo de fósforo por cerca de 40%, medido como pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) (Falls, 1991).

Os fertilizantes SFT são geralmente obtidos pela adição de ácido fosfórico à rocha de fosfato, principalmente fluorapatita, de acordo com a seguinte reação (Ec.1) (Nasri et al., 2015):



Onde: X=OH- ou F- e Y=H<sub>2</sub>O ou HF

O SFT tem sido amplamente utilizado na agricultura em todo o mundo, fazendo com que as reservas de rocha fosfática diminuam e os preços disparem (Seesanong et al., 2020).

Recentemente, o SFT também foi usado para reduzir a acidez do solo ácido tropical (Maru et al., 2020), manter a fertilidade do solo e melhorar a nodulação (Phares et al., 2020), produzir cerâmica (Safronova et al., 2020), produzem materiais compósitos endurecidos (Musckaya et al., 2020).

Embora a pesquisa tenha rendido outros métodos para produzir SFT (via monetita (fosfato dicálcico) a partir de brucita usando sonicação (Sánchez-Enríquez et al., 2013) e do uso de ostras marinhas e ácido como matérias-primas fosfóricas), ainda as produções massivas de SFT são baseados nas matérias-primas: rocha fosfórica e ácido fosfórico.

Formulações de revestimento para grânulos minerais SFT também foram estudadas utilizando diferentes plastificantes para garantir o fornecimento estável de nutrientes às plantas (Fertahi et al, 2020).

As desvantagens para a produção de fertilizantes SFT a partir de PRs são pureza, insolubilidade e recursos minerais naturais reduzidos (Römer et al., 2018).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O SFT será produzido por vários métodos: contínuo e descontínuo ou fracionário.

O processo químico selecionado para a produção de SFT é através de uma reação química entre o ácido fosfórico, na concentração de 45 a 55% de  $P_2O_5$ , e a rocha fosfática previamente seca e excessivamente triturada, de forma que 94% da fluorapatita reaja com o ácido fosfórico. Geralmente, o ácido fosfórico obtido pelo processo úmido tem uma concentração de aproximadamente 30 a 33%  $P_2O_5$ , por esses motivos, o ácido do processo úmido deve ser concentrado por evaporação até uma concentração de 38 a 55%  $P_2O_5$ , dependendo da utilização do material, ou importados com valores de concentração comercial de  $P_2O_5$  (45 a 55%  $P_2O_5$ ).

Uma vez concluída a reação e a cristalização do gesso, os compostos líquidos e sólidos são separados por um processo de filtração. Posteriormente, o ácido fosfórico líquido obtido a 28%  $P_2O_5$  (pentóxido de difósforo) segue para um processo de evaporação onde é concentrado até 32% e armazenado em tanques. O processo químico para obtenção de SFT pelo método contínuo possui as seguintes seções:

- Recepção da rocha.
- Esmerilhamento.
- Mistura ou acidificação da rocha. Reação química.
- Curado.
- Armazenar.

O produto final obtido é armazenado em locais arejados, secos e frescos, longe do calor solar a uma temperatura entre 45-75 °C.

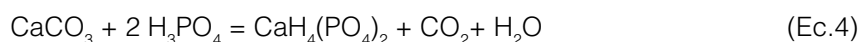
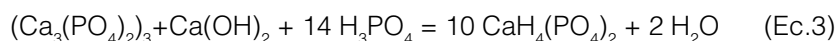
Desenho da proposta.

O processo de obtenção do superfosfato triplo pelo método de produção contínua é descrito a seguir.

O superfosfato triplo geralmente contém 43 a 50% em peso de  $P_2O_5$ . Ácido fosfórico fabricado a partir do processo úmido é usado para sua fabricação. A outra entrada é a rocha fosfática.

