

Ernane Rosa Martins
(Organizador)

Morris Charts

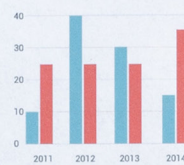
Line Chart



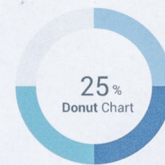
Area Chart



Bar Chart

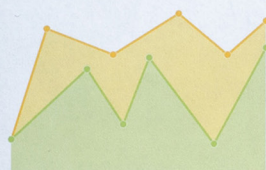


Donut Chart

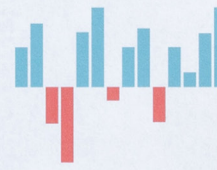


Sparkline Charts

Line Chart



Bar Chart



Pie Chart



Easy Pie Charts



Pesquisa Operacional e sua Atuação Multidisciplinar

Ernane Rosa Martins

(Organizador)

Pesquisa Operacional e sua Atuação Multidisciplinar

**Atena Editora
2019**

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P474	Pesquisa operacional e sua atuação multidisciplinar [recurso eletrônico] / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-478-8 DOI 10.22533/at.ed.788191107 1. Pesquisa operacional. I. Martins, Ernane Rosa. CDD 658.51
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Pesquisa Operacional (PO) utiliza a matemática, a estatística e a computação para auxiliar na solução de problemas reais, com foco na tomada das melhores decisões nas mais diversas áreas científicas e de atuação humana, buscando otimizar e melhorar suas performances. Através do uso de técnicas de modelagem matemática e eficientes algoritmos computacionais, a PO vem cada vez mais atuando na análise dos mais variados aspectos e situações de problemas complexos em demandas de inúmeras áreas, principalmente por conta de sua flexibilidade de aplicação e interação multidisciplinar, permitindo a tomada de decisões efetivas e a construção de sistemas mais produtivos.

Esta obra reúne importantes trabalhos que envolvem o uso de PO, realizados em diversas instituições de ensino do Brasil, abordando assuntos atuais e relevantes, tais como: modelos matemáticos; otimização multiobjectivo; heurísticas; algoritmos; otimização geométrica; metodologia SODA; soft systems methodology; strategic choice approach; procedimentos metodológicos de análise estatística; jogos cooperativos; algoritmos genéticos; método VIKOR; regressão linear múltipla; algoritmos de aprendizado de máquina; análise de decisão multicritério e composição probabilística de preferências.

A importância desta coletânea está na excelência dos trabalhos apresentados e na contribuição dos seus autores em temas de experiências e vivências. A socialização destes estudos no meio acadêmico, permite ampla análise e inúmeras discussões sobre diversos assuntos pertinentes referentes a atuação multidisciplinar da PO. Por fim, agradeço a todos que contribuíram na construção desta belíssima obra e desejo a todos os leitores, boas reflexões sobre os assuntos abordados.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UMA ABORDAGEM MULTIOBJETIVO EM UM PROBLEMA DE PRODUÇÃO COM ESTOQUE INTERMEDIÁRIO E TESTE DE FUNCIONALIDADE	
Sander Joner Neida Maria Patias Volpi Joyce Rodrigues da Silva Tulipa Gabriela Guilhermina Juvenal da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911071	
CAPÍTULO 2	16
SOLUÇÕES INTEIRAS PARA O PROBLEMA DE CORTE DE ESTOQUE UNIDIMENSIONAL	
Gonçalo Renildo Lima Cerqueira Sérgio da Silva Aguiar Marlos Marques	
DOI 10.22533/at.ed.7881911072	
CAPÍTULO 3	28
OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS CARGUEIRAS VIA ECOLOCALIZAÇÃO	
Guilherme Aparecido Barbosa Pereira Ivo Chaves da Silva Júnior Luiz Rogério Andrade de Oliveira Carlos Henrique Sant'Ana da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911073	
CAPÍTULO 4	41
O CASO DA INDÚSTRIA CRIATIVA DO CARNAVAL SOB O ENFOQUE DO SODA	
Ailson Renan Santos Picanço Adjame Alexandre Oliveira Mischel C.N. Belderrain Nissia Carvalho Rosa Bergiante	
DOI 10.22533/at.ed.7881911074	
CAPÍTULO 5	55
MODELO DE NEGÓCIO EM UMA COMUNIDADE AGRÍCOLA: APLICAÇÃO DE <i>SOFT SYSTEMS METHODOLOGY</i> E <i>STRATEGIC CHOICE APPROACH</i>	
Michelle Carvalho Galvão Silva Pinto Bandeira Raquel Issa Mattos Mischel Carmen Neyra Belderrain Anderson Ribeiro Correia John Bernhard Kleba	
DOI 10.22533/at.ed.7881911075	
CAPÍTULO 6	72
MODELAGEM MATEMÁTICA PARA GERAÇÃO DE ESCALAS DE TURNO	
Laiz de Carvalho Nogueira Tiago Araújo Neves	
DOI 10.22533/at.ed.7881911076	

