



Verônica Luiza Esteves dos Santos

**Estudo dos efeitos de tinturas de cabelos nos resultados
do mineralograma capilar: uma abordagem
quimiométrica.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Química.

Orientador: **Tatiana Dillenburg Saint’Pierre**

Rio de Janeiro
Setembro de 2022



Verônica Luiza Esteves dos Santos

**Estudo dos efeitos de tinturas de cabelos nos resultados
do mineralograma capilar: uma abordagem
quimiométrica.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção
do grau de mestre pelo Programa de Pós-Graduação em
Química da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora
abaixo assinada:

Prof^a. Dr^a. Tatiana Dillenburg Saint’Pierre

Orientador
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof^a. Dr^a. Cristiane Ribeiro Mauad

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro -
IFRJ

Prof. Dr. Carlos German Massone

Departamento de Química – PUC-Rio

Prof^a. Dr^a. Maria Tereza Weitzel Dias Carneiro

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas -
UFES

Rio de Janeiro, 21 de setembro de 2022

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e da orientadora.

Verônica Luiza Esteves dos Santos

Graduou-se em Licenciatura em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Atua na área de química analítica e possui experiência em: métodos de extração e decomposição de diferentes matrizes, utilizando micro-ondas e chapa de aquecimento, mineralograma capilar, análise de ânions por cromatografia iônica, análises potenciométricas, análise elementar usando os equipamentos de ICP-MS e ICP OES.

Ficha catalográfica

Santos, Verônica Luiza Esteves dos

Estudo dos efeitos de tinturas de cabelos nos resultados do mineralograma capilar : uma abordagem quimiométrica / Verônica Luiza Esteves dos Santos ; orientador: Tatiana Dillenburg Saint’Pierre. – 2022.

170 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 2022.

Inclui bibliografia

1. Química – Teses. 2. Elementos tóxicos. 3. Cabelo. 4. Tinturas. 5. ICP-MS. I. Saint’Pierre, Tatiana Dillenburg. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Química. III. Título.

CDD: 540

Aos meus amados pais Zilda e Valmir, que sempre incentivaram meus estudos e
me deram todo apoio, amor, carinho e sempre estiveram ao meu lado.
À minha irmã Roberta e ao Mauricio Magalhães, meu amor, por sempre me
apoiar e incentivar.

Agradecimentos

A Deus, pela minha vida e por sua presença guiando meus caminhos.

À PUC-Rio, pela bolsa de isenção concedida.

À minha orientadora Dr. Tatiana Dillenburg Saint’Pierre, por toda a ajuda, paciência, dedicação e orientação, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao Dr. Nazarkovsky Michael, por toda ajuda e ensinamentos que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais Zilda Esteves e Valmir Alves, que são meus exemplos de amor e de vida.

À minha irmã Roberta Aparecida e irmãs do coração Bruna Nôga e Yasmin Barreto, pela amizade, por todo apoio, conselhos e ajuda.

Aos amigos Marcelo Barbosa e Glaucia Nôga, pelo incentivo e apoio.

Ao Mauricio Magalhães, meu grande amor, por seu apoio, amor, amizade, carinho, sua paciência e sua luz, que foram essenciais para essa nova caminhada e superação de desafios.

À minha avozinha Verônica, que mesmo eu não comparecendo em todos os cafés da manhã em família sempre me enviava comidinhas deliciosas.

A todos os meus tios, tias, primos e primas que sempre me apoiaram nos meus estudos, em especial às primas Juliana Santos, Luciana Santos e Marcela, pelas doações de cabelo.

Às maravilhosas amigas da PUC-Rio: Adriana Santos e Yasmin Evelin, por toda ajuda, apoio e pelos chocolates.

Aos amigos Rafael Christian e Enrique Dionisio, que sempre me ajudaram e apoiaram meu trabalho.

Ao amigo Carlos Alberto, pela ajuda, apoio e incentivo.

À toda equipe do LABSPECTRO, por toda ajuda e apoio.

A todas as outras pessoas que participaram dessa minha jornada, expresso minha eterna gratidão.

A todos os professores do programa de pós-graduação em Química, que sempre estiveram dispostos a nos ajudar e nos enriquecer com seus conhecimentos.

À banca avaliadora por aceitar avaliar meu trabalho.

Ao Departamento de Química da PUC-Rio.

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

Resumo

Santos, Verônica Luiza Esteves; Saint’Pierre, Tatiana Dillenburg. **Estudo dos efeitos de tinturas de cabelos nos resultados do mineralograma capilar: uma abordagem quimiométrica**. Rio de Janeiro, 2022. 170f. Dissertação de Mestrado - Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O exame de mineralograma capilar fornece as concentrações de elementos tóxicos e essenciais no cabelo. O uso de produtos capilares, além de poderem representar uma fonte de exposição, é possível que causem alterações na composição mineral do cabelo. Neste trabalho, amostras de cabelo natural foram submetidas a tratamentos com diferentes tinturas e, posteriormente, analisadas seguindo a metodologia pré-estabelecida para determinação multielementar por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). A composição elementar do cabelo humano natural foi comparada com as determinadas nas mesmas amostras de cabelo submetidas a tratamentos com diferentes tintas. Utilizando o teste estatístico Kruskal-Wallis, foi possível identificar diferenças significativas ($p < 0,05$) para os elementos Na, K e Mg, cujas concentrações aumentaram (de 100 a 5000x) após o uso das tinturas permanentes e semipermanentes, enquanto para os cabelos que foram submetidos a tratamentos com corantes naturais isso não foi observado. Alguns elementos como Al, Fe, P tiveram decréscimo em suas concentrações (de 20 a 40%) após o uso desses tratamentos. Diante disso, foi possível determinar que alguns elementos são transferidos ou removidos do cabelo após o uso de determinados produtos, confirmando que tratamentos estéticos podem interferir nos resultados do exame do mineralograma capilar, devendo ser avaliada a necessidade da realização do mesmo em pacientes com cabelo tingido ou a possibilidade de aguardar por, pelo menos, 3 meses sem o uso de tratamentos permanentes antes da coleta da amostra para realização do exame.

Palavras-chave:

Elementos tóxicos; cabelo; tinturas; ICP-MS.

Abstract

Santos, Verônica Luiza Esteves; Saint’Pierre, Tatiana Dillenburg (Advisor). **Study of the effects of hair dye on the results of the capillary mineralogram: a chemometric approach.** Rio de Janeiro, 2022. 170f. Master dissertation – Chemistry Department, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The hair mineral analysis test reports the concentrations of toxics and essential elements inside the hair structure. The utilization of hair care products, in addition to being able to represent an exposure source, also can be responsible for certain changes in the mineral composition of the hair. In present work, natural hair samples were treated with different dyes and, posteriorly, studied following the pre-established protocol for multi-element analysis by means of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Hence, the element compositions of natural human hair after different treatments were compared. With the help of the Kruskal-Wallis statistical test, it was possible to identify significant differences ($p < 0.05$) for the elements, such as Na, K and Mg. Their concentrations increased from 100 to 5000x after the use of permanent and semi-permanent dyes, while in the case of the hair samples treated with the natural dye no significant difference was observed. The concentrations of some elements, such as Al, Fe, P decreased (from 20 to 40%) after the respective treatments. Therefore, it was established that some elements are transferred or removed from the hair after the use of certain products, confirming that aesthetic treatments can interfere the results of the hair mineral analysis test. It reasons testing in patients with dyed hair or the possibility of waiting for about 3 months without the use of permanent treatments before sample collection for the analysis.

Keywords:

Toxic elements; hair; dyes; ICP-MS.

Sumário

1. Introdução	17
1.1. Morfologia do cabelo	19
1.2. Mineralograma capilar	20
1.3. Elementos químicos no organismo humano	21
1.4. Tinturas Capilares	22
1.5. Determinação multielementar por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS)	24
2. Objetivos	28
2.1. Objetivo geral	28
2.2. Objetivos específicos	28
3. Materiais e Métodos	29
3.1. Materiais e Reagentes	29
3.2. Equipamentos	29
3.3. Amostras	30
3.3.1. Produtos empregados na coloração dos cabelos	30
3.3.1.1. Tinta Permanente	30
3.3.1.2. Tinta Semipermanente (tonalizante)	31
3.3.1.3. Tinta temporária (<i>Henna</i>)	31
3.3.1.4. Tablete semipermanente (tonalizante)	31
3.3.2. Preparo das amostras de cabelo	32
3.3.3. Preparo das soluções analíticas	33
3.4. Parâmetros analíticos de mérito	34
3.4.1. Linearidade	34
3.4.2. Limite de detecção e quantificação	35
3.4.3. Exatidão	35
3.5. Análise estatística dos resultados	36
3.5.1. Testes de Normalidade e homogeneidade das variâncias	36

3.5.2.	Identificação de <i>Outliers</i>	37
3.5.3.	Estatística não paramétrica	38
3.5.4.	Análise multivariada	39
3.5.5.	Exploração dos dados	42
4.	Resultados e Discussão	46
4.1.1.	Sensibilidade	46
4.1.2.	Exatidão	48
4.2.	Análise estatística dos resultados	49
4.2.1.	Análise geral dos resultados e remoção de outliers	49
4.2.2.	Análise Discriminante	50
4.2.3.	Heterogeneidade dos resultados	70
4.2.4.	Teste de Kruskal-Wallis	70
4.2.5.	Post-hoc de Wilcoxon	72
5.	Conclusões	83
6.	Referências	84
	Anexos	91

Lista de Figuras

Figura 1 Estrutura do fio de cabelo.....	19
Figura 2 Mecanismo de ação das tinturas temporárias, semipermanentes e permanentes, no fio de cabelo. Fonte: https://br.pinterest.com/pin/466685580143974683/?nic_v3=1a1jJ6Y8n	23
Figura 3 - Esquema dos componentes principais do NexIon 300X (adaptada de PerkinElmer).	24
Figura 4 Esquema do procedimento de lavagem das amostras de cabelo para a amostra CN1 tratamento A.....	32
Figura 5 Esquema do procedimento de preparo das amostras de cabelo.....	33
Figura 6 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN1) e tratados (CN1A, CN1B, CN1C, CN1D, CN1E), da amostra C1.....	56
Figura 7 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN1) e tratados (CN1A, CN1B, CN1C, CN1D, CN1E) da amostra C1.	57
Figura 8 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN2) e tratados (CN2A, CN2B, CN2D) da amostra C2.....	59
Figura 9 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas separação dos cabelos natural (CN2) e tratados (CN2A, CN2B, CN2D) da amostra C2.	59
Figura 10 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN3) e tratados (CN3A, CN3B, CN3C, CN3D, CN3E) da amostra C3.	61
Figura 11 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN3) e tratados (CN3A, CN3B, CN3C, CN3D, CN3E) da amostra C3.	61
Figura 12 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN4) e tratados (CN4A, CN4B, CN4C, CN4D) da amostra C4.	63
Figura 13 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN4) e tratados (CN4A, CN4B, CN4C, CN4D) da amostra C4.	63
Figura 14 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN5) e tratados (CN5A, CN5B, CN5D) da amostra C5.	65
Figura 15 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN5) e tratados (CN5A, CN5B, CN5D) da amostra C5.	65