As principais reações que definem esse processo são as mencionadas a seguir (Ec. 2,3 , 4, 5, 6).

continuação:

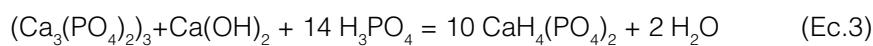
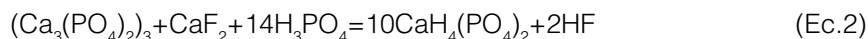


Se o ácido fosfórico estiver quente e concentrado ao acidificar a rocha de fosfato, vários gases contendo flúor são liberados. Com diluição e ácido fosfórico frio praticamente nenhum desses gases são liberados. Se for usado entre 70 a 78% do ácido Com uma concentração entre 51 a 51,6% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para acidificação da rocha fosfática, o produto resultante poderia ser suficientemente seco após a cura adequada, tornando desnecessária a secagem artificial.

A 44°C, o  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 70 a 78% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , reage rapidamente com a rocha fosfática, formando uma pasta em 3 a 4 minutos após a mistura. Assim, obtém-se um processo contínuo de fabricação do superfosfato triplo. Para um volume de produção de 100.000 t/ano de superfosfato triplo, projeta-se uma planta com regime de trabalho de 24 horas e 333 dias úteis por ano, deixando 15 dias de parada para manutenção e pouco menos de um dia e meio de parada por mês para caixas improvisadas e manutenção. Isso equivale a uma planta que produz 300t//dia de superfosfato triplo, para essas condições é necessária uma quantidade de matéria-prima que pode ser calculada a partir da balança estequiométrica.

Passamos a fazer a análise estequiométrica das principais reacções que ocorrem na produção do superfosfato triplo pelo método contínuo.

As reacções são as seguintes(Ec. 2,3 , 4):



Sabe-se que as variáveis mais influentes nos indicadores económicos da produção do Triplo Sulfato são:

X1: Concentração de ácido fosfórico, de 70 a 78% de ácido fosfórico

X2: Custo da Rocha Fosfórica, de 300 para 320 USD/t

X3: Preço do ácido fosfórico, de 650,00 para 860,00 USD/t

X4: Capital Fixo Investido, de 312.130 para 374.556, que é definido pelas decisões de projecto e aumento da disponibilidade anual devido a acções para aumentar a confiabilidade dos equipamentos de instalação.

Devido ao fato de que na literatura científica são relatados trabalhos que correlacionam estatisticamente variáveis do processo tecnológico quantitativamente os indicadores de VAN, IRR e PRI (Pérez-Sánchez et al., 2020 e considerando a experiência acumulada do uso de planeamento experimental para o determinação dos indicadores económicos de um investimento (Alemán et al; 2021), em que se utilizou um desenho de Plackett Bürman (1946) pela vantagem de não ter que realizar réplicas para estudar os efeitos das variáveis, um plano de 8 foi usado ensaios para considerar 7 variáveis conforme recomendado por Isaccson (1970) delas 4 reais e 3 falsas como segue (tabela 1):

Tabela 1: Plano experimental de Plackett Bürman de oito tentativas e sete variáveis.

N	X1	X2	X3	Xf1	X5	Xf2	xf3	Y
1	1	1	1	-1	1	-1	-1	Y1
2	1	1	-1	1	-1	-1	1	Y2
3	1	-1	1	-1	-1	1	1	Y3
4	-1	1	-1	-1	1	1	1	Y4
5	1	-1	-1	1	1	1	-1	Y5

6	-1	-1	1	1	1	-1	1	Y6
7	-1	1	1	1	-1	1	-1	Y7
8	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	Y8

Fonte: self made.