CAPÍTULO 7	87
METODOLOGIA ADOTADA PELA ARCELORMITTAL BRASIL PARA CERTIFICAÇÃO DE PADRÕES SECUNDÁRIOS PARA ANÁLISES QUÍMICAS EM AMOSTRAS DE MINÉRIO DE FERRO DA MINA DE SERRA AZUL EM MINAS GERAIS	
Antonio Fernando Pêgo e Silva Juliana Cecília C R Vieira Luiz Paulo de Carvalho Serrano	
DOI 10.22533/at.ed.7881911077	
CAPÍTULO 8	100
JOGOS COOPERATIVOS NA ALOCAÇÃO DE CUSTOS DE ESTOQUES DE PEÇAS COMPARTILHADOS	
Bernardo Santos Aflalo Natália Nogueira Ferreira Souza Takashi Yoneyama	
DOI 10.22533/at.ed.7881911078	
CAPÍTULO 9	112
BIASED RANDOM-KEY GENETIC ALGORITHM ACCORDING TO LEVY DISTRIBUTION FOR GLOBAL OPTIMIZATION	
Mariana Alves Moura Ricardo Martins de Abreu Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911079	
CAPÍTULO 10	126
AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA QUALIDADE DA INFORMAÇÃO CONTÁBIL	
Alini da Silva Nelson Hein Adriana Kroenke	
DOI 10.22533/at.ed.78819110710	
CAPÍTULO 11	142
AVALIAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA DETECÇÃO REATIVA E PREVENTIVA DE BOTNETS	
Vinicius Oliveira de Souza Sidney Cunha de Lucena	
DOI 10.22533/at.ed.78819110711	
CAPÍTULO 12	158
AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS ESTATÍSTICOS NA DETECÇÃO DE ATAQUES DDOS BASEADA EM APRENDIZADO DE MÁQUINA	
Eduardo da Costa da Silva Sidney Cunha de Lucena	
DOI 10.22533/at.ed.78819110712	

CAPÍTULO 13	173
ABORDAGEM PROBABILÍSTICA À ESCOLHA DE PRODUTOS DE DEFESA: UMA APLICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIAS NA AQUISIÇÃO DE BLINDADOS	
Luiz Octávio Gavião	
Annibal Parracho Sant'Anna	
Gilson Brito Alves Lima	
Pauli Adriano de Almada Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.78819110713	
CAPÍTULO 14	189
A STOCHASTIC DYNAMIC MODEL FOR SUPPORT OF THE MANAGEMENT OF NEW PRODUCT DEVELOPMENT PORTFOLIOS	
Samuel Martins Drei	
Thiago Augusto de Oliveira Silva	
Marco Antonio Bonelli Júnior	
Luciana Paula Reis	
Matheus Correia Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.78819110714	
CAPÍTULO 15	205
A RELAXED FLOW-BASED FORMULATION FOR THE OPEN CAPACITATED ARC ROUTING PROBLEM	
Rafael Kendy Arakaki	
Fábio Luiz Usberti	
DOI 10.22533/at.ed.78819110715	
CAPÍTULO 16	217
A COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIAS COM MEDIDAS DE DESIGUALDADE: CORRELAÇÕES COM OS PONTOS DE VISTA PROGRESSISTA E CONSERVADOR	
Luiz Octávio Gavião	
Annibal Parracho Sant'Anna	
Gilson Brito Alves Lima	
DOI 10.22533/at.ed.78819110716	
SOBRE O ORGANIZADOR	233

METODOLOGIA ADOTADA PELA ARCELORMITTAL BRASIL PARA CERTIFICAÇÃO DE PADRÕES SECUNDÁRIOS PARA ANÁLISES QUÍMICAS EM AMOSTRAS DE MINÉRIO DE FERRO DA MINA DE SERRA AZUL EM MINAS GERAIS

Antonio Fernando Pêgo e Silva

Departamento de Estatística da UFES
pegoesilva@gmail.com

Juliana Cecília C R Vieira

Supervisora do laboratório da Mina de Serra Azul
da ArcelorMittal Mineração Brasil.
Juliana.costaribeiro@arcelormittal.com.br

Luiz Paulo de Carvalho Serrano

Membro da comissão de amostragem do CB41
Comitê de Minério de Ferro da ABNT/IBRAM.
lpserrano@hotmail.com

RESUMO: Não há como garantir a qualidade química da produção em mineração se não houver certificação da qualidade dos padrões de referência. Na Mina de Serra Azul, operada pela ArcelorMittal em Itatiaiuçu Minas Gerais, há toda uma sistemática de controle dos processos produtivos desde a lavra até a assistência ao cliente no embarque do produto para a destinação final. As análises químicas são padronizadas por normas técnicas ABNT e ISO. A produção na Mina de Serra Azul requer uma gama grande de padrões de referência com características próprias que o mercado de material de referência não tem condições de suprir. Por esse motivo, a ArcelorMittal desenvolveu uma metodologia simplificada, mas eficiente, e baseada em critérios estatísticos consagrados para produzir seus

próprios materiais de referência secundários (ou internos) para atender a sua própria demanda deste tipo de material.

PALAVRAS-CHAVE: material de referência; planejamento de experimento; minério de ferro.

ABSTRACT: There is no way to guarantee the chemical quality of mining production if there is no certification of the quality of the reference standards. At the Serra Azul Mine, operated by ArcelorMittal in Itatiaiuçu Minas Gerais, there is a whole system of control of the production processes from the mining to the assistance to the customer in the shipment of the product to the final disposal. The chemical analyzes are standardized by technical standards ABNT and ISO. Production at the Serra Azul Mine requires a large range of benchmarks with its own characteristics that the reference material market can not afford. For this reason, ArcelorMittal has developed a simplified but efficient methodology based on established statistical criteria to produce its own secondary (or internal) reference materials to meet its own demand for this type of material.

KEYWORDS: reference materials; experiment planning; iron ore.

