

**Utilização de ferramentas estatísticas para verificação e controle do processo de enriquecimento isotópico de hexafluoreto de urânio enriquecido a no máximo 5% de  $^{235}\text{U}$**

**Use of statistical tools for verification and control of the isotopic enrichment process of uranium hexafluoride enriched to a maximum of 5% of  $^{235}\text{U}$**

**Utilización de herramientas estadísticas para la verificación y control del proceso de enriquecimiento isotópico de hexafluoruro de uranio enriquecido hasta un máximo del 5% de  $^{235}\text{U}$**

Recebido: 02/12/2020 | Revisado: 07/12/2020 | Aceito: 17/12/2020 | Publicado: 19/12/2020

**Diego Augusto Passos Marques**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0034-8093>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: [diegomarques@id.uff.br](mailto:diegomarques@id.uff.br)

**Antonio Henriques de Araujo Junior**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5167-3828>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: [anhenriques2001@yahoo.com.br](mailto:anhenriques2001@yahoo.com.br)

**José Glenio Medeiros de Barros**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6902-599X>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: [glenio.barros@gmail.com](mailto:glenio.barros@gmail.com)

**Nilo Antônio Sampaio de Souza**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6168-785X>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: [nilo.samp@terra.com.br](mailto:nilo.samp@terra.com.br)

**José Wilson de Jesus Silva**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0033-2270>

Centro Universitário Teresa D'Ávila, Brasil

E-mail: [jwjsilva@gmail.com](mailto:jwjsilva@gmail.com)

## Resumo

Este artigo tem como objetivo, utilizar ferramentas estatísticas para verificação do comportamento e controle do processo de enriquecimento isotópico de hexafluoreto de urânio enriquecido a no máximo 5% de  $^{235}\text{U}$ . Analisar o comportamento do processo assim como o estabelecimento de um método estatístico para acompanhar e controlar a produção com a busca de aumentar a produtividade e diminuir os gastos. A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foram os fundamentos relacionados à estatística descritiva como o teste de normalidade de Anderson-Darling, verificação de médias e desvios padrão assim como gráficos de histograma, de probabilidade e de valores individuais de teores, além da análise boxplot para duas campanhas de enriquecimento distintas.

**Palavras-chave:** Controle Estatístico; Enriquecimento isotópico de urânio; Hexafluoreto de urânio.

## Abstract

This article aims to use statistical tools to verify the behavior and control the isotopic enrichment process of uranium hexafluoride enriched to a maximum of 5% of  $^{235}\text{U}$ . Analyze the behavior of the process as well as the establishment of a statistical method to monitor and control production in order to increase productivity and decrease costs. The methodology used for the development of this work were the fundamentals related to descriptive statistics such as the Anderson-Darling normality test, verification of average and pattern deviation as well as graphs of histogram, probability and individual content values, in addition to the boxplot analysis. for two different enrichment campaigns.

**Keywords:** Statistical Control; Uranium isotopic enrichment; Uranium hexafluoride.

## Resumen

Este artículo tiene como objetivo utilizar herramientas estadísticas para verificar el comportamiento y controlar el proceso de enriquecimiento isotópico del hexafluoruro de uranio enriquecido hasta un máximo del 5% de  $^{235}\text{U}$ . Analizar el comportamiento del proceso así como el establecimiento de un método estadístico para monitorear y controlar la producción con el fin de incrementar la productividad y disminuir costos. La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo fueron los fundamentos relacionados con la estadística descriptiva como la prueba de normalidad de Anderson-Darling, verificación de medias y desviaciones típicas así como gráficas de histograma, probabilidad y valores de

contenido individual, además del análisis de boxplot para dos campañas de enriquecimiento diferentes.

**Palabras clave:** Control estadístico; Enriquecimiento isotópico de uranio; Hexafluoruro de uranio.

## 1. Introdução

A constante evolução do ser humano esteve sempre associada a utilização energética e com o decorrer dos tempos essa necessidade se intensificou fazendo aumentar a busca e novos métodos de obtê-la. Inicialmente através do fogo (madeira), posteriormente vapor (carvão) durante a revolução industrial e atualmente a utilização de combustíveis fósseis, eletricidade, energia renovável e pôr fim a energia nuclear. Todos com seus prós e contras, seja pelo alto investimento, poluição ao meio ambiente, produção de resíduos ou sua periculosidade.

Atualmente muitos países utilizam a energia nuclear mesmo sem muita popularidade na utilização dessa energia após o desastre de Chernobyl, entretanto ainda é considerada um modo de geração de energia vantajoso devido a possibilidade de produzir um milhão de vezes mais energia que hidrelétricas e energia eólica são capazes de produzir, não há liberação de gases do efeito estufa nas reações nucleares, a fissão nuclear utiliza pouco urânio e por fim o combustível nuclear é barato e fácil de ser transportado.

Em 1954 a Usina Nuclear de Obninsk na União Soviética se torna a primeira usina nuclear ligada a rede elétrica, iniciando assim a produção e transmissão de energia. No Brasil a utilização de Usinas nucleares começou em 1985 com a Angra 1 (Barros, et al, 2020), em 2001 com a Angra 2 e atualmente Angra 3 em construção.

O ciclo do combustível nuclear (Santos, 2011) é composto pelas etapas de mineração, conversão, enriquecimento, reconversão, montagem e geração de energia.

Na etapa de mineração, realiza-se a extração do minério de urânio, que, após submetido a processos de operações unitárias e tratamentos químico diversos, é convertido a uma forma pastosa conhecida como yellow cake (quimicamente conhecido como  $U_3O_8$  ou diuranato de amônio). Esse composto é então convertido a gás na etapa de conversão, sendo transformado em hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ) (DeWitt, 1960). Essa transformação é necessária para que se viabilize a próxima etapa, a do enriquecimento de urânio, que só pode ser efetuada caso o urânio se encontre na forma de um composto gasoso.

Na etapa de enriquecimento, são utilizadas ultra centrífugas (Upson, 2001) que

promovem a separação física do UF<sub>6</sub> em seus isótopos 235 e 238 (Crus, 2005), de modo que seja possível concentrar e segregar as frações enriquecidas em cilindros especiais que conterão uma fração do material alimentado já concentrado (enriquecido) com o isótopo físsil necessário para a produção do combustível nuclear.