Os coeficientes das variáveis usadas em um experimento de Plackett e Búrman (1946) segundo Isaccson (1970) são determinados por (Ec. 7):

$$E_i = \frac{\sum \text{respostas (+)}}{\text{Número de valores (+)}} - \frac{\sum \text{respostas (-)}}{\text{Número de valores (-)}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Isso é feito tanto para as variáveis verdadeiras  $X_i$  quanto para as variáveis falsas  $X_f$

$$Y = Y_0 + \frac{1}{2} (E_1.X_1 + E_2.X_2 + E_3.X_3 + \dots + E_n.X_n)$$

$$Y_0 = \frac{\sum Y_i}{N}$$

O erro padrão é (Ec.8):

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (E_f)^2}{\text{Número de variáveis falsas}}} \quad (\text{Ec.8})$$

O significado de cada variável é determinada comparando o valor do t de Student tabulado e o calculado considerando o número de variáveis falsas como os graus de liberdade. Outra alternativa é determinar o t de Student calculado e compará-lo com o t de Student tabulado, verificando em cada caso a probabilidade.

### Avaliação económica.

A avaliação económica inclui a estimativa do custo de investimento, o custo de produção, o lucro e uma análise de rentabilidade, através da determinação dos indicadores dinâmicos de rentabilidade: (1) Valor Presente Líquido, (2) Taxa Interna de Retorno, e (3) Período de Recuperação do Investimento, (VAN, TIR, PRD), com o objectivo de propor o orçamento para o trecho desejado do projecto da usina.

Os indicadores dinâmicos são determinados de acordo com métodos estabelecidos na literatura científica.

Para estimar o custo de um projecto, deve-se levar em consideração o custo total do investimento, que inclui custo de equipamentos, custo de engenharia, custo de material, entre outros indicadores que serão calculados pela metodologia proposta por Peters & Timmerhaus (1991).

Para obter o valor do PRI, os fluxos de caixa anuais são adicionados gradualmente ao investimento inicial até que o resultado seja zero, momento em que o investimento foi recuperado.

### RESULTADOS -DISCUSSÃO

Considerando os resultados do balanço estequiométrico das reacções que ocorrem no processo tecnológico de obtenção do SFT, determinam-se os insumos Fio Fosfórico e Ácido Fosfórico para a produção de 300 t/d de fertilizante.

Resultados da balança estequiométrica para 300 t/dia de SFT (Tabela 2)

Tabela 1: Matéria-prima necessária por dia para a produção de 300 t/dia SFT pelo método contínuo.

<b>Matéria-prima necessária por dia para a produção de SFT pelo método contínuo</b>					
	<b>Materia Prima (ton)</b>	<b>100%</b>	<b>70%</b>	<b>74%</b>	<b>78%</b>
Rocha fosfórica	Reacção 1	129.27	90.49	95.66	100.84
	R2	1128.76	90.13	95.28	100.43
	R3	128.27	89.79	94.92	100.05
	Totais de rocha (ton)	386.31	270.42	285.86	301.32
Ácido fosfórico	R1	175.84	123.09	130.12	137.15
	R2	175.84	123.09	130.12	137.16
	R3	251.2	175.84	185.89	195.94
	Totais de ácido (ton)	602.88	422.02	446.13	470.25
Total de matérias primas (ton)		989.19	692.43	731.99	771.57

Fonte: self made.

De acordo com os resultados do balanço estequiométrico, foram determinados os valores de custo das matérias-primas, Encargos Fixos dos Investidores e Lucro para cada uma das prováveis combinações de variáveis externas das quais é necessário determinar a sensibilidade do indicador económico de lucro previamente estabelecido como função objectivo no estudo de sensibilidade a factores externos que é realizado.

Os custos das matérias-primas foram determinados em cada caso com intervalos de variação dos Custos da Rocha fosfórica e do ácido fosfórico informados nas informações comerciais.

Para determinar o custo do equipamento da planta, a Tabela 24 de Peters e Timmerhaus (1991) é usada.

Os custos de investimento da planta para quando as principais reacções na produção de SFT ocorrem em 70, 74 e 78%, considerando a variação necessária da capacidade a ser instalada, foram determinados pela regra do ponto seis (Peters e Timmerhaus, 1991).

Estimativa do Custo Total do Produto.