1 | INTRODUÇÃO

Normalmente o processo de certificação de materiais de referência faz uso de programas **interlaboratoriais** com a participação de vários laboratórios de indiscutível competência em análise química de minérios sob a coordenação centralizada de uma instituição que prepara e envia as amostras para os testes e avalia os resultados dos participantes emitindo um certificado deste material de referência que é usado não só pelos participantes como por todas as empresas do ramo. No Brasil o principal organismo certificador é o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo ligado a USP que já produziu inúmeros trabalhos neste campo e preparou alguns padrões de minério de ferro. Entretanto este é um procedimento oneroso, demorado e que não atende as necessidades do processo de produção da ArcelorMittal que desenvolveu uma metodologia adequada a suas necessidades trabalhando num programa **intralaboratorial** utilizando seu quadro técnico e demais recursos próprios.

2 | PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

Para realizar uma avaliação da qualidade dos resultados de análises intra/interlaboratórios, é necessário ser extremamente criterioso no desenvolvimento de um experimento, desde o seu planejamento até a sua execução, para que os objetivos traçados não sejam comprometidos por problemas na sua condução, com perda de tempo, recursos financeiros e humanos.

PREMISSAS BÁSICAS:

Aleatorização: Tem por objetivo minimizar a possibilidade de que haja tendência nas execuções e entre os executantes.

Repetição: A repetição é indispensável para a comparação dos dados. Evidentemente, quanto maior o número de repetições mais confiável tende a ser a avaliação. No entanto, há formas de se definir um número mínimo de repetições para se atingir um determinado nível de confiança desejável.

Controle local (supervisão): O experimento deve ser conduzido de forma a avaliar as condições impostas ao planejamento e não o aspecto gerencial do controle de qualidade no dia a dia. Ou seja, é preciso retirar toda e qualquer pressão sobre o executante.

Experiência profissional: É fundamental a avaliação prévia dos resultados. A Estatística é apenas uma ferramenta de auxílio à decisão, mas a experiência profissional do “pesquisador/dono” dos dados é tão importante quanto os números gerados com os testes estatísticos. O importante é criar **métricas** que possam aferir continuamente a qualidade dos resultados dos laboratórios.

Utilizou-se como ferramenta de análise dos dados, a Análise de Variância com um fator ou Delineamento Inteiramente Casualizado – DIC; ANOVA One Way, [Montgomery 1997].

Fatores: sete (7) Laboratoristas; **Tratamentos:** cinco (5) réplicas por laboratorista,

totalizando um conjunto de 35 amostras para análise.

Os Laboratoristas foram designados por: L1, L2, L3 L4, L5, L6 e L7.

Características de qualidade avaliadas (variáveis de resposta) em %: Fe total via Fluorescência de Raios X (Fe XRF), Fe total Via Úmida (Fe UV), SiO₂, Al₂O₃, P, Mn, CaO, TiO₂, MgO e PPC (todas em teor %). Neste artigo, vamos apresentar apenas os resultados obtidos para Fe XRF.

Amostra: padrão interno PI 001 – ITAK em 35 frações (30g cada, sendo cinco para cada laboratorista).

3 | FE TOTAL VIA FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FE XRF)

Labs/ Estat	Réplica					Laboratoristas					
	1	2	3	4	5	\bar{X}_r	σ_r^2	σ_r	Max _r	Min _r	Amplitude
L1	45,986	46,060	46,233	46,226	46,145	46,130	0,011	0,107	46,233	45,986	0,247
L2	46,090	46,273	46,289	46,259	46,257	46,234	0,007	0,081	46,289	46,090	0,199
L3	46,224	46,097	46,426	46,282	46,293	46,264	0,014	0,119	46,426	46,097	0,329 ^(*)
L4	46,286	46,240	46,362	46,396	46,345	46,326	0,004	0,062	46,396	46,240	0,156
L5	46,148	46,091	46,173	46,080	46,316	46,162	0,009	0,095	46,316	46,080	0,236
L6	46,101	46,238	46,211	46,201	46,272	46,205	0,004	0,064	46,272	46,101	0,171
L7	46,132	46,238	46,103	46,058	46,098	46,126	0,005	0,068	46,238	46,058	0,180
\bar{X}_R	46,138	46,177	46,257	46,215	46,247						
σ_R^2	0,009	0,008	0,012	0,014	0,008						
σ_R	0,097	0,090	0,111	0,117	0,091						
Max _R	46,286	46,273	46,426	46,396	46,345			Repet.	r	0,342	
Min _R	45,986	46,060	46,103	46,058	46,098			Reprod.	R	0,452	
Amplitude	0,300	0,213	0,323	0,338 ^(*)	0,247						
										\bar{X}_{Total}	46,207

^(*) assinalados os maiores valores. Todos dentro dos limites de r e R.

Tabela 1: Dados e Estatísticas para Laboratoristas e Réplicas

3.1 Análise descritiva dos dados (35 resultados de análises) – Avaliação prévia dos resultados das análises

Min	1° Q ^(*)	Mediana	Média	3° Q ^(*)	Max	σ_{Tot}^2	σ_{Tot}	R _{Tot}	OBS
45,99	46,10	46,23	46,21	46,28	46,43	0,01114	0,1056	0,44	$4\sigma_{Tot} < R_{Tot}$

^(*) primeiro e terceiro quartis, respectivamente.

Tabela 2: Estatística descritiva do conjunto de dados

Os dados da **Tabela 2**, associados ao Diagrama de Caixa (Box Plot), da **Figura 1**, nos permitem avaliar se os dados têm uma distribuição simétrica e se há presença de “outliers”, [Hogg & Tanis 1999].