O UF<sub>6</sub> oriundo das cascatas de ultra centrífugas não é considerado, ainda, o produto final da etapa de enriquecimento (Silva, et al, 2006), uma vez que o material pode ainda ter seu teor isotópico “acertado” por um processo conhecido como recomposição isotópica (Esse processo seria um retrabalho para chegada na porcentagem de enriquecimento necessário, e tal processo dura, em média, um mês para ser realizado). Neste processo, uma massa calculada de material contendo UF<sub>6</sub> a um determinado teor pode ser transferida ao cilindro produzido de modo a aumentar ou reduzir o teor do mesmo, em atendimento ao teor solicitado pelo cliente final. O material enriquecido é então reconvertido ao estado sólido na etapa de reconversão, sendo submetido a diversos processos químicos, transformado em óxido de urânio (pó de UO<sub>2</sub>) e, posteriormente, em pastilhas que irão compor o combustível nuclear utilizado nas usinas term nucleares de geração de energia.

O elemento de estudo deste artigo trata-se da análise do processo de fabricação de combustíveis nucleares de uma empresa, a qual o controle de processo de enriquecimento de urânio deve ser otimizado de modo que se produza, ao longo das campanhas de enchimento de cilindros, material com teor isotópico o mais próximo possível do valor nominal determinado. Isso se faz necessário pois, em caso de necessidade de acerto do teor, uma vez fora da faixa especificada pelo cliente, será necessária a utilização do sistema de recomposição isotópica, acarretando em mais tempo de processo para o cilindro em questão e aumento de custos atrelados a essa etapa em específico.

Ao final deste trabalho, o objetivo é identificar o comportamento do processo assim como o estabelecimento de um método estatístico para acompanhar e controlar a produção com a busca de aumentar a produtividade e diminuir os gastos.

## **2. Metodologia**

O presente artigo utilizou fundamentos de natureza quantitativos relacionados à estatística descritiva. Para os procedimentos metodológicos (Pereira, et al, 2018) deste artigo foi adotado o teste de normalidade de Anderson-Darling, verificação de médias e desvios padrão assim como os gráficos de histograma, de probabilidade e de valores individuais de

teores.

Em estatística, os testes de normalidade (Ferreira, et al, 2013) são usados para determinar se um conjunto de dados de uma dada variável aleatória, é bem modelada por uma distribuição normal ou não, ou para calcular a probabilidade da variável aleatória subjacente estar normalmente distribuída.

Mais precisamente, os testes são uma forma de seleção de modelos, e podem ser interpretados de várias maneiras, dependendo de como cada um interpreta as probabilidades

## 2.1 Teste de Anderson-Darling para Normalidade

O teste de Anderson-Darling é um teste estatístico que mede o quão bem os dados seguem uma distribuição específica. Considera-se normal a distribuição que apresentar p-value maior que 0,05 (Moraes, et al, 2005), o que significaria uma probabilidade maior que 5% em cometer erro, ao rejeitar a hipótese de normalidade da distribuição em análise.

As hipóteses para o teste Anderson-Darling são:

H0: os dados seguem uma distribuição específica (Normal).

H1: os dados não seguem uma distribuição específica (Normal).

A hipótese nula é a que os dados são normalmente distribuídos e hipótese alternativa é a que os dados não seguem uma distribuição normal. Se o nível de significância (p-value) for pequeno ( $p \leq 0,05$ ), a hipótese nula é rejeitada e conclui-se que os dados analisados não seguem uma distribuição normal.

## 2.2 Histograma

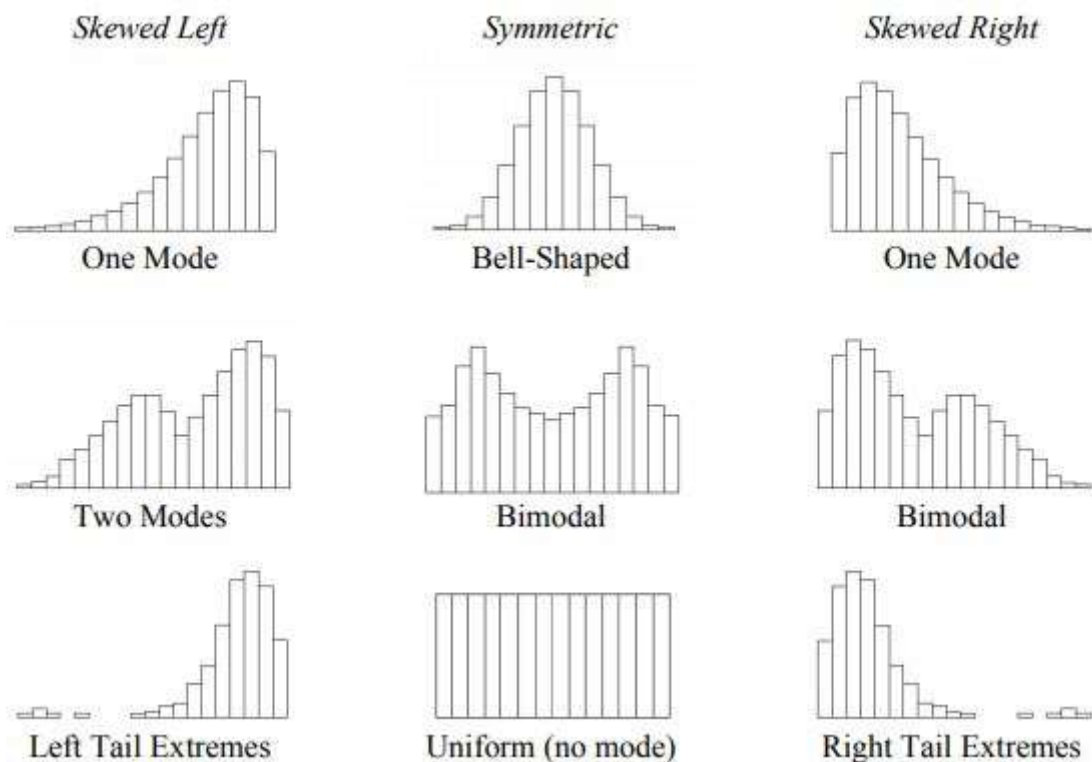
O histograma consiste em um gráfico de barras que demonstra uma distribuição de frequências, onde a base de cada uma das barras representa uma classe, e a altura a quantidade ou frequência absoluta com que o valor da classe ocorre. Ao mesmo tempo, pode ser utilizado como um indicador de dispersão de processos. Tem como objetivo ilustrar como uma determinada amostra de dados ou população está distribuída, dispondo as informações de modo a facilitar a visualização da distribuição dos dados. Ao mesmo tempo, ressalta a localização do valor central e da distribuição dos dados em torno deste valor central.