Figura 16 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN6) e tratados (CN6A, CN6B) da amostra C6.....	67
Figura 17 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN7) e tratados (CN7A, CN7B, CN7D, CN7E) da amostra C7.	68
Figura 18 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN7) e tratados (CN7A, CN7B, CN7D, CN7E) da amostra C7.	69
Figura 19 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C1.	73
Figura 20 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C2.	75
Figura 21 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C3.	76
Figura 22 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C4.	77
Figura 23 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C5.	78
Figura 24 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C6.	79
Figura 25 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C7.	80

Lista de Tabela

Tabela 1: Parâmetros operacionais do equipamento NexIon 300X	29
Tabela 2 Tratamentos realizados nas amostras.	30
Tabela 3 Diferenças entre PCA e LDA.....	41
Tabela 4: Isótopos monitorados, coeficientes de determinação das curvas analíticas (R^2), limites de detecção instrumental (LD) e limites de quantificação do método (LQ) para os elementos determinados no mineralograma capilar.....	47
Tabela 5 Concentrações certificadas e concentrações obtidas dos elementos, com os respectivos desvios-padrão, em mg kg^{-1} , e recuperação, em %, para a amostra certificada CRM NCS DC 73347 ^a	48
Tabela 6 Concentrações certificadas e concentrações obtidas dos elementos, com os respectivos desvios-padrão, em mg kg^{-1} , e recuperação, em %, para a amostra certificada CRM ERM-DB001.	49
Tabela 7 Componentes canônicas (CC) para os 34 elementos determinados na amostra de cabelo C1.	50
Tabela 8 Dados de predição obtido via <i>screening</i> para os testes realizados na amostra C1 (a) esquerda e C2 (b) direita.	51
Tabela 9 Dados de predição obtido via <i>screening</i> para os testes realizados na amostra C3 (a) esquerda e C4 (b) direita.	53
Tabela 10 Dados de predição obtido via <i>screening</i> para os testes realizados na amostra C5 (a) esquerda e C6 (b) direita.....	54
Tabela 11 Dados de predição obtido via <i>screening</i> para os testes realizados na amostra C7.	55
Tabela 12 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear da amostra C1.....	56
Tabela 13 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C1.	57
Tabela 14 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C1 descrito por 22 elementos.....	58
Tabela 15 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear para a amostra C2.....	58
Tabela 16 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C2.	59
Tabela 17 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C2 descrita por 10 elementos.....	60

Tabela 18 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear para a amostra C3.....	60
Tabela 19 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C3.	61
Tabela 20 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C3 descrita por 16 elementos.....	62
Tabela 21 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear da amostra C4.....	62
Tabela 22 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C4.	63
Tabela 23 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C4 descrita por 8 elementos.....	64
Tabela 24 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear da amostra C5.....	64
Tabela 25 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C5.	65
Tabela 26 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C5 descrita por 20 elementos.....	66
Tabela 27 Sumário das variáveis canônicas para descrição do modelo linear da amostra C6.	66
Tabela 28 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C6.	67
Tabela 29 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C6 descrita por 4 elementos.....	67
Tabela 30 Sumário das variáveis canônicas para descrição do modelo linear da amostra C7.	68
Tabela 31 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C7.	69
Tabela 32 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C7 descrita por 14 elementos.....	69
Tabela 33 Resultado do valor p obtido cada elemento através do teste de Kruskal-Wallis para as amostras C1 a C7.....	71

Abreviaturas e siglas

ABIHPEC Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal,
Perfumaria e Cosméticos

CN	Cabelo natural
CN1	Cabelo natural 1
CN2	Cabelo natural 2
CN3	Cabelo natural 3
CN4	Cabelo natural 4
CN5	Cabelo natural 5
CN6	Cabelo natural 6
CN7	Cabelo natural 7
CN1A	Cabelo natural 1 tingido com tinta permanente
CN1B	Cabelo natural 1 tingido com tinta semi-permanente
CN1C	Cabelo natural 1 tingido com tinta semi-permanente
CN1D	Cabelo natural 1 tingido com tinta temporária
CN1E	Cabelo natural 1 tingido com tinta semi-permanente
CN2A	Cabelo natural 2 tingido com tinta permanente
CN2B	Cabelo natural 2 tingido com tinta semi-permanente
CN2D	Cabelo natural 2 tingido com tinta temporária
CN3A	Cabelo natural 3 tingido com tinta permanente
CN3B	Cabelo natural 3 tingido com tinta semi-permanente
CN3C	Cabelo natural 3 tingido com tinta semi-permanente
CN3D	Cabelo natural 3 tingido com tinta temporária
CN3E	Cabelo natural 3 tingido com tinta semi-permanente
CN4A	Cabelo natural 4 tingido com tinta permanente
CN4B	Cabelo natural 4 tingido com tinta semi-permanente
CN4C	Cabelo natural 4 tingido com tinta semi-permanente
CN4D	Cabelo natural 4 tingido com tinta temporária
CN5A	Cabelo natural 5 tingido com tinta permanente
CN5B	Cabelo natural 5 tingido com tinta semi-permanente
CN5D	Cabelo natural 5 tingido com tinta temporária
CN6A	Cabelo natural 6 tingido com tinta permanente
CN6B	Cabelo natural 6 tingido com tinta semi-permanente

CN7A	Cabelo natural 7 tingido com tinta permanente
CN7B	Cabelo natural 7 tingido com tinta semi-permanente
CN7D	Cabelo natural 7 tingido com tinta temporária
CN7E	Cabelo natural 7 tingido com semi-permanente
CRM	<i>Certified Reference Material</i>
DRC	<i>Dynamic Reaction Cell</i>
DP	Desvio-padrão
HCA	<i>Hierarchical Cluster Analysis</i>
ICP–MS	<i>Inductively Coupled plasma mass Spectrometry</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LABSPECTRO	Laboratório de Espectrometria
LD	Limite de Detecção
LDA	<i>Linear Discriminant Analysis</i>
LQ	Limite de Quantificação
m/z	Massa/Carga
PCA	<i>Partial Components Analysis</i>
RDC	Resolução De Diretoria Colegiada

1. Introdução

Desde os tempos mais antigos, produtos cosméticos são usados pela sociedade, no qual os homens da pré-história já pintavam o próprio corpo, seja para rituais ou no preparo para guerra. A sociedade egípcia, por exemplo, usava verde de malaquita como sombra para olhos e extrato vegetal de *henna* para tingir os cabelos (Leonardi, 2008). Particularmente os cabelos, que eram usados para aquecimento e proteção, sempre receberam atenção especial, o que se comprova a partir da descoberta de pentes e navalhas de pedra por arqueólogos. A prática de cuidar e tratar dos fios já foi relatada por diversos estudiosos, pois são de grande importância estética para homens e mulheres, servindo para adornar o rosto (Kohler, 2011; Oliveira, 2014).

Os cosméticos são produtos de uso externo para várias partes do corpo, usados para auxiliar na rotina de cuidados diários. Atualmente, no mercado, existem inúmeros produtos para limpeza, proteção, correção de odor, tratamentos, e embelezamentos de pele, unhas e dentes (Kalicanin, 2016), e um nicho particular de produtos específicos para tratar, cuidar e embelezar os fios de cabelo.

De acordo com a ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos), o Brasil está entre os cinco países que mais consomem produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, ficando em quarto lugar no consumo desses produtos e, também, de produtos para cuidados com os cabelos, no ano de 2020. (ABIHPEC, 2019).

Dentre os diversos produtos existentes para cabelos, no presente trabalho será dado destaque às tinturas. As tinturas são os cosméticos com função unicamente estética para cabelos mais usados pelos indivíduos, principalmente pelo público feminino. Esses produtos são utilizados para encobrir cabelos grisalhos, mudar a tonalidade ou potencializar a coloração dos cabelos (Oliveira, 2014).

Essas formulações cosméticas podem possuir substâncias nocivas à saúde, principalmente elementos tóxicos. Esses elementos e substâncias encontradas podem causar danos à saúde como, por exemplo, alergias, desequilíbrios no sistema nervoso central, problemas respiratórios e reprodutivos (Ozbek, 2016; Sharafi, 2015).

Os produtos cosméticos são colocados em contato direto com a pele, membranas e mucosas. Nas formulações dos cosméticos, podem ser encontrados elementos e substâncias tóxicas, algumas dessas são colocadas para potencializar ou melhorar algum efeito ou até mesmo serem impurezas que não deveriam estar presentes nas formulações. Por esses motivos, torna-se cada vez mais importante o controle de qualidade de cosméticos (Kalicanin, 2016).

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por implementar as normas para a comercialização de produtos cosméticos. A RDC (Resolução de Diretoria Colegiada) Nº 529 possui uma lista de substâncias que não podem ser utilizadas em produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes. Já a RDC Nº 530 informa a lista de substâncias que os produtos não devem possuir em sua constituição exceto em condições e restrições estabelecidas (ANVISA, RDC Nº 529 de 4 de agosto de 2021; RDC Nº530, de 4 de agosto de 2021).

O corpo humano pode ser considerado uma máquina complexa, que precisa de diversos elementos químicos em faixas de concentrações ideais para um bom funcionamento. Entre os elementos químicos, existem os essenciais, que são importantes para o bom funcionamento do organismo, e os tóxicos, que não deveriam estar presentes no organismo e, dependendo da sua concentração, podem ser prejudiciais à saúde (Pozebon et al., 1999; Carneiro, 2002).

Um balanço mineral adequado é essencial para o organismo humano de forma a prevenir problemas de saúde. As concentrações de elementos químicos no organismo podem ser avaliadas através da análise dos fluidos corporais, urina, unhas, tecidos, cabelos, pois os elementos químicos são excretados naturalmente do organismo por essas vias (Carneiro, 2002). É possível determinar quais elementos estão em excesso e quais estão em falta no organismo através da análise desses materiais biológicos. Esse monitoramento pode ser realizado através do procedimento denominado de mineralograma capilar, que será melhor descrito abaixo. Muitos médicos que solicitam esse exame recomendam que o paciente fique, no mínimo, 3 meses sem realizar procedimentos estéticos nos cabelos, para que o exame seja realizado no cabelo natural (Carneiro, 2002).

1.1. Morfologia do cabelo

O cabelo e os pelos humanos são formados por filamentos queratinizados, que diferem basicamente apenas no ciclo de crescimento e espessura. O diâmetro do fio de cabelo pode variar de 15 a 120 μm . A haste capilar é ilustrada na figura 1, é possível verificar que ela é composta por 3 camadas, são elas: medula, córtex e cutícula. A medula é a parte mais interna do cabelo, que pode ou não estar presente dependendo do tipo de cabelo. O córtex representa grande parte do peso total do cabelo, formado por um conjunto de células cilíndricas, denominadas de matriz. Nele também são encontrados os grãos de melanina (responsáveis pela cor natural do fio). A cutícula é uma camada mais externa, formada por várias subcamadas que recobrem o córtex, que serve para proteção de danos como: produtos químicos, exposição solar, por exemplo (Pozebon et al., 1999; Oliveira 2014).