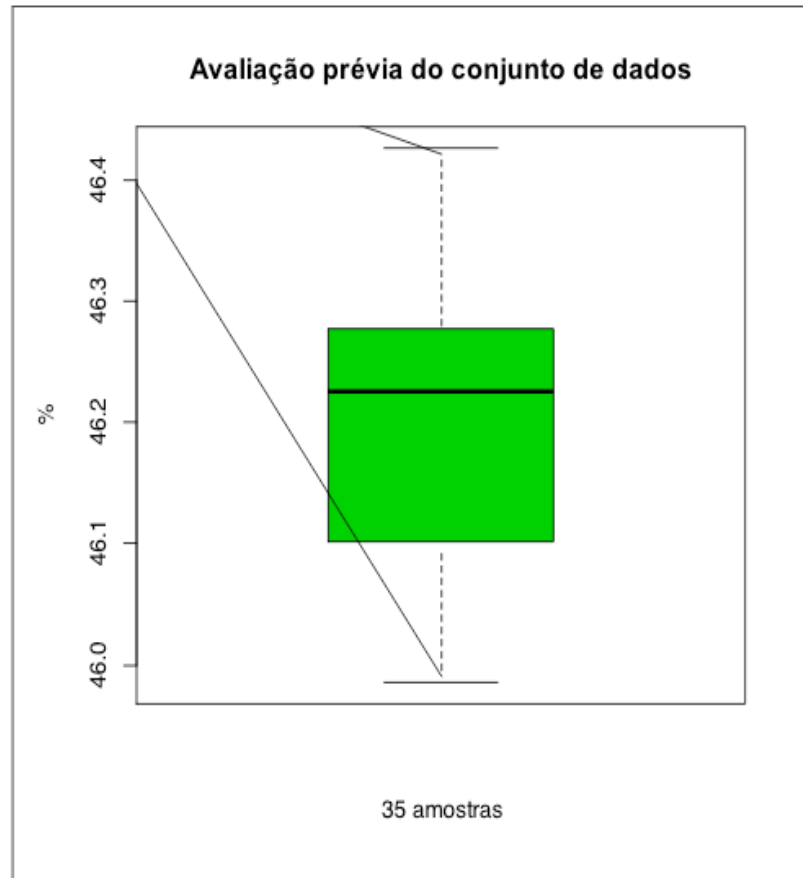


Figura 1: Box Plot dos Resultados das Análises.

3.2 Avaliação da normalidade do conjunto dos dados (35 resultados de análise)

Testes estatísticos utilizados: Foram usados os testes de Shapiro–Wilk (SW), Jarque–Bera (JB) e Anderson–Darling (AD), [Conover 1999]. Se a hipótese de normalidade for aceita em pelo menos dois dos três testes, a distribuição dos resultados das análises será aproximadamente normal, o que implicaria em uma “simetria” dos dados em torno da média total (46,207%). A **Tabela 3** apresenta os resultados dos testes de normalidade.

Teste	Valor-p	Hipótese
Shapiro-Wilk	0,5248	H_0
Jarque-Bera	0,7021	H_0
Anderson-Darling	0,2625	H_0

Tabela 3: Resultados dos testes teóricos de normalidade

Se Valor-p > 0,05, [Conover 1999], não se rejeita a hipótese , de normalidade dos dados, caso contrário, rejeita-se , ou seja, é aceita a hipótese alternativa () de não normalidade. Para Fe XRF (%) os resultados das análises são aproximadamente normais. E pode-se continuar com a avaliação estatística.

3.3 Avaliação gráfica da normalidade dos resultados das análises

Uma avaliação mais direta e visual pode ser fornecida pela **Figura 2**. Se os dados se distribuírem em torno da linha reta no centro do gráfico e se estiverem, em sua quase totalidade, dentro dos intervalos de confiança, indicaria uma distribuição normal para os resultados das análises.

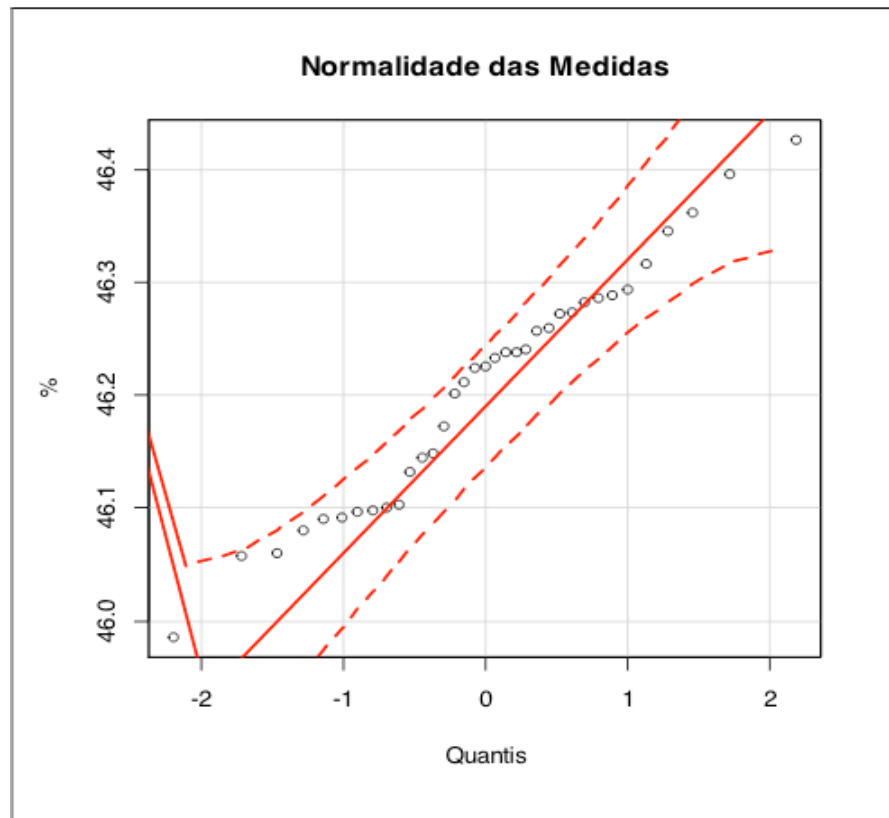


Figura 2: Avaliação gráfica da normalidade

3.4 Avaliação da presença de valores discrepantes (“outliers”) nos resultados das análises

Teste de Grubbs, [Grubbs 1969]:

H_0 (hipótese nula): não há evidências de “outliers”;

H_1 (hipótese alternativa): há evidências de “outliers”.