Possui dois eixos com funções diferentes, onde o eixo horizontal é dividido em

pequenos intervalos, demonstrando valores assumidos pela variável de interesse. Já o eixo vertical é proporcional à frequência de observações da amostra onde os valores pertencem aquela classe ou intervalo.

As distribuições nos histogramas podem se organizar de maneiras diferentes, conferido a eles diferentes tipos

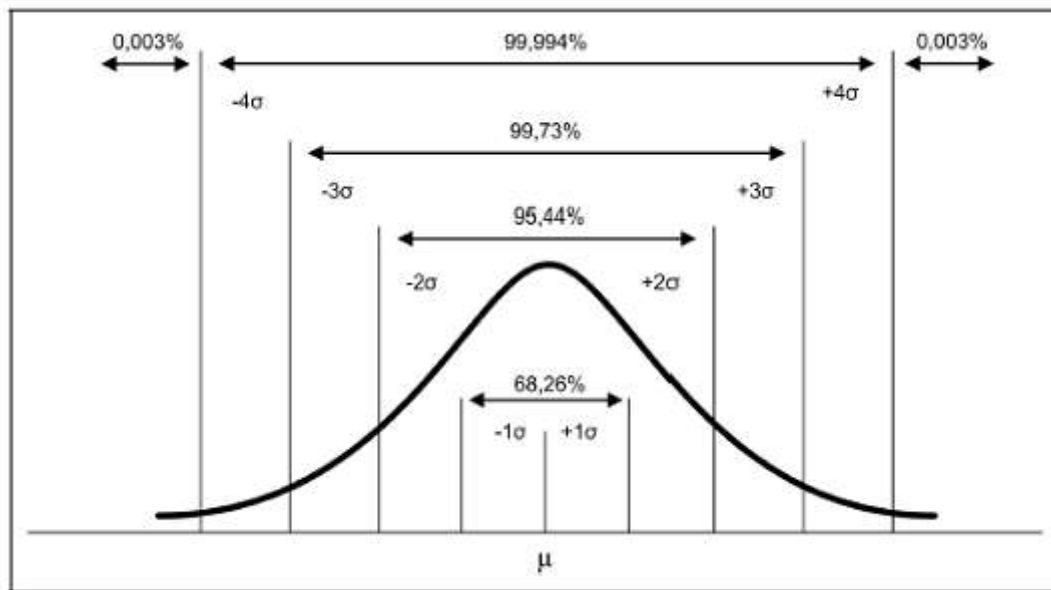
**Figura 1:** Histogramas ilustrativos da questão de simetria/assimetria das distribuições de dados.



Fonte: Doane & Seward, (2011).

Além disso conseguimos através da análise da média e seu desvio padrão achar a área sobre a curva e assim determinar a porcentagem de área sobre o gráfico e sua porcentagem associada, essa aumentando sua confiabilidade a cada adição de desvio padrão.

**Figura 2:** Área sobre curva Normal.



Fonte: Portal Action, (2019).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Obtenção, seleção das amostras e análise laboratorial

A coleta de amostras, que tem como objetivo prover o Laboratório de Espectrometria de Massas com alíquotas de material suficientes para a realização das análises do teor isotópico de produto, é efetuada 03 vezes por semana, no header de saída que interliga o material proveniente de cada um dos módulos de produção. Havendo alguma intercorrência durante o processo produtivo (variação significativa da temperatura dos módulos de cascatas de ultra centrífugas, alterações não esperadas dos principais parâmetros de controle, principalmente pressão e temperatura, interrupção momentânea da planta, entre outras), podem ser programadas amostragens extras para verificação dos teores e imediata correção da produção. Dentro da programação de coleta de amostras, são previstas, ainda, coletas individuais por cascata (módulos de ultra centrífugas) para verificação do comportamento e quantificação da influência de cada uma delas no resultado final obtido no header de produto. Para as coletas, é utilizada ampola padrão com capacidade de 10g de material, sendo buscada a quantidade de 1g de  $UF_6$  necessária para a análise.

Para esse trabalho foram utilizadas amostras referentes a duas campanhas de enchimento de cilindros:

- Enriquecimento a 4,5%: período compreendido entre junho/2013 e agosto/2014;

b) Enriquecimento a 4,3%: período de setembro/2014 e abril/2015.

Uma vez que são utilizadas duas estações de retirada de cilindros para o material enriquecido trabalhando de maneira intercalada durante a produção, havia, nos períodos relacionados às duas campanhas em questão, a necessidade de ajuste do valor do teor isotópico para valores que garantissem o enriquecimento final próximo ao definido (4,3%, no caso). Dessa maneira, para a primeira campanha, que contava com um cilindro contendo material a valores abaixo de 4,3%, tornou-se necessário o ajuste de produção para um valor acima do nominal (4,5%). Para a segunda campanha manteve-se a manutenção do valor de produção do teor isotópico de produto em 4,3% uma vez que o cilindro receptor já se encontrava com material nesse valor.

As campanhas são definidas pela demanda do cliente, sendo ajustadas ao longo da produção. Com a capacidade atual da planta, o período previsto para o enchimento de cada cilindro gira em torno de três meses. Esse tempo pode variar devido a necessidades de paradas de produção, sendo elas previstas, para a realização de manutenções, ou não. As campanhas utilizadas no presente trabalho traduzem períodos de estabilidade da planta, principalmente no que se refere ao controle efetivo da temperatura (fator esse crucial e responsável por variações significativas nos resultados: pequenas alterações, da ordem de pouco mais de 0,1°C, podem causar variações positivas ou negativas do teor isotópico da corrente de UF<sub>6</sub> produzida) com teores de enriquecimento localizados dentro de uma faixa aceitável para a produção. Desse modo, os conjuntos de dados selecionados apresentam, em teoria, os melhores resultados para o estudo estatístico proposto.