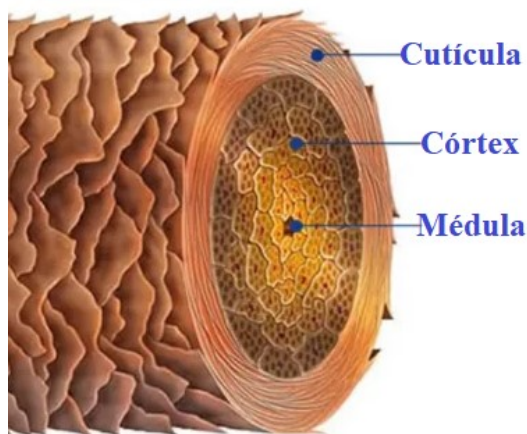


Figura 1 Estrutura do fio de cabelo.

Fonte: <https://educadoresdabeleza.com.br/blog/do-que-e-constituído-o-fio-de-cabelo>.

O cabelo possui 3 fases de crescimento: anágena, catágena e telógena. A fase anágena é a fase de crescimento do cabelo (que cresce aproximadamente 1 cm por mês), com intensa atividade metabólica. O período de transição é conhecido como a fase catágena, em que o cabelo para de crescer e não há mais irrigação sanguínea. A última fase é a telógena, quando o cabelo cai, empurrado por um novo folículo (Pozebon et al., 1999; Peregrino et al., 2016). Na fase anágena, o folículo está em contato com os vasos sanguíneos e substâncias presentes no sangue, fluido e linfa e todos esses materiais são absorvidos pelo

cabelo e ficam incorporados nele durante o seu crescimento, assim, temos a inserção dos elementos químicos ao fio de cabelo pelo mecanismo endógeno (Torres et al., 2015).

Determinados elementos estão presentes em concentrações, de 10 a 300 vezes mais altas no cabelo do que em outros fluidos corporais devido aos mecanismos naturais de acumulação desses elementos no fio. O cabelo age como um órgão de excreção de elementos e outros compostos químicos, que são absorvidos pelo organismo principalmente através da alimentação e ingestão de água. A inserção de elementos químicos ao fio pode decorrer também por inclusão exógena, na qual os elementos químicos são introduzidos ao cabelo por meios externos, como: poeira, produtos químicos, água, produtos cosméticos (Paixão, 2015).

1.2. Mineralograma capilar

A primeira análise do tecido capilar foi proposta em 1858 por Hoppe, que determinou arsênio em cadáveres exumados. Atualmente, também é possível verificar a presença de drogas e outras substâncias no organismo. O cabelo é uma amostra que possui inúmeras vantagens, como a facilidade na coleta, armazenamento e preparo, pois dissolve relativamente fácil em ácidos a quente (Pozebon et al., 1999).

Os minerais entram no organismo através do consumo de alimentos, utilização de produtos industrializados, exposição ambiental e uso de produtos cosméticos. Dessa forma, a análise de cabelo, tem sido usada para avaliar a exposição dos indivíduos a elementos químicos, através do exame chamado mineralograma capilar. Nesse exame, são obtidas informações, não só sobre a presença de elementos tóxicos, mas também sobre elementos essenciais no organismo da pessoa (Carneiro, 2002; Miekeley, 1998).

Esse exame é importante para verificar a composição dos minerais presentes no organismo, uma vez que os elementos químicos são excretados e se acumulam ao longo do fio. A análise de cabelo ainda é capaz de fornecer um histórico da presença de determinado elemento no organismo do indivíduo. É possível determinar diversos elementos em concentrações variadas por diferentes técnicas analíticas. É utilizado em medicina ortomolecular, pois seu

resultado auxilia os médicos nos diagnósticos de doenças relacionadas a desequilíbrios nutricionais e a excesso ou falta de algum mineral especificamente no organismo (Carneiro, 2002; Fortes, 1999; Miekeley, 1998).

Fortes (1999) relata que:

“De maneira simplificada, pode-se dizer que a análise de sangue pode revelar o que está acontecendo no corpo, a urina o que aconteceu e o cabelo reflete o que aconteceu ao nível celular durante um período de tempo de exposição anterior àquele da amostragem, p.ex. do 7º ao 21º dia, se forem coletados os primeiros 5 mm de distância do escalpo. A determinação de elementos no cabelo, portanto, não é apenas uma maneira de monitorar a exposição atual, mas tem a potencialidade para auxiliar na avaliação e reconstrução de eventos passados relativos à saúde do indivíduo.”

1.3.Elementos químicos no organismo humano

Os elementos essenciais são importantes para o bom funcionamento do organismo. Segundo Rocha (2021), para um elemento químico ser considerado essencial é necessário que ele preencha quatro requisitos. O primeiro requisito é que quando um elemento químico essencial está em baixas concentrações ele afeta as funções do organismo, podendo acarretar danos à saúde. A segunda condição é que a ausência desse elemento químico compromete o funcionamento do organismo. O terceiro quesito para ser um elemento essencial é necessário que o elemento em questão faça parte de processos importantes do organismo, especialmente processos envolvendo o metabolismo. Já a quarta premissa é que o elemento químico em questão não pode ser substituído por outro.

Já os elementos tóxicos não são elementos necessários para o funcionamento dos organismos, e inclusive sua presença em determinadas concentrações podem gerar danos à saúde. Importante ressaltar que mesmo elementos essenciais em concentrações elevadas podem apresentar toxicidade Rocha (2021).

Para a realização do exame de mineralograma capilar são determinados vários elementos químicos, dentre eles temos os elementos essenciais (B, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, P, S, Se, Sr, V, Zn), os elementos tóxicos (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Th, U) e outros elementos (Au, Ge e Pd).

1.4. Tinturas Capilares

A cor natural dos cabelos está relacionada à raça e a genética do indivíduo. Ela é originada através da associação de dois tipos de melanina: eumelanina e feomelanina. O tipo mais comum de melanina, presente nos cabelos castanhos e pretos é a eumelanina. Já nos cabelos loiros e ruivos temos a presença da feomelanina, que é um pigmento menos abundante (Sanches, 2019; Oliveira, 2014). Esses dois tipos de pigmento estão presentes no córtex e a proporção no qual estão presentes é o fator que irá determinar a cor natural do cabelo.

A alteração na cor dos cabelos é uma das técnicas de embelezamento feminino mais antigas e mais usadas na atualidade. Oliveira (2014) relata que o uso de tinturas preparadas a partir de corantes naturais, vegetais e minerais tem mais de 4000 anos. É possível citar a sociedade Egípcia como sendo um dos exemplos mais antigos, pois usavam *henna* para embelezamento pessoal, em cerimônias religiosas, no preparo de pessoas falecidas para sepultamento, e em cabelos de múmias. No Império Romano, pentes embebidos com sulfeto de chumbo eram usados para encobrir cabelos grisalhos.

Existem disponíveis no mercado vários tipos de produtos para fins de coloração de cabelos, que podem possuir corantes naturais, minerais ou sintéticos. Nas colorações naturais são encontrados corantes extraídos de plantas, como a *henna*, a mais usada e mundialmente conhecida (Ozbek, 2016). Sais de prata e bismuto, e acetato de chumbo são usados nas tinturas a base de corantes minerais. O chumbo, por exemplo, é um metal tóxico que se bioacumula no organismo e pode causar diversos danos à saúde, e não deveria estar presente em formulações cosméticas, exceto naquelas permitidas pela ANVISA. Esta regulamenta que o acetato de chumbo pode estar presente na concentração máxima de 0,6% m/m em tinturas capilares, que agem pelo acúmulo desses sais na superfície da cutícula do fio, combinando-se com o enxofre das proteínas do cabelo e formando sulfetos de coloração preta, encobrindo assim cabelos grisalhos (ANVISA, RDC N°530, de 4 de agosto de 2021).

Os produtos para coloração capilar disponíveis no mercado são classificados de acordo com o tempo de duração da cor, sendo tinturas temporárias, permanentes e semipermanentes (Ahn; Lee, 2002).

As tinturas temporárias são usadas para realçar a cor e encobrir o tom amarelado de cabelos grisalhos. Em sua composição possuem substâncias de alto peso molecular que se depositam na superfície do fio e, dessa forma, a cor possui menor durabilidade. Tinturas semipermanentes são usadas para realçar a cor, encobrir cabelos grisalhos, mas não possuem poder clareador pelo fato de não possuírem oxidantes em sua constituição. Esse tipo de tintura possui corantes de baixo peso molecular em sua constituição, que se depositam apenas na cutícula. As tinturas permanentes compreendem 80% das tinturas capilares vendidas, são capazes de cobrir 100% dos fios grisalhos, podem clarear ou escurecer a cor natural dos cabelos. Em sua formulação são encontrados agentes alcalinizantes, que são responsáveis por abrir as cutículas possibilitando a entrada dos intermediários primários e acopladores no fio. Na estrutura interna do fio, o intermediário primário é oxidado pelo peróxido de hidrogênio originando um composto imino que, ao reagir com um acoplador, forma um composto incolor que sofre inúmeras etapas de oxidação para originar um composto colorido, dando assim uma nova tonalidade aos fios. O corante formado possui alto peso molecular dificultando assim sua saída do fio, consequentemente, a nova cor dos fios é duradoura e irreversível até que o cabelo cresça (Guerra-Tapia, 2014; Oliveira, 2014; Santos et al., 2016). A figura 2, ilustra o mecanismo de ação que diferencia os tipos de tinturas, descrito anteriormente.

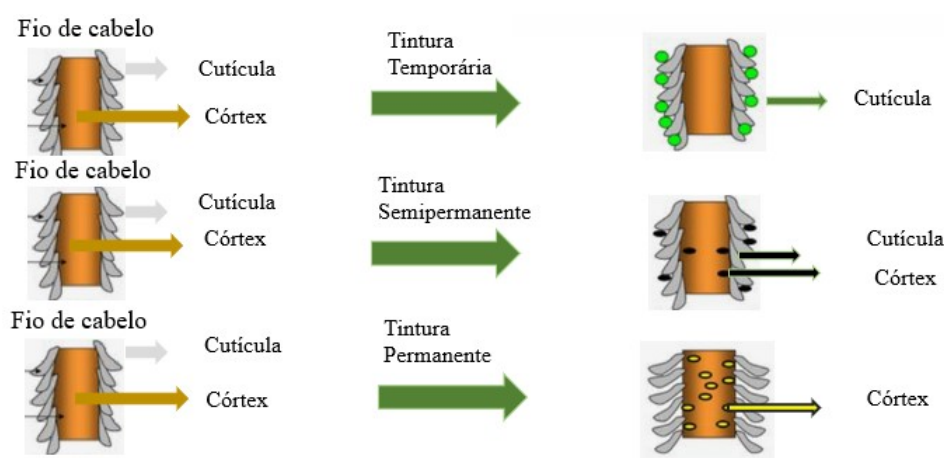


Figura 2 Mecanismo de ação das tinturas temporárias, semipermanentes e permanentes, no fio de cabelo. Fonte: https://br.pinterest.com/pin/466685580143974683/?nic_v3=1a1jJ6Y8n.

1.5. Determinação multielementar por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS)

A espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) é uma técnica de determinação multielementar, sequencial rápida, amplamente utilizada para caracterização de amostras, em inúmeras áreas. É uma técnica que possui alta sensibilidade, baixos limites de detecção (LOD), da ordem de ng L^{-1} , permite a determinação de isótopos (Giné, 1999).

Uma fonte de íons, formado por um plasma a elevada temperatura, é responsável pela geração de íons gasosos positivamente carregados que serão separados de acordo com suas razões massa carga por um separador de massas e, posteriormente, quantificados.