1ª Parte (Tabela 4):

Se o valor crítico tabelado for maior do que o menor dos valores calculados, isto é $G_{C1} > G_k$, o menor valor dos resultados não será considerado discrepante. Se o valor crítico tabelado for maior do que o maior dos valores calculados, isto é $G_{C1} > G_1$, o maior valor calculado dos resultados não será considerado discrepante. Caso seja identificado algum valor discrepante, o responsável pela execução do experimento deve procurar verificar se há alguma causa identificável e corrigi-la antes de continuar, caso contrário deve manter o resultado.

N	G_{C1}	G_K	G_1	Max(L)	Min(L)	Amplitude	Hipótese
35	2,978	2,079	2,089	46,426(L3)	45,986(L1)	0,440	H_0

Tabela 4: Estatísticas comparativas do teste de Grubbs (1ª Parte)

Como $G_{C1} > G_1 > G_K$, não há resultado considerado discrepante, e a hipótese nula é aceita (**Tabela 4**).

2ª Parte (Tabela 5):

Se G'' , o menor valor calculado, for menor ou igual ao valor crítico tabelado, G_{C2} , exclui-se o valor mais baixo e repete-se o procedimento com os dois menores seguintes, se G' , o maior valor calculado, for menor ou igual a G_{C2} , exclui-se o mais alto e repete-se o procedimento considerando os dois maiores seguintes, caso contrário, a hipótese nula é aceita.

N	G_{C2}	SQ_T	$SQ_{1,2}$	$SQ_{N-1,N}$	G'	G''	Hipótese
35	0,6101	0,37885	0,30402	0,28973	0,8025	0,7648	H_0

Tabela 5: Estatísticas comparativas do teste de Grubbs (2ª Parte)

Como $G' > G'' > G_{C2}$, não há resultado considerado discrepante e a hipótese nula é aceita (**Tabela 5**).

3.5 Avaliação sobre a igualdade das variâncias dos laboratoristas (homocedasticidade)

Teste de Cochran [Conover 1999]:

Se $C_c < C_{tab}$, onde $c_c = \frac{S_{Max}^2}{S_{Total}^2}$ é calculado dos dados das análises e C_{tab} é um valor tabelado, as variâncias podem ser consideradas iguais (homogeneidade). Para sete laboratoristas ($p=7$) e cinco réplicas ($n=5$), tem-se que $C_{tab}=0,431$ [ISO 5725-2 1994].

A maior variância encontrada foi obtida pelo laboratorista três, $L3=0,014$. O somatório das variâncias foi igual a 0,054. Desse modo, $C_c = \frac{0,014}{0,054} = 0,2593$ e não há evidências para rejeitar a hipótese de que as variâncias são estatisticamente iguais. Portanto, aceita-se a hipótese de homocedasticidade.

3.6 Avaliação dos resultados médios dos Laboratoristas

Teste de Grubbs:

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
46,1300	46,2336	46,2644	46,3258	46,1616	46,2046	46,1258

Tabela 6: Médias dos Laboratoristas

N	G _{C1}	G ₁	G _k	Max(L)	Min(L)	Amplitude	Hipótese
7	2,020	1,615	1,094	46,3258	46,1258	0,2000	H ₀

A Hipótese nula (H₀) é aceita.

Tabela 7: Teste de Grubbs (1ª Parte)

N	G _{C2}	SQ _T	SQ _{1,2}	SQ _{N-1,N}	G'	G''	Hipótese
7	0,0708	0,03270	0,015378	0,00886	0,4702	0,2709	H ₀

A Hipótese nula (H₀) é aceita.

Tabela 8: Teste de Grubs (2ª Parte)

Não há evidências para se **rejeitar** a hipótese de que as médias não possuem “outliers” e, portanto, aceita-se .

3.7 Análise de variância para um fator

Trata-se, o experimento, de um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC ou One Way), [Montgomery 1997].

A **Tabela 9** apresenta os resultados estatísticos da Análise de Variância dos dados dos laboratórios.

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	GL	Quadrado Médio	Valor-p	Hipótese
Laboratoristas (L)	0,16352	6	0,027253	0,01	H ₁
Resíduos (R)	0,21533	28	0,0076904	-	
Total		34			

Tabela 9: Tabela ANOVA “One Way”

Primeiramente, é importante fazer uma avaliação do ajuste do modelo “One Way” aos resultados das análises, através dos resultados da ANOVA apresentados na **Tabela 9**.

Erro Quadrático Médio ():

Tem-se que, o erro quadrático médio é dado por:

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Resíduos})^2}{N - k}} \cong 0,077.$$

Essa pode ser uma métrica para comparação futura da modelagem. Por experiência, sabe-se que EQM < 0,20% para Fe é satisfatório, mas quanto menor for o EQM, melhor, já que o ideal é que o erro aleatório seja o menor possível (próximo de zero).

Como se observa, o modelo está bem ajustado aos dados e podem-se avaliar os

resultados da Análise de Variância (ANOVA).