De posse das ampolas padrão, a análise pode então ser. O equipamento utilizado é o Espectrômetro de Massas Quadrupolar, que tem como princípio de funcionamento a conversão dos componentes de uma amostra, seja ela sólida, líquida ou gasosa, em íons gasosos rápidos que são separados com base na razão entre a massa e a carga elétrica.

### **3.2 Análise e registro dos resultados**

Ambas as campanhas geraram, durante o processo produtivo, mais de 70 amostras de material. Para as verificações estatísticas propostas nesse trabalho foram separadas, de maneira aleatória (utilizando o software Minitab 17), 25 amostras de cada uma delas, permitindo, dessa maneira, a utilização de métodos específicos de estudo de comportamento.



A redução do espaço amostral deu-se pela necessidade de aplicação do teste de Anderson-Darling para verificação de normalidade de amostras aleatórias, que é mais utilizado quando o tamanho da amostra não ultrapassa 25 (Lucambio, 2008). Abaixo estão relacionados os resultados referentes a cada uma das campanhas já separados após a utilização do software:

**Tabela 1** – Amostras aleatórias de teor isotópico de produto coletadas entre junho/2013 e agosto/2014 (Campanha 01: teor de 4,5%).

Amostra	Teor isotópico produto (%)	Amostra	Teor isotópico produto (%)
1	4,31879	14	4,61514
2	4,34828	15	4,18105
3	4,50569	16	4,50365
4	4,43566	17	4,58511
5	4,45771	18	4,55931
6	4,57797	19	4,42244
7	4,45608	20	4,5399
8	4,54095	21	4,64213
9	4,45925	22	4,73396
10	4,38052	23	4,45067
11	4,41921	24	4,6566
12	4,30864	25	4,42202
13	4,4376		

Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil, 2015.

**Tabela 2** – Amostras aleatórias de teor isotópico de produto coletadas entre setembro/2014 a abril/2015 (Campanha 02: teor de 4,3%).

Amostra	Teor isotópico produto (%)	Amostra	Teor isotópico produto (%)
1	4,2184	14	4,23695
2	4,06431	15	4,37393
3	4,40907	16	4,18487
4	4,27489	17	4,47408
5	4,28462	18	4,46036
6	4,29405	19	4,18645
7	4,24806	20	4,17684
8	4,23347	21	4,33716
9	4,35342	22	4,18321
10	4,22911	23	4,21752
11	4,17975	24	4,39038
12	4,19369	25	4,27314
13	4,27453		

Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil, 2015.

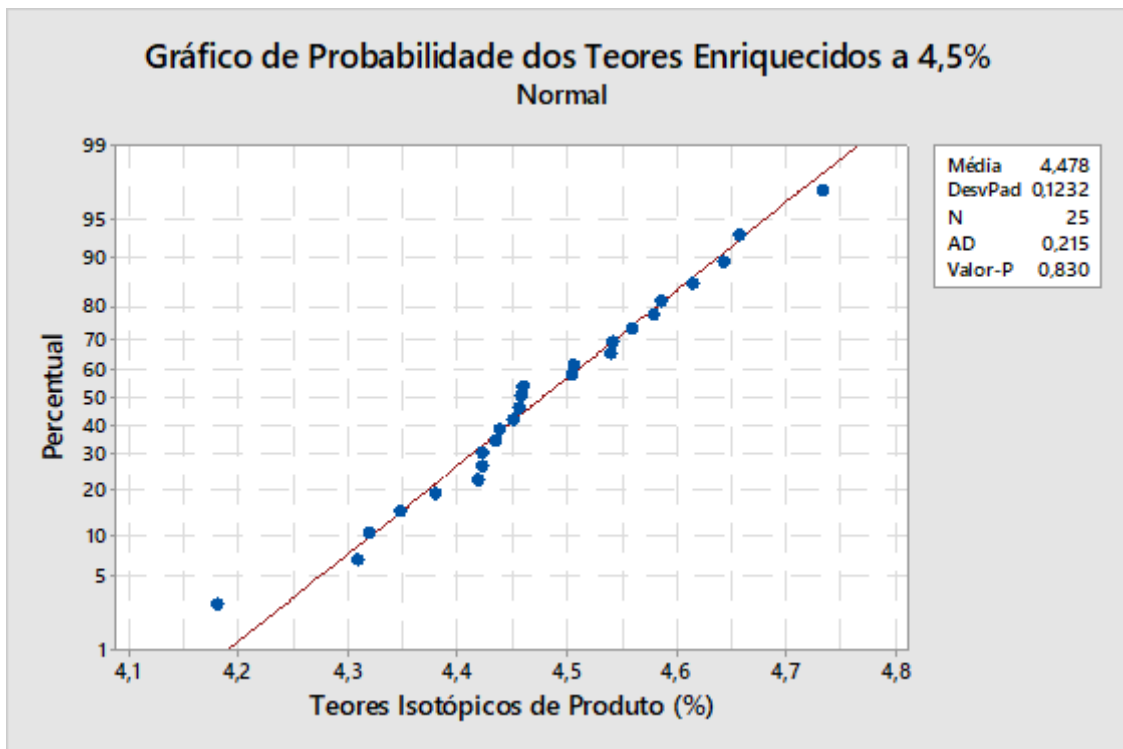
### 3.3 Verificação de Distribuição Normal das amostras

Todas as verificações realizadas nesse trabalho se deu com a utilização do software Minitab 17 para análises de comportamento e tratamento de dados fundamentados na estatística descritiva assim como para a geração de gráficos correlatos. Dentre as análises efetuadas estão o teste de normalidade de Anderson-Darling para as duas campanhas, médias e desvios padrão assim como os gráficos: histograma (com a curva normal de referência), gráfico de probabilidade dos teores (obtido durante o teste de normalidade) e os gráficos de valores individuais.