Capital Total Investido (CTI) Ec.9:

$$CTI = CFI + 10\% CTI \quad (\text{Ec.9})$$

Capital de trabalho:

$$\text{Capital de giro} = 10\% CTI$$

Custos Diretos (CD) Ec.10:

$$CD = \sum(mp + mo + supervisão + utilitários + manutenção e reparo + suprimentos + laboratório) \quad (\text{Ec.10})$$

O custo total de produção (CTP) é então determinado usando a Tabela 25 de Peters e Timmerhaus (1991) como suporte (Ec.11).

$$CTP = CD + CF + CI + GG \quad (\text{Ec.11})$$

Estimativa de Capital Fixo Investido.

Custo fixo investido (CFI) Ec.12:

$$CFI = CD + CI + 15\% CFI \quad (\text{Ec.12})$$

(CI): custos indirectos

(CD): custos directos

Estimativa de ganhos: para as diferentes alternativas

$$\text{Ganhos} = PV - CTP$$

Valor de Produção (PV) Ec.13:

$$\text{Valor da produção} = \text{Preço de venda do produto} * \text{Produção} \quad (\text{Ec.13})$$

Sendo o preço de venda do produto: 77500000 USD/t estão os resultados do desenho experimental de Plackett-Bürman considerando as possíveis variações da concentração do ácido, os custos do Fio Fosfórico, do Ácido Fosfórico e o valor do investimento da instalação, estão listados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Plano Experimental para 7 variáveis de Plackett Bürman e resultados do lucro previsto da futura instalação industrial.

N	X1	X2	X3	Xf1	X5	Xf2	xf3	Ganho
1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-13129618
2	1	1	-1	1	-1	-1	1	4334071
3	1	-1	1	-1	-1	1	1	-12003253
4	-1	1	-1	-1	1	1	1	11575195
5	1	-1	-1	1	1	1	-1	12063096

6	-1	-1	1	1	1	-1	1	-3086506
7	-1	1	1	1	-1	1	-1	-3981451
8	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	13639046

Fonte: self made.

De acordo com esses resultados e aplicando a metodologia proposta por Isaccson (1970), determinou-se que os coeficientes das variáveis externas reais eram:

- E1 (Concentração de ácido no intervalo de incerteza considerado: - 6 720 497
- E2 (Custo da Rocha Fosfórica no intervalo de incerteza considerado: - 2 953 546,5
- E3 (preço do ácido fosfórico no intervalo de incerteza considerado: -18 453 059
- E5 (Capital Fixo Investido, no intervalo de incerteza considerado: 1.358.438,5
- Para as variáveis falsas, verificou-se que seus valores eram os seguintes:
- E4 (Falso Variável 1): 2 311 960
- E6 (Falso Variável 2): 1 474 148,5
- E7 (Falso Variável 3): -1 942 891,5

A partir deles, o Erro Padrão (SE) é determinado como: 1 940 197, 604 no que são considerados 3 graus de liberdade porque são três variáveis falsas.

E os valores t de Student calculados para 3 graus de liberdade serão:

**tcal para X1:** -3,4638209 maior que o t tabulado de 2,353 a 95% de probabilidade, portanto a sensibilidade da resposta Gain tomada como função objectivo é altamente significativa e essas produções devem ser trabalhadas em baixas concentrações de ácido no intervalo de incerteza estudado .

**tcal para X2:** -1,52229159 maior que o t tabulado de 1,250 a 85% de probabilidade, portanto a sensibilidade da resposta Gain tomada como função objectivo é significativa e deve-se trabalhar para reduzir os custos de extracção e preparação da rocha fosfórico

**tcal para X3:** -9,51091732 muito superior ao t tabulado de 2,353 a 95% de probabilidade, portanto, a sensibilidade da resposta de ganho tomada como uma função objectivo é altamente significativa e o trabalho deve ser feito com ênfase em baratear os preços. ácido fosfórico custos de produção.