Do ponto de vista teórico, o que se tem por trás da tabela ANOVA e sua análise, é um teste de hipóteses, em que as hipóteses a serem testadas são:

H_0 : não há evidências para se rejeitar a igualdade entre os resultados médios de todos os laboratoristas.

H_1 : pelo menos um laboratorista não apresenta média igual aos demais.

Como Valor-p < 0,05, [Hogg & Tanis 1999], rejeita-se em favor de , ao nível de significância de 5%. Ao nível de significância de 1% não rejeitaríamos . Nesse caso, se for considerado que os resultados são aceitáveis, pode-se concluir (com ressalvas) pela igualdade das médias dos laboratoristas.

Neste teste estatístico, fica evidenciado que, no mínimo, um Laboratorista apresenta média diferente dos demais, ao nível de significância de 5%. Observe-se o gráfico da **Figura 4**.

3.8 Comparações Múltiplas

A **Tabela 10** detalha a comparação entre os resultados e os valores preditos pelo modelo de adotado e o valor do . A **Figura 3** apresenta um gráfico de dispersão dos resíduos (preferivelmente erros aleatórios) em relação ao valor zero (ideal).

N	Labs	Réplica	Análise	Preditos	Resíduos	N	Labs	Rép	Análise	Preditos	Resíduos
1	L1	R1	45,986	46,130	-0,144	22	L1	R4	46,226	46,130	0,096
2	L2	R1	46,090	46,234	-0,144	23	L2	R4	46,259	46,234	0,025
3	L3	R1	46,224	46,264	-0,040	24	L3	R4	46,282	46,264	0,018
4	L4	R1	46,286	46,326	-0,040	25	L4	R4	46,396	46,326	0,070
5	L5	R1	46,148	46,162	-0,014	26	L5	R4	46,080	46,162	-0,082
6	L6	R1	46,101	46,205	-0,104	27	L6	R4	46,201	46,205	-0,004
7	L7	R1	46,132	46,126	0,006	28	L7	R4	46,058	46,126	-0,068
8	L1	R2	46,060	46,130	-0,070	29	L1	R5	46,145	46,130	0,015
9	L2	R2	46,273	46,234	0,039	30	L2	R5	46,257	46,234	0,023
10	L3	R2	46,097	46,264	-0,167	31	L3	R5	46,293	46,264	0,029
11	L4	R2	46,240	46,326	-0,086	32	L4	R5	46,345	46,326	0,019
12	L5	R2	46,091	46,162	-0,071	33	L5	R5	46,316	46,162	0,154
13	L6	R2	46,238	46,205	0,033	34	L6	R5	46,272	46,205	0,067
14	L7	R2	46,238	46,126	0,112	35	L7	R5	46,098	46,126	-0,028
15	L1	R3	46,233	46,130	0,103	EQM = 0,077					
16	L2	R3	46,289	46,234	0,055						
17	L3	R3	46,426	46,264	0,162						
18	L4	R3	46,362	46,326	0,036						
19	L5	R3	46,173	46,162	0,011						
20	L6	R3	46,211	46,205	0,006						
21	L7	R3	46,103	46,126	-0,023						

Tabela 10: avaliação do ajuste do modelo aos dados

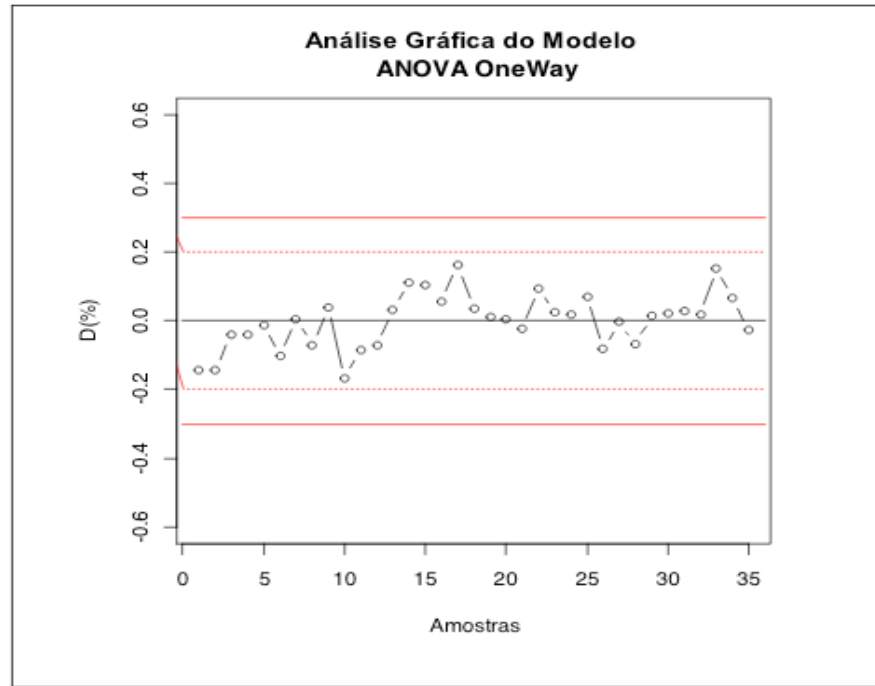


Figura 3: Avaliação dos erros em relação ao modelo One Way.

Observe-se no gráfico da **Figura 3**, que os “resíduos” se encontram dispostos aleatoriamente (sem tendências) em torno do ZERO e dentro dos intervalos de confiança, indicando, dessa forma, que podem ser considerados como variáveis aleatórias independentes com média zero e variância constante, importante requisito para validar a adequação do modelo.