A figura 3, ilustra o esquema dos componentes principais do espectrômetro de massas, modelo NexIon 300X (PerkinElmer, EUA), formado pelo: sistema de introdução de amostras, a tocha, interface, separador de massas e detector.

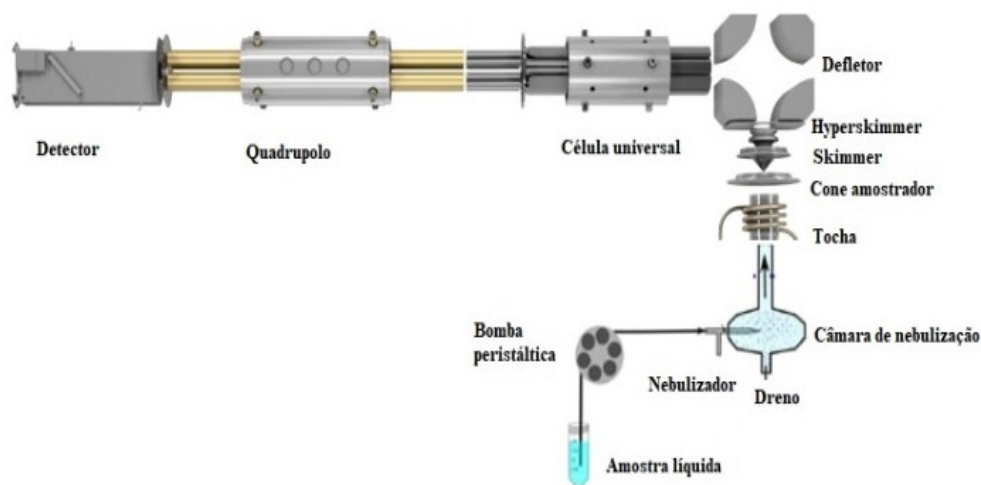


Figura 3 - Esquema dos componentes principais do NexIon 300X (adaptada de PerkinElmer).

Os sistemas de introdução de amostras, considerados por muitos autores a parte crucial no equipamento, variam de acordo com o tipo de amostra, pois elas podem ser introduzidas na forma líquida, sólida ou de vapor. O sistema ideal deve minimizar as interferências, maximizar as intensidades dos analitos, gerar menores desvios, portanto maior estabilidade. Em geral a introdução de amostras líquidas é a forma mais utilizada e ocorre através da formação de um

aerossol, o que simplifica o processo de homogeneização e quantificação da amostra (Thomas, 2001).

Para a introdução de amostras líquidas é necessário o uso de um nebulizador acoplado a uma câmara de nebulização. A amostra líquida é aspirada com auxílio de uma bomba peristáltica até chegar no nebulizador com função de vaporizar a amostra, acoplada a uma câmara de nebulização, na qual apenas um aerossol fino e homogêneo irá chegar até o plasma e as demais partículas irão condensar, sendo assim, descartadas (Giné, 1999; PerkinElmer; Thomas, 2001).

O plasma é um gás parcialmente ionizado a alta temperatura, responsável pela geração dos íons. O gás mais utilizado para esse fim é o argônio, que é quimicamente inerte e possui alta energia de ionização, portanto a energia do plasma gerado é suficiente para ionizar vários elementos da tabela periódica. O plasma é originado na tocha que é formada por 3 tubos concêntricos. O fluxo de argônio principal, com vazão entre 12 e 18 L.min⁻¹, dependendo do fabricante, passa tangencialmente entre os tubos externo e o intermediário, sendo usado para a formação do plasma. Um fluxo de gás auxiliar passa na seção intermediária com vazão aproximada de 1 L min⁻¹, esse fluxo ajuda a proteger o injetor da alta temperatura do plasma, servindo também para alterar a posição da base do plasma. O gás nebulizador, também chamado de gás de arraste, possui vazão que pode ser otimizada, entre 0,7 e 1,5 L min⁻¹. O aerossol da amostra é dessolvatado ao ser introduzido no plasma, devido à elevada temperatura do plasma, e depois ocorrem os processos de vaporização, atomização e ionização (Giné, 1999).

A interface geralmente consiste em dois cones, amostrador e *skimmer*, de platina ou níquel, que possuem, cada um, um pequeno orifício, e uma lente iônica, que tem a função de colimar o feixe de íons positivos. A interface é responsável pela extração e aceleração dos íons formados no plasma para o separador de massas.

O separador de massas é o responsável por separar os íons positivos de acordo com a sua razão m/z , para quantificação. Dentre os separadores existentes o quadrupolo é o mais usado. Ele é composto por 4 barras de cerâmica ou alumina revestidas de ouro, conectadas paralelamente de forma equidistante,

às quais são submetidas diferenças de potencial alternadas e contínuas (Thomas, 2001).

Os íons são separados e um sinal, em contagens por segundo (cps), obtido para cada elemento, pelo *software* do equipamento. A intensidade do sinal gerado é proporcional à concentração do elemento. Dessa forma, é importante avaliar a presença de interferências (Giné, 1999; PerkinElmer; Thomas, 2001).

As interferências podem ser do tipo espectrais e não-espectrais. As interferências espectrais estão relacionadas à resolução do equipamento, elas são causadas por sobreposição, que podem ser isobáricas, por íons poliatômicos, óxidos refratários e íons de carga dupla. As interferências isobáricas ocorrem quando há sobreposição de massa de isótopos de elementos diferentes, elas podem ser resolvidas através da escolha de outro isótopo livre de interferências. Já as interferências poliatômicas ocorrem devido à recombinação de elementos, resultando em um íon poliatômico com razão m/z próxima à do analito de interesse. Esse tipo de interferência pode ser resolvido através da escolha de isótopos alternativos ou correção matemática. A formação de óxidos refratários é um tipo de íon poliatômico, especificamente formado por recombinação dos elementos com oxigênio, na região mais fria do plasma. Esse tipo de interferência, assim como as interferências causadas por íons de dupla carga, podem ser minimizadas com a otimização da potência do plasma e vazão do gás do nebulizador (Giné, 1999; Peregrino, 2016; Rocha 2021).

As interferências não-espectrais estão relacionadas aos efeitos da matriz da amostra. Dentre elas, as mais comuns são: interferência de transporte, interferências de ionização e discriminação de massa. A interferência de transporte ocorre devido a diferenças nas propriedades físico-químicas das soluções analíticas e da amostra, como a alta quantidade de sólidos dissolvidos, que pode afetar a taxa de nebulização. É possível solucionar esse tipo de interferência através da diluição da amostra, do uso de padrão interno, e outras técnicas de calibração. A interferência de ionização ocorre quando, na solução a ser analisada, há alta concentração de um analito facilmente ionizável que diminui o grau de ionização do analito de interesse e, consequentemente, o seu sinal. É possível minimizá-la através de técnicas de calibração ou separação do

analito da matriz. Dentre esse tipo de interferência, ainda podemos destacar a discriminação de massa, que está relacionada ao efeito espaço-carga na lente iônica (Giné, 1999; Peregrino, 2016; Rocha 2021).

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Comparar a composição elementar do cabelo humano natural com a do mesmo cabelo humano que foi submetido a tratamentos com diferentes tipos de tinta, de maneira a identificar, estatisticamente, variações nas concentrações dos elementos químicos, afetando o resultado do exame de mineralograma capilar.

2.2. Objetivos específicos

- Selecionar amostras de cabelos naturais e amostras de diferentes produtos para tintura de cabelos, como tintura permanente e tonalizante.
- A partir das quantidades de amostras e tipos de produtos para tingimento de cabelos, fazer um planejamento para aplicação dos produtos nas amostras de cabelo.
- Analisar as amostras de cabelo natural e tingidos por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), empregando a metodologia existente no Labspectro para o exame de mineralograma capilar.
- Comparar os resultados de concentrações de elementos químicos, através de ferramentas estatísticas, a fim de identificar diferenças entre os cabelos naturais e tingidos.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais e Reagentes

Todo o trabalho foi realizado utilizando água ultrapura (resistividade $> 18 \text{ M}\Omega \text{ cm}$), proveniente de um sistema Milli-Q (Merck, Milipore, EUA), HNO_3 P.A. (Hexis, Brasil) (bidestilado), H_2O_2 suprapur (Merck, Brasil), os seguintes padrões multielementares: Multi-Element Calibration Standard 3 (no Hg), Multi-Element Calibration Standard 5, Multi-Element Calibration Standard 2, todos com concentração de 10 mg L^{-1} , e monoelementar de Hg de 1000 mg L^{-1} , todos da Perkin Elmer, EUA, padrões monoelementares de Au, B, K, Na, Ti e Zn, na concentração de 1000 mg L^{-1} cada, Rh na concentração de 10 mg L^{-1} ; Al, Ca, Fe, P e Mg, na concentração de 10000 mg L^{-1} (Merck, Alemanha), Br, I, Sb, Sn e Pd, na concentração de 1000 mg L^{-1} (VHG Labs, EUA) e S 10000 mg L^{-1} (Dinâmica, Brasil).

Para o preparo das amostras e soluções analíticas, tubos de polipropileno do tipo Falcon da marca Sarstedt de 15,0 mL e de 50,0 mL foram usados.

3.2. Equipamentos

Para a metodologia do preparo das amostras foram utilizados: balança analítica (OHAUS, EUA), chapa de aquecimento (Fisaton, Brasil), dispensador automático (Brand, EUA), ultrassom (Thornton, Brasil), estufa de secagem (SPLabor, Brasil). Para a análise das amostras, o equipamento de ICP-MS utilizado foi o modelo NexIon 300X (PerkinElmer, EUA), as condições operacionais do equipamento são ilustradas na Tabela 1. Todos os equipamentos usados estão localizados no Labspectro da PUC-Rio.

Tabela 1: Parâmetros operacionais do equipamento NexIon 300X

Vazão de argônio do plasma	$17,0 \text{ L min}^{-1}$
Vazão do gás auxiliar	$1,10 \text{ L min}^{-1}$
Vazão do gás do nebulizador	$0,92 \text{ L min}^{-1}$
Potência da radiofrequência	1100 W
% de íons bivalentes	$< 3,0$
% de óxidos	$< 3,0$
Número de replicatas	3

3.3. Amostras

O estudo foi realizado com 7 amostras de cabelo natural, obtidas por doação, separadas e identificadas. Ao longo desse trabalho os cabelos serão representados pelos códigos CN seguido do número da amostra, de 1 a 7 cabelo natural, e do tipo de tratamento, sendo A: tintura permanente, B e C: tintura semipermanente de 2 marcas diferentes, D: tinta temporária *henna*, e E: tablete semipermanente. Importante ressaltar que nem todas as 7 amostras de cabelo possuíam quantidade suficiente para serem submetidas a todos os tratamentos estudados. A tabela 2, ilustra os tratamentos realizados nas amostras, é possível verificar que todas as amostras foram analisadas na forma natural e após serem submetidas aos tratamentos A e B. Com exceção da amostra 6, todas foram tratadas com D, as amostras 1 e 3 foram submetidas aos tratamentos C e E, a amostras 4 ao tratamento C e a amostra 7 ao tratamento E.

Tabela 2 Tratamentos realizados nas amostras.