**tcal para X5:** 0,70015471 menor que o valor do t tabulado de 0,978 a 80% de probabilidade, portanto a sensibilidade

da resposta Gain tomada como função objectivo é muito insignificante, portanto não é necessário ganhar em precisão no valor do investimento, embora como expressão de uma sensibilidade positiva, não deva ser descurada a vertente da construção mecânica.

**tcal para fv1:** 1,19161058 menor que o valor do t tabulado de 1,25 a 85% de probabilidade, portanto o efeito dessa falsa variável não é significativo em grau de importância para a análise de sensibilidade no estudo realizado.

**tcal para fv2:** 0,75979297 menor que o valor do t tabulado de 0,978 a 80% de probabilidade, portanto o efeito dessa falsa variável não é significativo em grau de importância para a análise de sensibilidade no estudo realizado.

**tcal para fv3:** -1,001388465 menor que o valor do t tabulado de 1,25 a 85% de probabilidade, portanto o efeito dessa falsa variável não é significativo em grau de importância para a análise de sensibilidade no estudo feito.

Nenhuma das três variáveis falsas sendo significativa, considera-se que nenhum factor foi deixado de fora para o estudo de sensibilidade.

Em todos os casos de valores máximos do preço do ácido fosfórico, independentemente do valor dos restantes factores, não se registaram ganhos anuais, mas sim perdas anuais, e pelo contrário, sendo o preço desta substância mínimo, ganhos anuais os ganhos serão sempre positivos e significativamente elevados.

A análise económica dos indicadores dinâmicos das alternativas com lucros significativamente elevados e superiores aos valores do investimento inicial não são necessários porque em todos os casos seriam recuperados em menos de um ano, com a condição de que o custo por tonelada de ácido fosfórico seja alcançado em valores significativamente baixos de acordo com o intervalo de incerteza desse factor.

## CONCLUSÕES

Todos os factores considerados no estudo de sensibilidade têm impacto negativo nos indicadores económicos da futura instalação, mas o fazem com significados diferentes.

Um aspecto essencial a estudar para viabilizar a produção de SFT em Cuba, são os custos da produção nacional de ácido fosfórico.

Utilizar ácido fosfórico na produção de Trifosfato em baixas concentrações de 70% para minimizar os custos de produção.

Deve-se trabalhar para minimizar os custos de obtenção, preparo e disponibilização da Rocha Fosfórica na usina em jazida cubana.