Uma vez que a verificação do comportamento dos dados em relação a uma distribuição normal, que constitui a distribuição teórica de maior importância na estatística, será possível evidenciar que os dados observados na amostra são provenientes de uma população com distribuição conhecida; assim será possível assumir a utilização dos testes estatísticos para a realização da análise em questão.

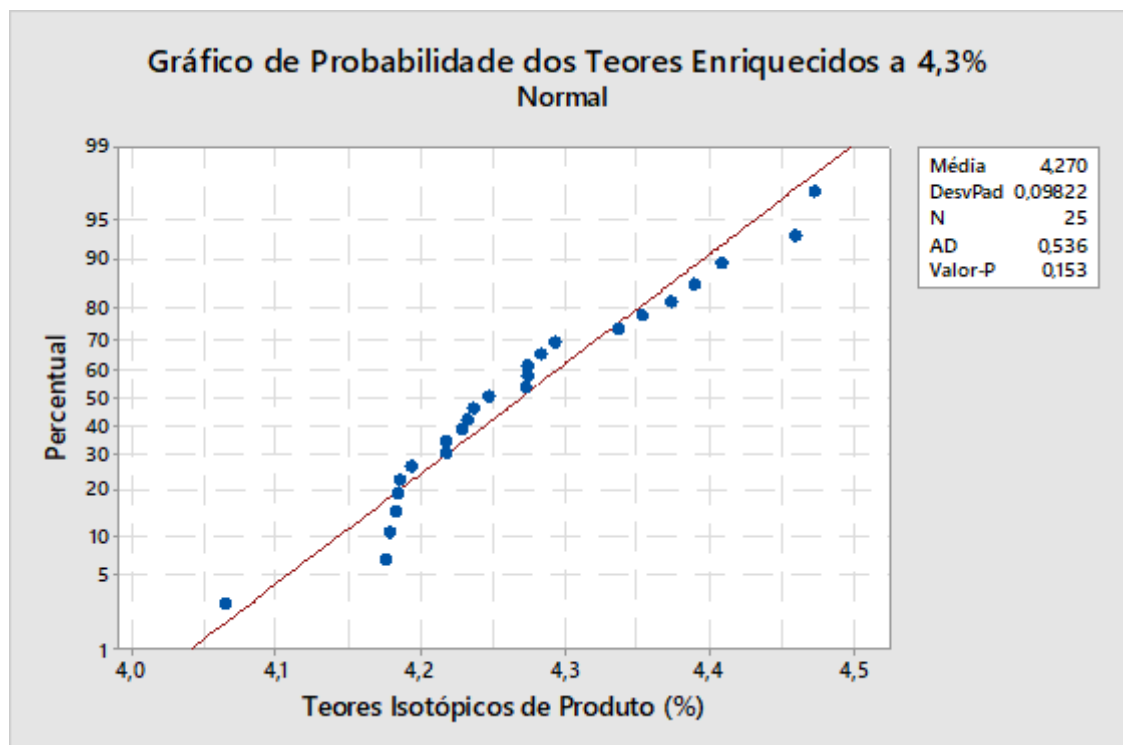
Posteriormente será gerado gráficos boxplot individuais das duas campanhas para comparação do comportamento dos teores isotópicos entre as mesmas.

**Gráfico 1:** Probabilidade dos teores enriquecidos a 4,5%.



Fonte: Minitab 17, 2015.

**Gráfico 2:** Probabilidade dos teores enriquecidos a 4,3%.



Fonte: Minitab 17, 2015.

Analisando os resultados apresentados nos gráficos 1 e 2 demonstram que os dados coletados e selecionados aleatoriamente pelo Minitab 17 apresentam valor-p de 0,830 para a Campanha 01 e 0,153 para a Campanha 02.

Levando em conta as hipóteses para o teste Anderson-Darling:

H0: os dados seguem uma distribuição específica (Normal).

H1: os dados não seguem uma distribuição específica (Normal).

Onde:

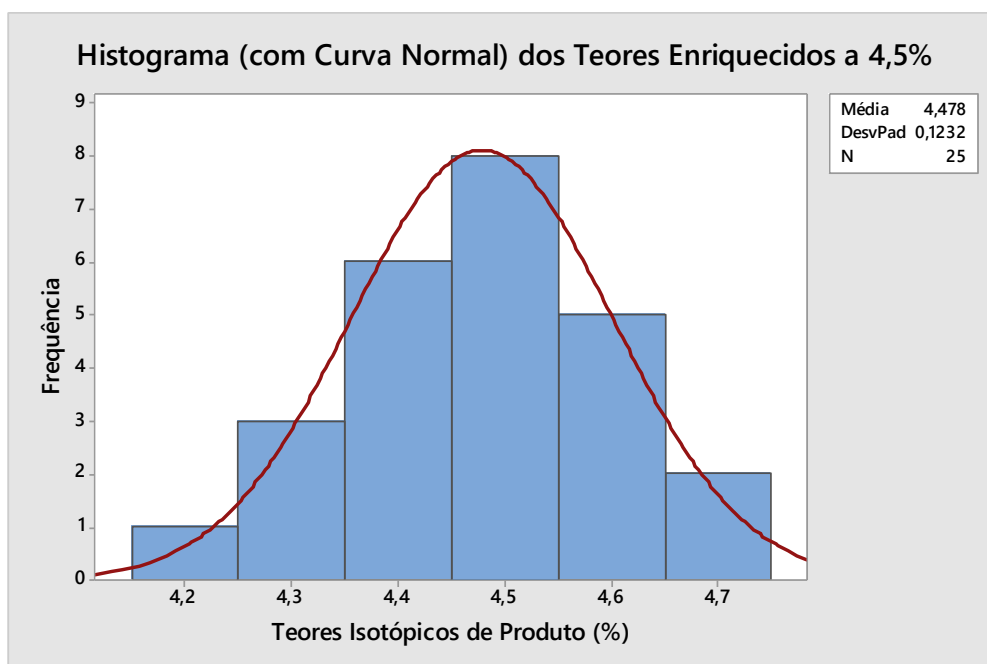
Se valor-p < significância (0,05); rejeitamos H0

Se valor-p > significância (0,05); aceitamos H0

Pode-se assim aceitar H0 e afirmar que tanto para a Campanha 1 quanto para a Campanha 2 os dados seguem a uma distribuição normal. Tal afirmação se baseia no fato de que o valores encontrados para o valor-p encontraram-se acima o valor de significância de 0,05 (para um intervalo de confiança de 95%), assim como através da observação da dispersão dos valores em relação à curva normal.