Amostra	A	B	C	D	E
CN1	X	X	X	X	X
CN2	X	X		X	
CN3	X	X	X	X	X
CN4	X	X	X	X	
CN5	X	X		X	
CN6	X	X			
CN7	X	X		X	X

3.3.1. Produtos empregados na coloração dos cabelos

3.3.1.1. Tinta Permanente

Das 7 amostras de cabelo, todas foram submetidas ao procedimento de aplicação da tinta permanente da marca A, nas nuances: castanho, loiro, preto e vermelho. Cada amostra de cabelo foi separada em 5 mechas de aproximadamente 1 g, uma do cabelo natural para ser a amostra controle, e 4 que foram submetidas, cada uma, a um tom de tinta. A aplicação no cabelo seguiu a orientação do fabricante, na qual se utiliza 1 parte de tinta para 2 partes de água oxigenada 40 volumes, com o tempo de pausa de 35 min, lavagem com xampu e enxague.

3.3.1.2. Tinta Semipermanente (tonalizante)

Foram aplicados 2 tonalizantes: marca B, em todas as amostras, e marca C, em 3 amostras de cabelos, ambas nas nuances: castanho, loiro, preto e vermelho. Foi seguido o mesmo protocolo de separação dos cabelos descrito para tintura permanente, e a aplicação realizada seguindo as orientações dos fabricantes. Nesse caso, proporções iguais do tonalizante e do revelador da cor são usadas no preparo da mistura para aplicação nos fios, com tempo de pausa de 35 min (marca B) ou 30 min (marca C) e posterior enxague apenas com água, conforme instruções do fabricante do produto.

3.3.1.3. Tinta temporária (*Henna*)

A henna da marca D em pó, foi aplicada em 6 amostras de cabelo que também foram separados em 3 mechas cada para a aplicação das nuances: castanho, loiro e vermelho. Ela foi preparada conforme descrito na embalagem: 10 gramas de henna para 28 gramas de água morna. A aplicação seguiu a orientação do fabricante na qual os cabelos são lavados com xampu e o excesso de água retirado para posterior aplicação da henna, com tempo de pausa de 45 minutos e posterior enxague com água e aplicação de condicionador.

3.3.1.4. Tablete semipermanente (tonalizante)

O tablete tonalizante da marca E, foi usado em 3 amostras de cabelo. Foi preparado conforme a instrução do fabricante, o tablete foi diluído em água morna e depois misturado com água oxigenada 20 volumes. A mistura foi aplicada no cabelo com um tempo de pausa de 30 minutos, após isso os cabelos foram lavados com água.

3.3.2. Preparo das amostras de cabelo

A metodologia de preparo e decomposição das amostras de cabelo seguiu o procedimento desenvolvido no Labspectro para o mineralograma capilar, otimizado por Rocha (2021), descrito resumidamente e ilustrado através das figuras 4 e 5:

Lavagem da amostra de cabelo:

- Pesar em tubo Falcon de 50 mL aproximadamente 250 mg de cabelo;
- Lavar o cabelo com água ultrapura 3 vezes, intercalando cada lavagem com o banho de ultrassom por 15 min;
- Secar as amostras em estufa a 60 °C, pernoite;
- Retirar as amostras da estufa e deixar à temperatura ambiente para serem pesadas novamente, em balança analítica, com precisão de 0,1 mg.

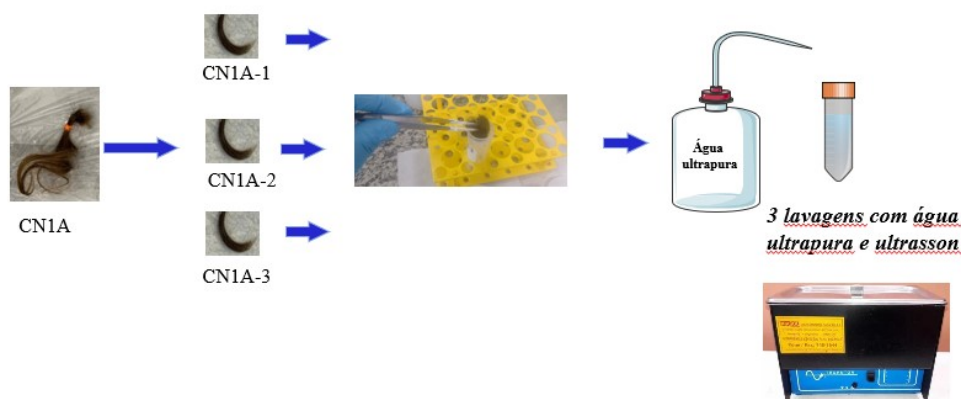


Figura 4 Esquema do procedimento de lavagem das amostras de cabelo para a amostra CN1 tratamento A.

Preparo da amostra de cabelo

- Adicionar HNO₃ concentrado bidestilado aos tubos contendo a amostra de cabelo pesada, e deixar pernoite à temperatura ambiente. O volume de ácido deve ser proporcional à massa de cabelo: 2,5 mL de ácido para 250 mg de amostra.

- Colocar os tubos na chapa de aquecimento a 100 °C, durante 4 h;
- Retirar os tubos da chapa, aguardar atingir a temperatura ambiente e adicionar H₂O₂ suprapur. Da mesma maneira, o volume de peróxido deve ser proporcional à massa de cabelo: 1,00 mL de peróxido para 250 mg de amostra. Retornar os frascos para a chapa por mais 15 min a 100 °C.
- Avolumar os tubos com água ultrapura com auxílio de um dispensador automático (25 mL para 250 mg de amostra) e analisar por ICP-MS.

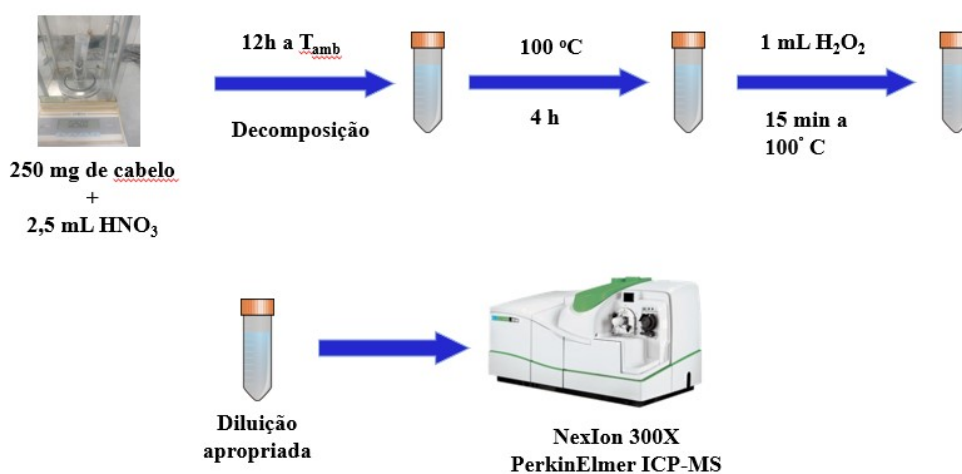


Figura 5 Esquema do procedimento de preparo das amostras de cabelo.

3.3.3. Preparo das soluções analíticas

Seguindo a metodologia do mineralograma capilar, são construídas curvas analíticas com 18 soluções, preparadas a partir de soluções intermediárias dos padrões multielementares e monoelementares. Os isótopos foram escolhidos de acordo com a sua abundância e menor interferência espectral. As concentrações de Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ge, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Pd, Sb, Se, Sn, Sr, U e V variam de 1 a 80 µg L⁻¹, B varia de 11 a 580 µg L⁻¹, I de 2 a 160 µg L⁻¹, Fe, K, Na e Mg variam de 51 a 1080 µg L⁻¹, Ca de 71 a 2680 µg L⁻¹, P de 41 a 3280 µg L⁻¹, Au, Hg e Th de 0,5 a 20 µg L⁻¹, Al de 11 a 380 µg L⁻¹, Zn de 11 a 280 µg L⁻¹, S de 10 a 500 mg L⁻¹. As soluções analíticas foram preparadas com a mesma concentração de ácido nítrico que as amostras (10 % v/v).

Uma solução de Rh com concentração $40 \mu\text{g L}^{-1}$ foi usada como padrão interno, introduzida em linha durante as análises, em todas as soluções: brancos, soluções analíticas e amostras. O Rh foi usado como padrão interno devido à sua massa intermediária e baixas concentrações no cabelo humano.

3.4. Parâmetros analíticos de mérito

Quando um método analítico é desenvolvido ou modificado é de extrema importância analisar a qualidade e confirmar ou não a sua adequação, dessa forma, é necessária fazer uma avaliação do desempenho do método ou instrumento em relação às condições de análise, eliminando erros dos processos de amostragem, manipulação da amostra, realização das análises e cálculos envolvidos, assegurando assim se o método analítico esteja adequado ao seu propósito.

3.4.1. Linearidade

A linearidade de um método demonstra a faixa onde o sinal analítico é proporcional à concentração do analito. Da relação sinal medido e concentração do analito é possível obter a curva analítica que pode ser expressa pela equação de regressão (equação 1), onde “y” é a resposta medida, “a” é a inclinação da curva analítica e “b” é a interseção com o eixo y. O coeficiente de determinação (R^2) das curvas analíticas fornece informações sobre o ajuste da equação ao modelo da curva, pois valores próximos a ± 1 indicam maior probabilidade de existir uma relação linear entre as variáveis x e y. (Ribeiro, 2008)

$$y = ax + b$$

Equação 1

“A linearidade de um método deve ser demonstrada por meio da sua capacidade de obter respostas analíticas diretamente proporcionais à concentração de um analito em uma amostra.” (RDC N°166, de 24 de julho de 2017)

Para este parâmetro também é necessário verificar a presença de *outliers* através de testes estatísticos, assim como calcular os resíduos e realizar a análise dos seus gráficos de dispersão. Se um comportamento homocedástico dos dados

for observado, o modelo de regressão dos mínimos quadrados ordinários é usado, mas se o comportamento heterocedástico é obtido, usa-se o modelo de regressão dos mínimos quadrados ponderados.

3.4.2. Limite de detecção e quantificação

A sensibilidade é obtida através dos cálculos do limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ). O limite de detecção é a menor concentração de analito que o equipamento é capaz de detectar, mas não tem precisão para quantificar com exatidão, pois essas baixas concentrações contêm uma alta incerteza. Já o limite de quantificação é a menor concentração que o equipamento é capaz de determinar com certo grau de confiança em relação a exatidão e repetibilidade (Giné 1998; Inmetro, 2016). Tanto o LD como o LQ são obtidos a partir da análise de 10 brancos de amostras independentes. Nas equações 2 e 3 temos os cálculos para o LD instrumental e LQ do método, onde “sd” é o desvio padrão de 10 medidas da intensidade do branco, “a” é a inclinação da reta da curva da regressão linear e “Fd” é o fator de diluição da amostra.

$$LD = \frac{3 \cdot sd}{a} \text{ Equação 2}$$

$$LQ = \frac{10 \cdot sd}{a} \times Fd \text{ Equação 3}$$

3.4.3. Exatidão

O uso de material de referência certificado (CRM) e testes de recuperação são utilizados para avaliar a exatidão do procedimento analítico. O CRM, de preferência, deve possuir a matriz semelhante à amostra para qual o procedimento foi desenvolvido e ser analisado seguindo o mesmo procedimento para a análise das amostras. Esse material é constituído por elementos com valores de concentração conhecidas, ou seja, valores certificados com suas respectivas incertezas, e a exatidão do método é avaliada a partir da comparação

das concentrações medidas com as concentrações certificadas, através de cálculos estatísticos.