É necessário determinar o desenho tecnológico e mecânico das instalações de ácido fosfórico que permitam minimizar os seus custos de produção e garantir a sua manutenção e disponibilidade.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alemán Hurtado, Lester A., Binko Mamady Toure, Yoelvis Fleites Avila, Yaillet Albernas Carvajal, Erenio González Suárez (2021). Planes experimentales para medir la incidencia de variables tecnológicas en los indicadores de una inversión. *Centroazucar*, 48(3), 75-87. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n3/2223-4861-caz-48-03-75.pdfBeatriz>
- Falls, J. H. (1991). Comparison and review of three available P 2 O 5 methods for diammonium phosphate and triple superphosphate. *Fertilizer research*, 28, 239-249. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01049757>
- Ferretti, F., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2016). Trends in sensitivity analysis practice in the last decade. *Science of the total environment*, 568, 666-670. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716303448>
- Fertahi, S., Bertrand, I., Ilouk, M., Oukarroum, A., Amjoud, M. B., Zeroual, Y., & Barakat, A. (2020). Impact of plasticizers on lignin–carrageenan formulation properties and on phosphorus release from a coated triple superphosphate fertilizer. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(31), 14172-14179. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.0c03143>
- Isaacson, W. B. (1970). Statistical analyses for multivariable systems. *Chemical engineering*, 77(14), 69-+. [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Isaacson%2C+W.++\(1970\).+Statistical+Analysis+for+multivariable+Systems.+Chemical+Engineering%2C+6%2C+69-75](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Isaacson%2C+W.++(1970).+Statistical+Analysis+for+multivariable+Systems.+Chemical+Engineering%2C+6%2C+69-75)
- Maru, A., Haruna, A. O., Asap, A., Majid, N. M. A., Maikol, N., & Jeffary, A. V. (2020). Reducing acidity of tropical acid soil to improve phosphorus availability and Zea mays L. productivity through efficient use of chicken litter biochar and triple superphosphate. *Applied Sciences*, 10(6), 2127. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/6/2127>
- Muskaya, O. N., Krut'ko, V. K., Kulak, A. I., Safronova, T. V., & Shatalova, T. B. (2020). Thermal transformations in hardening compositions based on hydroxyapatite, monocalcium phosphate monohydrate, and polymeric binders. *Glass and Ceramics*, 77, 256-262. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10717-020-00283-8>
- Nasri, K., El Feki, H., Sharrock, P., Fiallo, M., & Nzihou, A. (2015). Spray-dried monocalcium phosphate monohydrate for soluble phosphate fertilizer. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(33), 8043-8047. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.5b02100>
- Pérez Sánchez, A., Magalhães Malengue, D. V. D., & Benitez Cortés, I. (2020). Rentabilidad económica y análisis de sensibilidad del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/21566>
- Peters, S. & Timmerhaus, D. (1981) Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Singapore, McGraw – Hill Chemical Engineering Series.
- Phares, C. A., Atiah, K., Frimpong, K. A., Danquah, A., Asare, A. T., & Aggor-Woanano, S. (2020). Application of biochar and inorganic phosphorus fertilizer influenced rhizosphere soil characteristics, nodule formation and phytoconstituents of cowpea grown on tropical soil. *Heliyon*, 6(10). [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(20\)32098-3.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)32098-3.pdf)
- Plackett, R. L., & Burman, J. P. (1946). The design of optimum multifactorial experiments. *Biometrika*, 33(4), 305-325. <https://www.jstor.org/stable/2332195>
- Römer, W., & Steingrobe, B. (2018). Fertilizer effect of phosphorus recycling products. *Sustainability*, 10(4), 1166. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/4/1166>
- Safronova, T. V., Sadilov, I. S., Chaikun, K. V., Shatalova, T. B., & Filippov, Y. Y. (2020). Ceramics based on a powder mixture of calcium hydroxyapatite, monocalcium phosphate monohydrate, and sodium hydrogen phosphate homogenized under mechanical activation conditions. *Inorganic Materials: Applied Research*, 11, 879-885. <https://link.springer.com/article/10.1134/S2075113320040346>
- Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S., Campolongo, F. (2012). Update 1 of: Sensitivity analysis for chemical models. *Chem. Rev.* 112 (5) 112(5):PR1-21. doi: 10.1021/cr200301u. Epub 2012 Apr 19.
- Sánchez-Enríquez, J., & Reyes-Gasga, J. (2013). Obtaining Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 2· H<sub>2</sub>O, monocalcium phosphate monohydrate, via monetite from brushite by using sonication. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(3), 948-954. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417712002489>



Seesanong, S., Laosinwattana, C., & Boonchom, B. (2020). Microparticles of calcium carbonate  $\text{CaCO}_3$ , calcium hydrogen phosphate hydrate  $\text{CaHPO}_4 \cdot 1.9 \text{H}_2\text{O}$  and tricalcium phosphate  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  prepared from golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*). *Res. J. Chem. Environ*, *24*, 1-6. <https://doi.org/10.3390/ma14164395>

Soto Bubern A.R. (2000) Obtención de Fertilizantes Fosfatados (S.F.T.) A partir de Roca Fosfórica Importada y Ácido Sulfúrico Nacional, Anteproyecto de Una Factibilidad Técnico Económica. Memoria Para Obtener el Título de Ingeniero Químico. Departamento De Ingeniería Química Universidad de Chile. <https://inglomayor.cl/2/pierre/pdf/012.pdf>