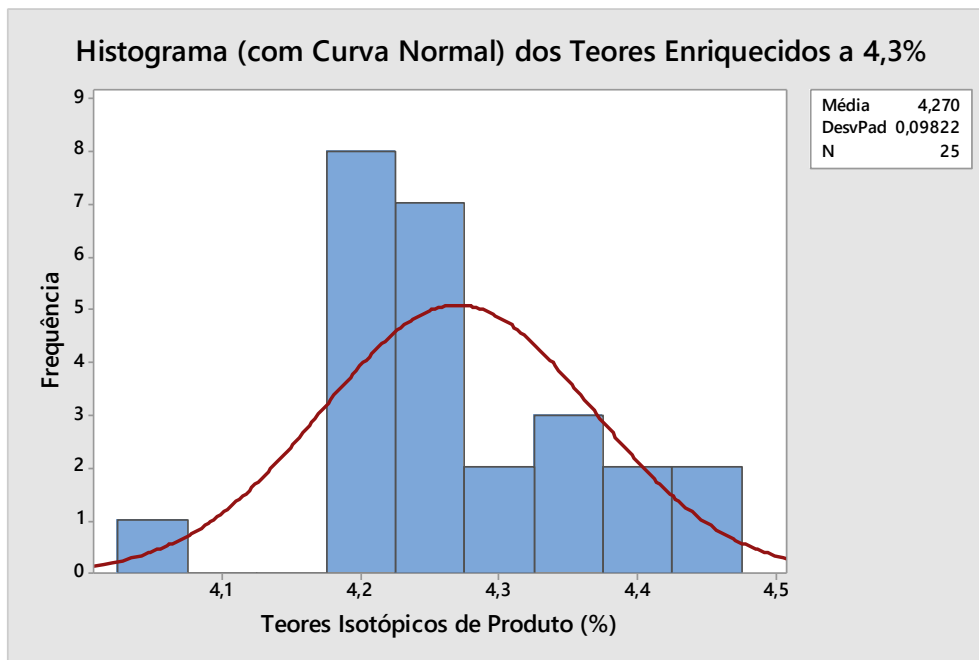
### 3.4 Histograma

**Gráfico 3:** Histograma para teores enriquecidos a 4,5%.



Fonte: Minitab 17, 2015.

**Gráfico 4:** Histograma para teores enriquecidos a 4,3%.

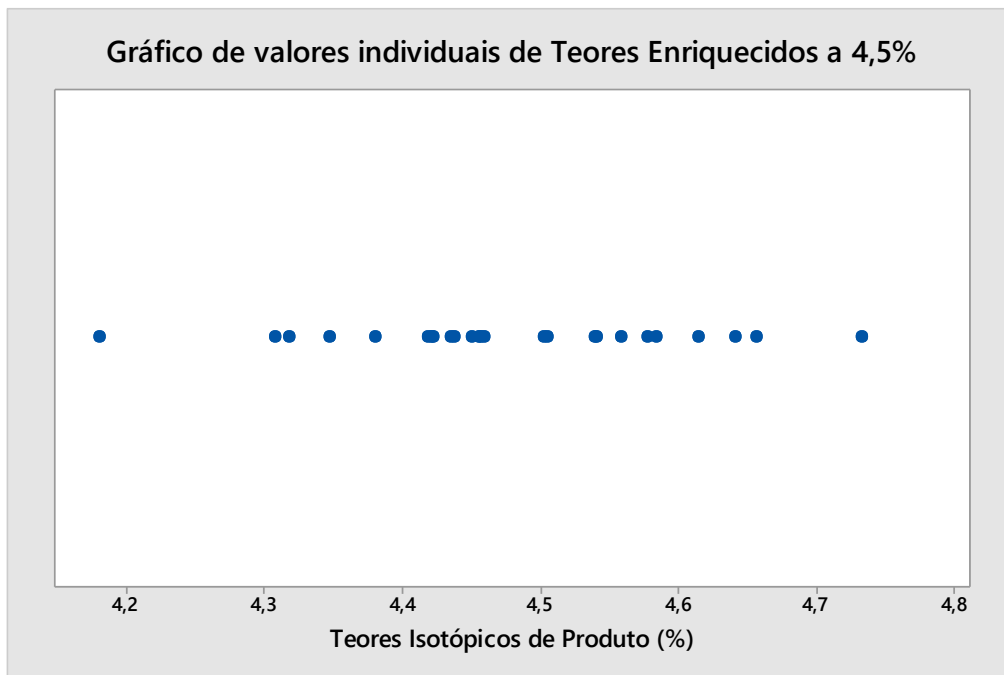


Fonte: Minitab 17, 2015.

A afirmação que os dados seguem a uma distribuição normal é reforçada através da verificação dos gráficos 3 e 4, que apresentam distribuição dos dados equivalentes à curva normal. Ainda nesses gráficos é possível perceber que os teores relacionados à primeira campanha se encontram, em sua maioria, na região entre 4,4% e 4,5% ao passo que, para a segunda campanha, entre 4,2% e 4,3%. Tais valores apresentaram-se bem próximos dos valores nominais definidos pela demanda do cliente.