Duas amostras de referência certificadas de cabelo humano foram usadas nesse estudo: NCSDC 73347a, Pequim, China e ERM-DB001, European Reference Materials, Bélgica.

3.5. Análise estatística dos resultados

As técnicas instrumentais atuais fornecem um número grande de dados experimentais e informações, diante disso, é necessário o uso de ferramentas estatísticas para auxiliar na compreensão dessas informações.

Os resultados obtidos por ICP-MS foram transferidos para uma planilha do Microsoft Excel e a análise estatística foi realizada usando os softwares: RStudio (usado para os *boxplots*) e o modulo em código de JSL (JMPPro16 compatível com outras linguagens: *C*, *Python*). (Murphrey, 2018)

Gráficos do tipo *boxplots* foram usados para verificar a distribuição dos elementos entre o cabelo natural e grupos de cabelos tratados, testes estatísticos foram realizados para interpretação dos resultados.

3.5.1. Testes de Normalidade e homogeneidade das variâncias

É importante testar a normalidade dos dados para verificar se possuem ou não distribuição normal (curva de Gauss), a partir disso, identificar qual tipo de estatística será utilizada: a estatística paramétrica, quando a normalidade das variáveis for verificada, ou não-paramétrica, quando os dados não apresentam distribuição normal. Os testes mais utilizados para identificar a normalidade dos dados são: Teste de Shapiro-Wilk e teste de Anderson Darling, eles avaliam a distribuição dos dados em relação a uma distribuição de referência (Lucambio, 2008).

Assim como os testes de normalidade são importantes em relação a qual caminho de análise estatística seguir, os testes de homogeneidade de variâncias também podem auxiliar no tratamento estatístico dos resultados. A partir desses testes, é possível verificar se as variâncias de cada um dos grupos de dados são iguais, dizemos então que os dados possuem homogeneidade de variâncias, mas

se as variâncias são diferentes nesse caso, dizemos que os dados possuem variâncias com distribuições heterogêneas. Os testes mais usados vão desde uma avaliação gráfica a testes como o teste de Bartlett e o de Levene (Lima et al, 2014). O teste de Levene é mais robusto aos desvios de normalidade, enquanto que o teste de Bartlett possui maior desempenho quando há evidências de uma distribuição normal dos dados, por este motivo foram usados no estudo. (NIST)

3.5.2. Identificação de *Outliers*

O termo *outliers* se refere à valores extremos ou pontos que se distinguem dos outros dados, podem gerar erros e afetar os resultados estatísticos obtidos, por este motivo, é importante a sua identificação através de testes estatísticos. Existem diversos testes usados para esse objetivo, como os testes de Dixon, Grubbs, e Intervalo interquartil.

Os testes de Dixon e Grubbs são testes paramétricos para determinação de *outliers*, no teste de Dixon – também chamado de teste-Q, consiste em comparar a diferença entre o valor da medida suspeita (X_n) com o valor do vizinho próximo (X_{n-1}) e a diferença entre o maior e o menor valor do conjunto de dados, os resultados se baseiam na comparação do valor Q calculado com o valor Q de Dixon crítico que é tabelado. (Oliveira, 2014; Ferreira, 2017)

O teste de Grubbs se baseia no cálculo do valor G, através da diferença entre o valor suspeito (g_i) e o valor médio (g_m) dividido pelo desvio-padrão (s), a estatística do teste se dá pela comparação do valor G calculado com o valor G crítico (tabelado). Um valor será considerado *outlier* se G calculado for maior que G tabelado.

Como teste não paramétrico para determinação de valores extremos temos o Intervalo interquartil, nesse teste os dados são ordenados de forma crescente, os quartis superior (Q_3 -75% dos dados) e inferior (Q_1 - 25% dos dados) são calculados, para posterior cálculo do intervalo interquartil chamado de IQR, como mostra a equação 4. Assim valores acima de $Q_3 + 1,5 \times IQR$ e valor abaixo que $Q_1 - 1,5 \times IQR$ são considerados *outliers*.

Nesse trabalho o IQR foi escolhido como método de remoção de *outliers*, devido ao fato de ser um método clássico para retirada dos outliers mais críticos que podem influenciar na interpretação dos resultados.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad \text{Equação 4}$$

3.5.3. Estatística não paramétrica

Para dados que não seguem a normalidade é necessário usar testes estatísticos não paramétricos para a análise de variâncias. Dentre eles os mais usados são: teste de Mann-Whitney para comparar 2 grupos independentes, teste de Wilcoxon usado para comparar 2 grupos dependentes (antes e depois), coeficiente de correlação de Spearman usado para verificar relação entre 2 variáveis numéricas, testes Qui-Quadrado usado para avaliar associação entre 2 variáveis categóricas e teste de Kruskal-Wallis. Esse último teste, é usado em estatística não paramétrica para avaliar 3 ou mais grupos independentes, sendo assim uma alternativa ao teste *one-way* ANOVA (teste paramétrico). Através dele é possível identificar se há ou não diferença significativa entre os grupos testados e com auxílio de um teste de *post-hoc* é possível verificar quais pares de grupos apresentam diferença significativa. Para o teste de Kruskal-Wallis, a variável dependente pode ser numérica ou ordinal e a variável independente deve ser formada por grupos independentes. O valor da estatística do teste é representado por H , que é obtido pela equação 5 e expressa o quanto a média do ranque de cada mostra é diferente da média geral.

$$H = \left(\frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^K \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) \quad \text{Equação 5}$$

Onde k é o número de grupos, n é o número total de medições experimentais, n_i é número de medidas em cada grupo e R_i é a soma dos ranques de cada grupo.

O teste de Dunn também é usado para comparações múltiplas dos tratamentos em relação ao grupo controle. Caso o valor p seja menor que α a

hipótese nula é rejeitada, ou seja, há diferença significativa entre o grupo tratado e o grupo controle e se aceita a hipótese alternativa de que há diferença significativa entre o controle e o grupo testado (Broch, Ferreira, 2015).

3.5.4. Análise multivariada

Os instrumentos mais modernos permitem analisar uma grande variedade de elementos químicos simultaneamente, assim o uso da estatística multivariada torna-se uma boa opção para auxiliar no tratamento dos resultados obtidos, pois busca encontrar padrões e relações entre as diversas variáveis que existem no conjunto de dados.

Na análise univariada, temos uma única variável sendo avaliada em diferentes grupos, nesse tipo de análise geralmente faz-se uso dos testes: teste t, Anova, teste de Wilcoxon. Na análise bivariada usa-se 2 variáveis. Já nas análises multivariadas temos 3 ou mais variáveis sendo analisadas simultaneamente para 1 ou mais grupos, e envolve diversos métodos e técnicas para utilizar todas as variáveis de forma simultânea de modo a auxiliar na interpretação dos dados.

Na análise multivariada é importante considerar se as variáveis são dependentes ou independentes, no caso de variáveis que não dependem umas das outras (independentes) serão usadas técnicas multivariadas: análise fatorial ou análise discriminante. Já quando é verificado que as variáveis são dependentes podem ser usados métodos de regressão múltipla (para variáveis quantitativas) ou regressão logística (para análises qualitativas).

Os métodos de análise de componentes principais (PCA) é um método não supervisionados, ou seja, não requer suposição inicial sobre a estrutura dos dados. Esses métodos verificam o comportamento dos dados e são muito utilizados para analisar a forma como os dados se relacionam e suas semelhanças em relação às variáveis em estudo. O PCA é uma técnica estatística que ajuda na redução dos dados e permite extrair os fatores mais importantes (componentes principais) dos dados, variáveis com maior peso, preservando a maior parte da variância. Esses fatores descrevem as interações entre as

variáveis medidas e revelam tendências, auxiliando na interpretação dos dados. (Ferreira, 2015; COVA, 2011)

Dentre os métodos de classificação ou métodos supervisionados de reconhecimento de padrões temos a Análise Discriminante Linear (LDA) é uma ferramenta estatística que permite classificar elementos de uma amostra ou população, melhorar a visualização dos dados e reduzir a dimensão dos dados, para obter um bom classificador. Ainda é capaz de definir uma regra de classificação para identificar os grupos nos quais pertencem os elementos amostrais.

Para a análise discriminante linear, os dados são obtidos de uma amostra de observações experimentais com associação de categoria conhecida juntamente com seus valores nos parâmetros medidos (covariáveis). Considera a existência de classes para os dados, projeta a distribuição de probabilidade dos dados nos eixos e por isso não somente mantém como destaca uma separação linear dos dados se ela existir, maximizando as distâncias entre as classes e minimizando a distância dentro da classe. A tabela 3 ilustra as principais diferenças entre PCA e LDA.

Tabela 3 Diferenças entre PCA e LDA.

PCA	LDA
Método não supervisionado, não requer suposição inicial sobre a estrutura dos dados.	Método supervisionado de aprendizagem
O objetivo é encontrar agrupamentos naturais.	O objetivo é desenvolver um modelo baseado nos dados das amostras, de forma a construir o modelo para que o algoritmo identifique cada classe.
Relação entre a variável independente	Relação entre a variável dependente e independente.
Redução das variáveis com base na colinearidade da variável independente.	Redução de variável baseado na força da relação entre a variável independente e dependente para encontrar as variáveis que possuem mais poder discriminante com relação entre dependente e independente.
Encontra a direção que maximiza a variação nos dados.	Encontra a direção que maximiza a diferença entre as classes.
Encontra os principais eixos de variação dos dados em qualquer dimensão não discrimina se esses dados pertencem ou não a mesma classe (útil para redução de dimensão não para classificação).	<p>Considera a existência de classes para os dados, projeta a distribuição de probabilidade dos dados nos eixos e por isso não somente mantém como destaca uma separação linear dos dados se ela existir.</p> <p>Maximiza as distâncias entre as classes e minimiza a distância dentro da classe.</p>

No presente trabalho, foi aplicado o método de ajuste linear, o que significa que as matrizes de covariância dentro da categoria foram consideradas idênticas. Dessa forma, supõe-se que as médias covariáveis para os grupos sejam diferentes. Os dados foram representados na forma de plot canônico e matriz de confusão. A correlação canônica representa as categorias e as covariáveis

(variáveis contínuas). As últimas formam combinações lineares, rotuladas como variáveis canônicas, que resumem a variação entre categorias. A primeira variável canônica é a combinação linear das covariáveis que maximiza a correlação múltipla entre as variáveis indicadoras de categoria e as covariáveis. A segunda variável canônica é uma combinação linear não correlacionada com a primeira variável canônica que maximiza a correlação dos múltiplos com as categorias. Neste aspecto, o método é semelhante ao PCA (Kass, 1980).

3.5.5. Exploração dos dados

A estatística se refere à interpretação dos parâmetros já a *machine learning* usa métodos da estatística aplicados a ciência da computação com o objetivo da predição. A partir da observação dos dados um modelo computacional e matemático pode ser criado para gerar respostas (predição).