Agora, se faz necessário fazer uma avaliação de quais Laboratoristas têm médias estatisticamente diferentes dos demais. Pela aplicação dos testes de “Tukey” e “t de Fisher” é possível ter uma visão sobre a igualdade ou não entre as médias das análises.

Teste de Tukey: É usado para comparação múltipla das médias e apresenta a probabilidade de duas médias serem iguais (**Tabela 11**).

Teste t de Fisher: Determinação da Diferença Mínima Significativa (**DMS**), a qual apresenta a diferença estatisticamente tolerável na comparação entre duas médias (**Tabela 11**).

Tem-se que:

$$DMS = t_{(N,\alpha)} * \sqrt{\frac{2 * QMR}{n}},$$

Onde $t_{(28,5\%)} = 2,048$; $QMR = 0,0076904$; $n = 5$. Desse modo, obtém-se

DMS=0,1136.

Comparando o valor de 0,114 encontrado para DMS, com os valores encontrados na **Tabela 11**, observam-se diferenças acima da diferença mínima significativa entre os seguintes laboratoristas (respectivas probabilidades entre parênteses): L3 e L1 (22,7%); L4 e L1 (2,17%); L7 e L3 (19,8%); L5 e L4 (7,9%); L6 e L4 (33,5%); L7 e L4 (1,8%).

Através dessas estatísticas observa-se que as diferenças mais críticas entre médias envolvem o laboratorista de número quatro, L4 (maiores diferenças).

Na tentativa de adequação das medidas, uma possibilidade que surge nesse momento, é verificar se a simples retirada de do estudo, poderia fazer com que as médias remanescentes passassem a ser estatisticamente semelhantes.

Labs	Delta	Prob
L2-L1	0,104	0,5166
L3-L1	0,134	0,2265
L4-L1	0,196	0,0217
L5-L1	0,032	0,9972
L6-L1	0,075	0,8249
L7-L1	-0,004	1,0000
L3-L2	0,031	0,9976
L4-L2	0,092	0,6451
L5-L2	-0,072	0,8470
L6-L2	-0,029	0,9983
L7-L2	-0,108	0,4703
L4-L3	0,061	0,9207
L5-L3	-0,103	0,5255
L6-L3	-0,060	0,9293
L7-L3	-0,139	0,1979
L5-L4	-0,164	0,0794
L6-L4	-0,121	0,3347
L7-L4	-0,200	0,0181
L6-L5	0,043	0,9856
L7-L5	-0,036	0,9945
L7-L6	-0,079	0,7863
DMS	0,114	-

Tabela 11: Diferença entre as médias dos laboratoristas

3.9 Determinação da repetibilidade (r) e da reprodutibilidade (R)

Repetibilidade (r): Trata-se de uma medida relativa às réplicas para os laboratoristas.

Reprodutibilidade (R): Trata-se de uma medida relativa às réplicas entre os laboratoristas.

Essas medidas estatísticas são definidas como: $r = f_n * S_r$ e $R = f_n * S_R$, onde f_n é um fator de diferença crítica a ser encontrado na **Tabela 12**.

Além disso, as demais quantidades são calculadas como:

$$S = \sqrt{\frac{(QML-QMR)}{n}}, S_r = \sqrt{QMR} \text{ e } S_R = \sqrt{S^2 + S_r^2}.$$

Da **Tabela 9**, da ANOVA, obtêm-se os seguintes valores:

$$QML = 0,027253 \text{ e } QMR = 0,0076904.$$

$$S = \sqrt{\frac{(0,027253 - 0,0076904)}{5}} = 0,0626; S_r = \sqrt{0,0076904} = 0,0877$$

$$S_R = \sqrt{S^2 + S_r^2} = \sqrt{(0,0626)^2 + (0,0877)^2} = 0,1077.$$

Assim, tem-se que:

$$r = f_5 \times S_r = 3,9 \times 0,0877 = 0,342 \text{ e } R = f_7 \times S_R = 4,2 \times 0,1077 = 0,452.$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f_n	2,8	3,3	3,6	3,9	4,0	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,6

(*) 95% de confiança em função do número "" de réplicas [ISO 5725-6].

Tabela 12: Fator de diferença crítica

3.10 Determinação da exatidão

A exatidão fornece uma visão da qualidade dos resultados médios de Laboratoristas e/ou do Laboratório em relação ao valor da média para um Material de Referência Certificado (MRC) ou mesmo em relação a um padrão interno a critério do Coordenador do Experimento.

Duas métricas ou medidas podem ser calculadas com esse objetivo:

Índice (score) Z:

$$Z = \frac{|X_L - X_{MRC}|}{S_{MRC}}.$$

Sendo que, se $z \leq 2$ pode-se considerar o resultado satisfatório. Se $2 < z \leq 3$, o resultado é considerado duvidoso e, se $z > 3$, o resultado é considerado não satisfatório ou insatisfatório.

Erro normalizado E_n:

$$E_n = \frac{|X_L - X_{MRC}|}{\sqrt{U_L^2 + U_{MRC}^2}}$$

Sendo que, se $E_n \leq 1$ o resultado é considerado satisfatório.