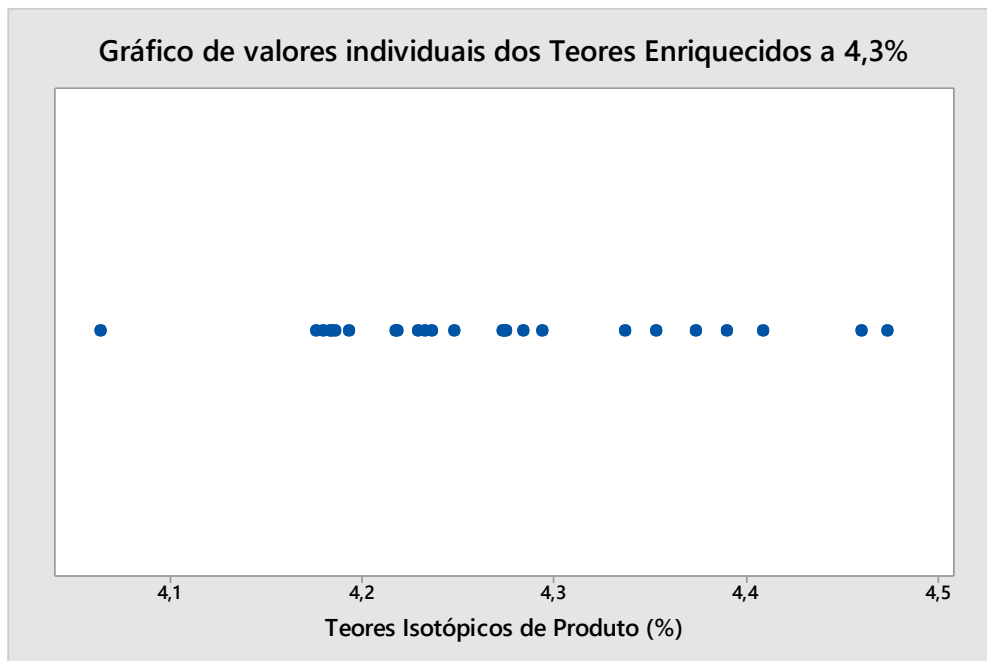
### 3.5 Valores individuais

**Gráfico 5:** Valores individuais para teores enriquecidos a 4,5%.



Fonte: Minitab 17, 2015.

**Gráfico 6:** Valores individuais para teores enriquecidos a 4,3%.

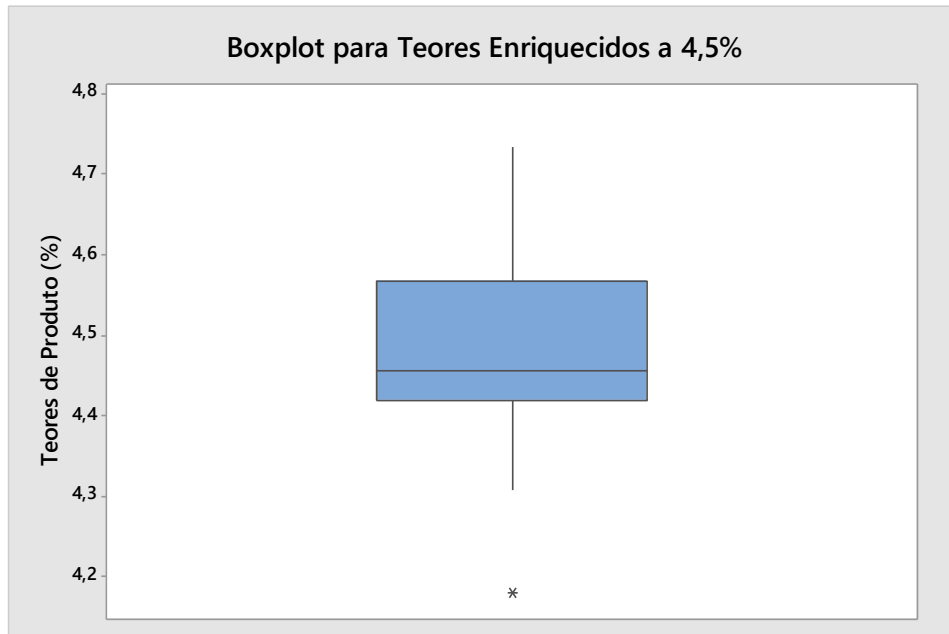


Fonte: Minitab 17, 2015.

Os gráficos 5 e 6, relacionados à distribuição individual dos valores analisados, reforçam uma maior concentração dos dados próximos aos valores definidos pelo cliente (campanha 1 – teor de 4,5% e campanha 2 – teor de 4,3%).

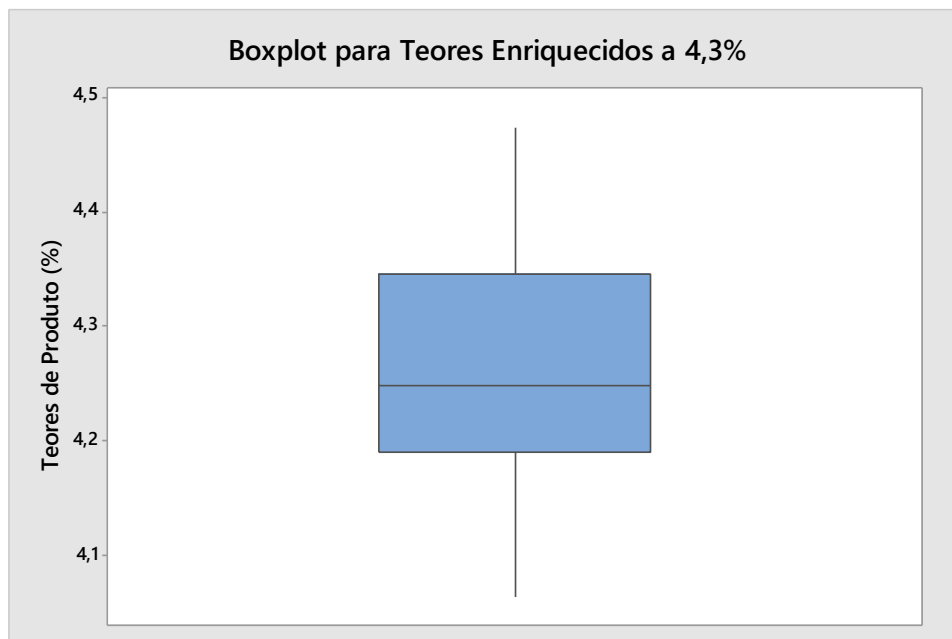
### 3.6 Boxplot

**Gráfico 7:** *Boxplot* para teores enriquecidos a 4,5%.



Fonte: Minitab 17, 2015.

**Gráfico 8:** *Boxplot* para teores enriquecidos a 4,3%.



Fonte: Minitab 17, 2015.