O modelo é utilizado para gerar algoritmos preditivos, para manipular um grande volume de dados e extrair informações úteis, para isso é necessário definir os objetivos, coletar os dados para depois fazer exploração e preparo dos dados para a formação do modelo que deve ser avaliado, a fim de verificar a qualidade do algoritmo e verificar se há necessidade de realizar alguma melhoria do modelo.

Quando há um grande número de variáveis podemos usar o *Predictor Screening*, que é um método útil para encontrar variáveis preditoras mais significativas. Essa plataforma faz uso do *Bootstrap Forest*.

O uso de árvore de decisão geralmente é iniciado com um único nó que se divide em possíveis resultados, que levam a nós adicionais que se ramificam em novos gerando assim as árvores de decisão. É uma técnica de aprendizado supervisionado que prediz valores de respostas, pode ser usada para regressão ou classificação. Este método usa um conjunto de treinamento (amostras previamente classificadas) através de algoritmos, para posteriormente classificar outras amostras com essa árvore.

Segundo Hasties et al. 2008, as árvores de decisão são imprecisas para o aprendizado preditivo de novas amostras, mas objetivando aumentar sua

precisão várias árvores podem ser usadas num método de *conjunto*, como com agregação *bootstrap* “*bagging*”, *Random Forests* ou *boosting*. Técnicas de *Ensemble*, consistem na combinação de vários modelos para fazer previsões de um modelo individual. Existem dois tipos de métodos: *boosting* ou *bootstrap*. (Sruthi, 2021)

Bootstrapping é um método de reamostragem, que envolve amostragem aleatória de um conjunto de dados com substituição, ou seja, selecionar dados aleatoriamente e permitir duplicatas de forma que tenha o mesmo tamanho do conjunto de dados original (dados *bootstrap*). Os passos básicos para o *Bootstrapping*, são: criar um conjunto de dados *bootstrap*; calcular a média ou mediana ou desvio padrão ou qualquer outro parâmetro estatístico; manter o controle desse cálculo e repetir os passos anteriores várias vezes, produzindo então vários conjuntos de treinamento, que melhora o desempenho preditivo. Reamostragem da população original representa o resultado esperado caso fossem retiradas várias amostras da população, dessa forma a distribuição por *bootstrap* representa a distribuição de amostragem da estatística.

Boosting é um modelo de conjunto que combina várias árvores de decisão com baixo poder de aprendizado, atribuindo pesos para cada árvore, após isso um peso maior é atribuído a cada uma das classificações incorretas da primeira árvore de decisão, esse processo é repetido várias vezes combinando as diversas regras de aprendizado fracas em apenas uma regra de previsão forte, melhorando a precisão e performance preditiva dos modelos de aprendizagem de máquina.

Random forest é uma ferramenta rápida e simples, seu algoritmo cria várias árvores de decisão de forma aleatória, baseada em atributos e amostras aleatórias, construindo assim uma “floresta” de árvores de decisão. Uma nova amostra é testada em todas as árvores e depois o algoritmo escolhe a classe mais escolhida.

Bootstrap Forest é um algoritmo de classificação ou regressão muito utilizado em *machine learning*. O *bootstrapping* é responsável por criar e combinar várias árvores, onde cada uma é utilizada no resultado final, esse algoritmo adiciona aleatoriedade no processo para melhorar a precisão.

A análise de grandes conjuntos de dados, onde centenas a milhares de medições de uma peça, processo ou amostra são feitas, requer abordagens inovadoras. A triagem de preditores (*Predictor Screening*) fornece um método de triagem de muitos preditores por sua capacidade de prever um resultado. Esse método é útil para a identificação de preditores significativos de um grande número de candidatos.

A triagem de preditores difere da triagem de resposta (*Response Screening*), pois essa última testa fatores um de cada vez como um preditor da resposta, já a triagem de preditores usa particionamento de *bootstrap forest* para avaliar a contribuição de preditores na resposta. Os modelos de partição são construídos em vários preditores. A triagem de preditores pode identificar preditores que podem ser fracos sozinhos, mas fortes quando usados em combinação com outros preditores.

Um benefício de usar a *Predictor Screening* para encontrar preditores úteis, ao invés de usar métodos de seleção de variáveis integrados em seu modelo final, é que o método não depende de nenhuma suposição paramétrica.

Usando o método *Bootstrap Forest*, as contribuições para cada preditor são classificadas, uma tabela é gerada e ilustra a proporção da variação na resposta atribuída a um preditor. Esse modelo utiliza uma abordagem com número das árvores que pode ser ajustado.

O método de *Bootstrap Forest* é usado porque tem duas camadas de randomização: uma é selecionar aleatoriamente um subconjunto dos fatores, exemplificando, quando há uma coluna que se deseja prever e testar qual dos 10 fatores mais contribuem para essa previsão, a abordagem de *bootstrap forest* selecionará aleatoriamente um subconjunto, digamos seis dos dez e usará uma árvore de decisão para melhor prever o resultado e em seguida, ele classifica os fatores com base na sua contribuição. Quanto maior a contribuição de determinada variável para o modelo mais importante ela é para prever a resposta. A outra randomização é o *Bootstrap Forest*, que seleciona aleatoriamente um certo número de amostras para ajustar o modelo e depois o restante para validá-lo (ou simplificá-lo), e faz isso com seleção aleatória e substituição em cada interação.

A partir disso podemos verificar quais variáveis tem maior contribuição para o modelo, através da contribuição percentual de cada variável. Quanto maior a contribuição de determinada variável para o modelo mais importante ela é para prever a resposta. Sendo o modelo não linear, *Bootstrap Forest* permite separar as classes não apenas por valores das médias, mas também por caráter de distribuição de todos os pontos experimentais colocados na análise através deste algoritmo. (Agrawal, 2016; Kass, 1980; Kapsiani 2021; Zhou, 2019).

4. Resultados e Discussão

4.1. Parâmetros de mérito

4.1.1. Sensibilidade

Observando a tabela 4, têm-se os coeficientes de determinação, R^2 , das curvas analíticas que foram todos maiores do que 0,999, com exceção do ^{44}Ca . Os limites de detecção instrumental, em $\mu\text{g L}^{-1}$, e limites de quantificação do método, considerando o fator de diluição da amostra, em mg kg^{-1} , para os elementos determinados no mineralograma capilar, obtidos com o equipamento NexIon 300X também são mostrados.

Tabela 4: Isótopos monitorados, coeficientes de determinação das curvas analíticas (R^2), limites de detecção instrumental (LD) e limites de quantificação do método (LQ) para os elementos determinados no mineralograma capilar.

Isótopo	Coeficiente de correlação	LD ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LQ (mg kg^{-1})
^7Li	0,99980	0,0013	0,0004
^9Be	0,99998	0,0030	0,001
^{11}B	0,99995	1,62	0,54
^{23}Na	0,99999	0,29	0,10
^{24}Mg	0,99978	0,15	0,05
^{27}Al	0,99999	0,34	0,11
^{31}P	0,99998	15,70	5,20
^{34}S	0,99931	667	222
^{39}K	0,99937	5,70	1,90
^{44}Ca	0,99886	45,6	15,2
^{51}V	0,99911	0,0080	0,003
^{53}Cr	0,99995	0,03	0,009
^{55}Mn	0,99999	0,02	0,007
^{57}Fe	0,99993	2,17	0,72
^{59}Co	0,99995	0,005	0,002
^{60}Ni	0,99985	0,04	0,015
^{65}Cu	0,99994	0,03	0,009
^{66}Zn	0,99996	0,12	0,040
^{74}Ge	0,99992	0,014	0,005
^{75}As	0,99998	0,018	0,006
^{82}Se	0,99970	0,46	0,15
^{88}Sr	0,99999	0,003	0,001
^{98}Mo	0,99994	0,007	0,002
^{105}Pd	0,99998	0,014	0,005
^{107}Ag	0,99991	0,006	0,002
^{114}Cd	0,99994	0,003	0,001
^{118}Sn	0,99979	0,024	0,008
^{121}Sb	0,99981	0,026	0,009
^{127}I	0,99917	0,051	0,017
^{137}Ba	0,99982	0,10	0,033
^{197}Au	0,99969	0,006	0,002
^{202}Hg	0,99980	0,022	0,007
^{208}Pb	0,99987	0,010	0,003
^{209}Bi	0,99980	0,004	0,001
^{232}Th	0,99964	0,006	0,002
^{238}U	0,99991	0,0006	0,0002

4.1.2. Exatidão

Os resultados obtidos para avaliar a exatidão do método são mostrados nas tabelas 5 e 6, onde são apresentados os valores de recuperação, em relação aos valores certificados, para as duas amostras de referência analisadas, respectivamente NCSDC 73347a, China e ERM-DB001, União Europeia.

Tabela 5 Concentrações certificadas e concentrações obtidas dos elementos, com os respectivos desvios-padrão, em mg kg^{-1} , e recuperação, em %, para a amostra certificada CRM NCS DC 73347^a.

Elemento	Valor certificado \pm sd (mg.L^{-1})	Valor obtido \pm sd (mg.L^{-1})	Rec. %
²³ Na	89 ± 12	$85,3 \pm 5$	96
³¹ P	140 ± 20	137 ± 5	98
³⁴ S	41900 ± 1100	39200 ± 1120	94
⁴⁴ Ca	1450 ± 200	1149 ± 163	80
⁵¹ V	$0,50 \pm 0,18$	$0,36 \pm 0,01$	73
⁵³ Cr	$0,41 \pm 0,12$	$0,42 \pm 0,07$	101
⁵⁵ Mn	$2 \pm 0,3$	$1,77 \pm 0,08$	89
⁵⁷ Fe	36 ± 5	$35,3 \pm 2,2$	98
⁶⁵ Cu	$14,3 \pm 1,6$	$14,3 \pm 6,7$	100
⁶⁶ Zn	137 ± 9	$131 \pm 5,9$	96
⁷⁵ As	$0,28 \pm 0,05$	$0,26 \pm 0,004$	92
⁸² Se	$0,58 \pm 0,12$	$0,87 \pm 0,04$	151
⁸⁸ Sr	$7,7 \pm 0,4$	$7,4 \pm 0,42$	96
⁹⁸ Mo	$0,17 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,009$	90
¹¹⁴ Cd	0,07	$0,065 \pm 0,007$	93
¹¹⁸ Sn	0,2	$0,19 \pm 0,006$	97
¹²¹ Sb	0,065	$0,059 \pm 0,001$	92
¹²⁷ I	$0,8 \pm 0,2$	$0,90 \pm 0,09$	111
¹³⁷ Ba	$11,4 \pm 0,6$	$9,6 \pm 0,40$	84
²⁰² Hg	$0,67 \pm 0,1$	$0,75 \pm 0,04$	113
²⁰⁸ Pb	$5,7 \pm 0,5$	$4,81 \pm 0,009$	84
²⁰⁹ Bi	$0,021 \pm 0,002$	$0,018 \pm 0,003$	88
²³² Th	$0,064 \pm 0,0011$	$0,051 \pm 0,002$	79
²³⁸ U	$0,099 \pm 0,015$	$0,083 \pm 0,004$	84

Tabela 6 Concentrações certificadas e concentrações obtidas dos elementos, com os respectivos desvios-padrão, em mg kg⁻¹, e recuperação, em %, para a amostra certificada CRM ERM-DB001.