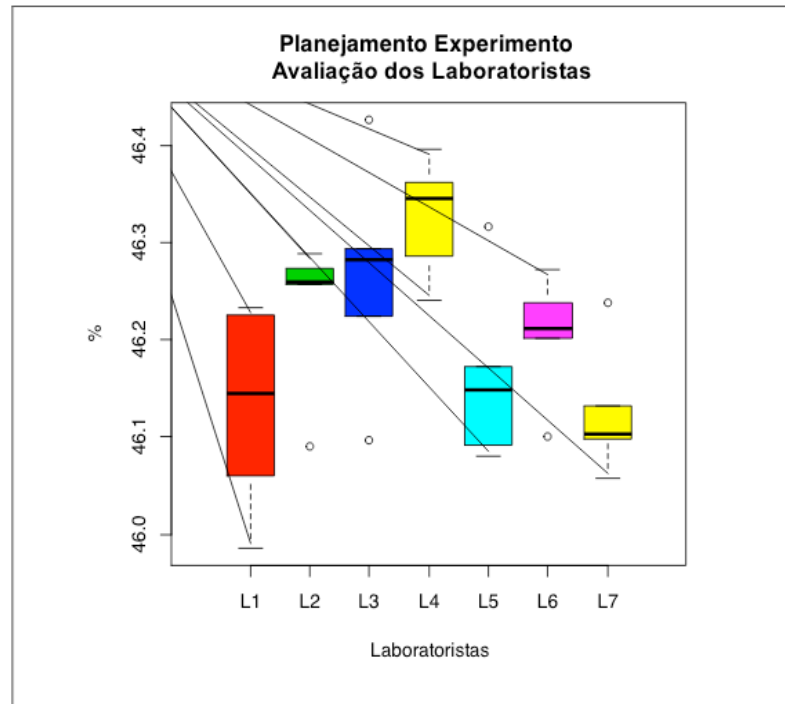


Figura 4: Avaliação dos resultados entre os laboratoristas

Na confecção da **Tabela 13**, usaram-se os valores de X_{MRC} e S_{MRC} como sendo os valores experimentais obtidos nas aferições realizadas pelos laboratoristas, respectivamente, 46,21% e 0,1056%.

Labs	Máx	Mín	$z_{Máx}$	$z_{Mín}$
L1	46,233	45,986	0,218	2,121^(*)
L2	46,289	46,090	0,748	1,136
L3	46,426	46,097	2,045^(*)	1,070
L4	46,396	46,240	1,761	0,284
L5	46,316	46,080	1,004	1,231
L6	46,272	46,101	0,587	1,032
L7	46,238	46,058	0,265	1,439

^(*) Dois resultados considerados duvidosos segundo o critério de escore.

Tabela 13: Exatidão para valores máximos e mínimos

4 | PRECISÃO DE MEDIDA DO LABORATÓRIO

Tem-se que $\beta_M = z_\alpha * \sigma_{Tot}$ é a medida de precisão. Considerando-se esta amostragem e com nível de confiança de 95% ($z_\alpha = 1,96$), portanto, Fe XRF: $\beta_M = 0,21\%$.

5 | AVALIAÇÃO DAS DEMAIS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE:

Todas as demais análises estatísticas foram feitas seguindo os mesmos critérios empregados para a avaliação de Fe XRF. A apresentação dos resultados das principais estatísticas é muito extensa e não caberiam no escopo deste artigo. De todo modo, ressalta-se que a metodologia empregada foi a mesma descrita anteriormente, com resultados muito parecidos.

6 | COMENTÁRIOS FINAIS

O artigo traça uma série de procedimentos metodológicos de Análise Estatística que podem ser empregados em outros laboratórios e mesmo em outras empresas. Essa metodologia se implementada com os cuidados e critérios aqui mencionados, pode ser de grande valia para a melhoria da qualidade e da capacidade de análise dos vários laboratórios e seus profissionais.

REFERÊNCIAS

- “**Accuracy (trueness and precision) of Measurement Methods and Results**”. ISO 5725-2: (1994). Part 6: Use in practice of accuracy values, International Organization for Standardization; Geneva; 2001.
- “**An analysis of variance test for normality (complete samples)**”. *Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. (1965). Biometrika. 52 (3–4): 591–611.*
- “**Applied Multivariate Statistical Analysis**”. Johnson & Wichern (1998). Fourth Edition, Prentice Hall.
- “**A Test of Goodness-of-Fit**”. *Anderson, T. W.; Darling, D. A. (1954). Journal of the American Statistical Association. 49: 765–769.*
- “**Design and Analysis of Experiments**”. Montgomery, D. C. (1997), Fourth Edition - Ed. John Wiley & Sons.
- “**Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals**”. Jarque, Carlos M.; Bera, Anil K. (1980). *Economics Letters. 6 (3): 255–259.*
- “**Métodos experimentais para verificação do vício de amostragem**”. ABNT NBR ISO 3086: (2008). (Nota da pagina 1).
- “**Probability and Statistical Inference**”. Hogg & Tanis (1999). Fifth Edition, Prentice Hall.
- “**Procedures for detecting outlying observations in samples**”. Grubbs, Frank E (1969), Taylor & Francis Group, vol 11, p 1-21.
- “**Practical Nonparametric Statistics**”. Conover, W. J. (1999)., Third Edition, Wiley.

SOBRE O ORGANIZADOR

Ernane Rosa Martins - Doutorado em andamento em Ciência da Informação com ênfase em Sistemas, Tecnologias e Gestão da Informação, na Universidade Fernando Pessoa, em Porto/Portugal. Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, possui Pós-Graduação em Tecnologia em Gestão da Informação, Graduação em Ciência da Computação e Graduação em Sistemas de Informação. Professor de Informática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG (Câmpus Luziânia), ministrando disciplinas nas áreas de Engenharia de Software, Desenvolvimento de Sistemas, Linguagens de Programação, Banco de Dados e Gestão em Tecnologia da Informação. Pesquisador do Núcleo de Inovação, Tecnologia e Educação (NITE), certificado pelo IFG no CNPq.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-478-8