Através da análise visual dos valores de teor pelos gráficos boxplot, 7 e 8, tornou-se possível delimitar, de uma maneira mais acurada, os intervalos envolvidos e a maior concentração entre os valores apresentados:

- a) os valores entre a mediana e o 3° quartil da Campanha 01 situam-se entre 4,4577% e 4,5686%; e
- b) os valores entre a mediana e o 3° quartil da Campanha 02 situam-se entre 4,2481% e 4,3453%.

A assimetria da distribuição, representada pela localização da linha central (mediana) nos gráficos apresentados, demonstra uma maior simetria entre os dados relacionados à Campanha 02. Desse modo é possível afirmar que, para a Campanha 01, o controle estatístico dos resultados através da utilização dessa ferramenta indicaria a necessidade de intervenções para ajuste do teor isotópico do produto no decorrer do processo produtivo. De todo modo, o menor achatamento do gráfico relacionado à Campanha 01 traduz uma menor dispersão dos dados se comparado aos dados verificados na Campanha 02; evidenciando o que foi visto nos gráficos de probabilidade e histogramas apresentados anteriormente.

#### **4. Considerações Finais**

Através das análises realizadas, pôde-se concluir que o processo de enriquecimento, no que se refere aos períodos analisados, encontra-se bem próximo dos valores nominais definidos pela demanda do Cliente. No entanto, foi possível perceber que a aplicação da estatística descritiva, apesar de demonstrar, de uma maneira segura, o comportamento do processo, não permite uma análise mais detalhada desse comportamento, principalmente no que diz respeito à uma maior concentração dos teores dentro de uma faixa específica.

Ao mesmo tempo foi possível verificar que a análise boxplot permite que essa análise seja mais fiel ao comportamento real do processo (no que diz respeito aos intervalos e concentrações de resultados), sendo a mais indicada para o estudo em questão.

Desse modo, indica-se incorporar ao processo o acompanhamento, através dos gráficos boxplot, em intervalos bem definidos, tomando-se como referência campanhas que apresentem o mesmo teor isotópico de produto obtido durante o processo produtivo. Tal medida objetiva a produção de UF<sub>6</sub> enriquecido, o mais próximo possível do teor nominal estabelecido, sem que haja a necessidade de retrabalho do material através do sistema de



recomposição isotópica, incorrendo em ganho de produtividade (tempo menor para fechamento dos cilindros) sem que sejam necessárias despesas adicionais para a obtenção do produto final.

O ganho de produtividade estaria diretamente relacionado, nesse caso, à não necessidade de retrabalho do material através da utilização do sistema de recomposição isotópica, o qual demandaria um maior tempo para se obter o produto final (processo dura, em média, um mês para ser realizado), diminuição do HA (homem hora), adição de material empobrecido/enriquecido, energia elétrica, entre outros. Assim a aplicação do controle estatístico será de grande importância para o futuro do controle de processos da empresa, juntamente com a redução de gastos.

Para estudos posteriores é possível realizar comparações entre diferentes testes de normalidade utilizando os dados coletados, não exclusivamente o teste de Anderson-Darling para se analisar se existirá diferenciação entre eles e qual será o mais representativo.

## Referências

Barros, J. P. N. L. de ., Casillas, T. A. D. V. ., & Ramires, M. (2020). *Analysis of the design and construction of the maritime barrier at the Angra I plant. Research, Society and Development*, 9(10), e3009108666. Recuperado de: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8666>

Crus, M. U. L. (2005). *Modelagem dos Parâmetros Separativos de Ultracentrífugas Para Enriquecimento de Urânio Através de Modelos de Redes Neurais Híbridas*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN. Dissertação de Mestrado. Recuperado de: <http://200.136.52.103/bitstream/handle/123456789/11258/10426.pdf?sequence=1&isallowed=y>

DeWitt, R. (1960). *Uranium Hexafluoride: a survey of the physico-chemical properties*. Ohio, United States. doi: 10.2172/4025868. Recuperado de: <https://www.osti.gov/biblio/4025868>

Doane, D. P., Seward, L. E. (2011). *Measuring Skewness: A Forgotten Statistic? Journal of Statistics Education. Volume 19, Issue 2*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/10691898.2011.11889611>

Ferreira, A. I. R., Souza, A. M. M., Silva, D. T. (2013). *Testes Estatísticos Para Diagnóstico da Normalidade de Uma Distribuição de Dados*. Anais do Conic-Semesp. Volume 1, Faculdade Anhanguera de Campinas - Unidade 3. Recuperado de: <http://conic-semesp.org.br/anais/files/2013/trabalho-1000014563.pdf>

Lucambio, F. (2008). *Diferentes testes para verificar normalidade de uma amostra aleatória*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. Recuperado de: [http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Maria%20Ursulina%20de%20Lima%20Crus\\_M.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Maria%20Ursulina%20de%20Lima%20Crus_M.pdf)

Moraes, C. F., Ferreira, J. R., Balestrassi, P. P. (2006). *Análise crítica da aplicação de métodos estatísticos em processos definidos por dados que não apresentam distribuição normal*. *GEPROS*, 1(2), 7-18. Recuperado de <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/143/105>

Pereira A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica – 1. ed.* – Santa Maria, RS : Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, NTE. Recuperado de: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1)

Santos, J. S. (2011). *Estratégias analíticas para determinação de urânio em amostras de águas e efluentes industriais*. Tese de Mestrado, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA, Brasil. Recuperado de: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/9809>

Silva, O. L. P., Marques, A. L. F. (2006). *Enriquecimento de Urânio no Brasil - Desenvolvimento da Tecnologia Por Ultracentrifugação*. *Economia & Energia*, 54, 3. Recuperado de: [https://ecen.com/eee54/eee54p/enriquec\\_uranio\\_brasil.htm](https://ecen.com/eee54/eee54p/enriquec_uranio_brasil.htm)

Upton, P. (2001). *“Centrifuge Technology: the future for enrichment”* – *World Nuclear Association Annual Symposium*. Recuperado de: <http://fissilematerials.org/library/ups01.pdf>

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Diego Augusto Passos Marques – 20%

Antonio Henriques de Araujo Junior – 20%

José Glênio Medeiros de Barros – 20%

Nilo Antonio Souza Sampaio – 20%

José Wilson de Jesus Silva – 20%