Elemento	Valor certificado \pm sd (mg.L ⁻¹)	Valor obtido \pm sd (mg.L ⁻¹)	Rec. %
⁶⁵ Cu	33 \pm 4	28 \pm 0,11	85
⁶⁶ Zn	209 \pm 12	208 \pm 14	99
⁸² Se	3,24 \pm 0,24	4,18 \pm 0,54	129
¹¹⁴ Cd	0,125 \pm 0,007	0,121 \pm 0,021	96
²⁰² Hg	0,37 \pm 0,03	0,32 \pm 0,03	88
²⁰⁸ Pb	2,14 \pm 0,2	1,78 \pm 0,19	83

As recuperações obtidas foram adequadas para a maioria dos elementos (80-120%), com exceção do Se que teve uma recuperação mais alta do que o esperado, esse fato poderia ser amenizado se ele também tivesse sido analisado usando o modo DRC (Cela de Reação Dinâmica).

4.2. Análise estatística dos resultados

4.2.1. Análise geral dos resultados e remoção de outliers

No anexo I tem-se todos os resultados das médias e desvios padrão das concentrações dos elementos essenciais e tóxicos analisados para a realização do exame de mineralograma capilar em todas as amostras de cabelo, naturais e pós-tratamentos, analisadas. No anexo II, estão todos os gráficos do tipo *boxplot* para as amostras de cabelo. Após análise gráfica, é possível verificar a ocorrência de variação das concentrações dos elementos nos cabelos naturais e tingidos, mas ainda não podemos afirmar com grau de confiabilidade estatística se essa diferença é significativa.

Também foi possível avaliar a presença de outliers, pelo *boxplot* usando o teste de intervalo interquartil. Diante disso, os outliers foram removidos para não influenciarem nos resultados dos próximos testes estatísticos. Analisando os gráficos *boxplots* tem-se a reta azul que indica o valor máximo de referência das concentrações dos elementos essenciais e tóxicos e a reta vermelha indica o valor mínimo de referência, segundo Carneiro et al. (2002).

4.2.2. Análise Discriminante

Conforme mencionado anteriormente, no resultado do exame de mineralograma capilar são quantificados vários elementos químicos. Na tabela 7, são mostradas as contribuições de todos os elementos para a construção do modelo usando todos os elementos químicos analisados para o exame.

Tabela 7 Componentes canônicas (CC) para os 34 elementos determinados na amostra de cabelo C1.

CC	Li	Be	Na	Mg	Al
1	0,1435044	-0,323378	0,4553256	0,5199465	-0,58169
2	0,0082036	-0,138598	-0,043421	-0,196915	-0,206652
3	0,0954558	0,0546127	-0,001901	0,1846909	0,0453746
4	0,6162838	0,3219842	0,1659176	0,6190847	0,3363795
5	-0,318703	-0,344133	-0,222255	-0,095738	-0,351147
	P	S	K	Ca	V
1	0,4121451	0,2435397	0,241985	0,241985	-0,62534
2	-0,135405	-0,022686	-0,133436	-0,133436	-0,12481
3	-0,264943	0,2213315	0,2750813	0,2750813	0,570638
4	-0,149889	0,3861293	0,7614612	0,7614612	-0,102708
5	0,0531964	-0,098855	-0,180324	-0,180324	-0,281286
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
1	-0,610706	-0,243838	-0,631912	-0,199174	-,0314958
2	-0,131001	-0,016444	-0,15769	-0,040023	-0,060159
3	0,1444509	0,5214581	0,1426182	0,0113753	0,1042409
4	-0,079819	0,3315091	0,3529289	0,2326803	0,248628
5	-0,259204	-0,2895	-0,354277	-0,384408	-0,263449
	Cu	Zn	Ge	As	Se
1	-0,074413	-0,470402	-0,617725	0,2431254	-0,317617
2	-0,040061	-0,014926	-0,019061	0,0752592	0,2255488
3	0,1932579	-0,012778	0,1073045	0,3378168	0,0821416
4	0,3316579	0,0488411	-0,221902	-0,028274	-0,107896
5	-0,15616	-0,212722	-0,107284	-0,363858	0,4616205
	Sr	Mo	Pd	Ag	Cd
1	0,7888152	-0,627358	0,584948	-0,152625	0,1674925
2	-0,237296	0,0658635	-0,109913	-0,289371	0,0932274
3	0,1250973	0,0101555	0,2393816	0,2641655	0,1150679
4	0,4720221	-0,246531	0,5412238	0,402189	0,6617269
5	-0,079025	-0,183953	-0,164372	-0,296213	-0,250693
	Sn	Sb	I	Ba	Au
1	0,3129527	0,1036947	-0,047331	0,2919302	0,0641346
2	-0,106959	-0,364181	-0,0871	-0,157956	0,2964921
3	0,1615975	0,1432111	0,2137989	0,315709	-0,067442
4	0,5178224	0,4509064	0,3868415	0,7119905	0,2516833
5	-0,371183	-0,382361	-0,394033	-0,242692	0,0476517
	Hg	Pb	Bi	U	
1	0,6209387	-0,199982	0,1606159	-0,389616	
2	-0,013912	0,0252861	0,1211245	0,4237279	
3	0,1632013	0,1012462	-0,329581	-0,182368	
4	0,4759822	0,4356229	0,2813315	-0,132791	
5	-0,17179	-0,322588	-0,086588	0,2690616	

Através do método de *bootstrap forest*, cujo conceito é baseado em *gradient boosting*, foi possível distribuir todos os elementos (variáveis) pelo impacto na diferença entre todos os tipos de cabelo dentro de cada grupo. Essa abordagem também possibilitou a identificação dos elementos com maior importância, para diferenciar os tipos de amostras tratadas (CN1A, CN1B, CN1C, CN1D e CN1E) e não tratadas (CN1), dentro de cada grupo estudado (C1 ao C7). No anexo III, são mostradas tabelas das componentes canônicas (*total canonical structure*) e as contribuições dos elementos mais importantes para cada uma delas.

Na tabela 8, nota-se que, conforme o elemento se afasta do topo do ranque, a contribuição percentual dele para diferenciar os grupos diminui.

Tabela 8 Dados de predição obtido via *screening* para os testes realizados na amostra C1 (a) esquerda e C2 (b) direita.

Predictor	Contribution	Type	Portion	Rank
Sr	19.5764	0.2171		1
Li	14.5416	0.1613		2
Mg	12.0361	0.1335		3
Na	10.5290	0.1168		4
Ca	8.6427	0.0959		5
Pd	7.1572	0.0794		6
P	3.8172	0.0423		7
Sb	1.9667	0.0218		8
Hg	1.3641	0.0151		9
K	1.3122	0.0146		10
Cd	1.2657	0.0140		11
Ba	1.1634	0.0129		12
As	0.9907	0.0110		13
Se	0.6877	0.0076		14
Be	0.6434	0.0071		15
Pb	0.6326	0.0070		16
Bi	0.5285	0.0059		17
Mn	0.4682	0.0052		18
S	0.3754	0.0042		19
Sn	0.3224	0.0036		20
Ge	0.3171	0.0035		21
Fe	0.3119	0.0035		22
V	0.2681	0.0030		23
Cr	0.2109	0.0023		24
Cu	0.1908	0.0021		25
Al	0.1770	0.0020		26
Ag	0.1576	0.0017		27
Mo	0.1402	0.0016		28
Co	0.1188	0.0013		29
I	0.1058	0.0012		30
Au	0.0535	0.0006		31
U	0.0363	0.0004		32
Ni	0.0231	0.0003		33
Zn	0.0201	0.0002		34

(a)

Predictor	Contribution	Type	Portion	Rank
Pd	12.5889	0.2273		1
Ca	11.6931	0.2111		2
Na	5.5909	0.1009		3
Mg	5.0991	0.0921		4
Li	3.6346	0.0656		5
Mn	3.2934	0.0595		6
Al	2.2975	0.0415		7
Fe	2.0508	0.0370		8
P	1.8009	0.0325		9
Bi	1.6295	0.0294		10
Be	1.2665	0.0229		11
Sn	1.0310	0.0186		12
K	0.9210	0.0166		13
Sr	0.8685	0.0157		14
As	0.5827	0.0105		15
Ba	0.2956	0.0053		16
Zn	0.2575	0.0046		17
U	0.0808	0.0015		18
Cd	0.0759	0.0014		19
V	0.0738	0.0013		20
Cr	0.0708	0.0013		21
Mo	0.0525	0.0009		22
S	0.0496	0.0009		23
Ni	0.0303	0.0005		24
Cu	0.0288	0.0005		25
Se	0.0122	0.0002		26
Ge	0.0114	0.0002		27
Co	0.0025	0.0000		28
Ag	0.0000	0.0000		29
Sb	0.0000	0.0000		30
I	0.0000	0.0000		31
Au	0.0000	0.0000		32
Hg	0.0000	0.0000		33
Pb	0.0000	0.0000		34

(b)

A partir da tabela 8, é possível verificar que, para a amostra C1, o elemento Sr está em primeiro lugar no ranque e contribui com 21,71% para a separação dos tipos, em segundo lugar tem-se o Li, que contribui com 16,13%, em terceiro lugar está o Mg, que contribui com 13,35 %, e assim o ranque vai sendo montado. O elemento Zn está no último lugar no ranque contribuindo apenas com 0,02%, dessa forma nos próximos testes estatísticos os resultados desse elemento e de outros que possuem menor contribuição (V, Cr, Cu, Al, Ag, Mo, Co, I, Au, U e Ni) não serão mostrados para o cabelo C1 pelo impacto insignificante deles. Portanto, para o grupo C1 o número dos elementos foi diminuído para 22, estes foram suficientes para separar os tipos de CN1-CN1E. Já para a amostra C2, apenas 10 elementos são os mais importantes para a separação dos grupos de tratamentos, são eles: Pd (22,73%), Ca (21,11%), Na (10,09%), Mg (9,21%), Li (6,56%), Mn (5,95%), Al (4,15%), Fe (3,70%), P (3,25%), Bi (2,94%).

A tabela 9 indica que, para a amostra C3, tem-se 16 elementos com maior contribuição, dentre eles: Sr (31,71%), Ca (16,81%), Mg (14,63%), K (9,59%), Na (9,27%), Ge (5,63%), Li (4,54%), Se (1,13%), Cr (1,04%). Já para o cabelo C4, há 8 elementos que possuem maior contribuição, são eles: Sr (27,47%), Ca (18,88%), Mg (13,65%), Li (7,53%), Fe (6,56%), Na (5,58%), P (5,30%), Ge (5,23%).

Tabela 9 Dados de predição obtido via *screening* para os testes realizados na amostra C3 (a) esquerda e C4 (b) direita.

Predictor Screening					Predictor Screening				
Predictor	Contribution	Type	Portion	Rank	Predictor	Contribution	Type	Portion	Rank
Sr	31.1192		0.3171	1	Sr	24.0570		0.2747	1
Ca	16.4960		0.1681	2	Ca	16.5381		0.1888	2
Mg	14.3630		0.1463	3	Mg	11.9548		0.1365	3
K	9.4094		0.0959	4	Li	6.5918		0.0753	4
Na	9.0968		0.0927	5	Fe	5.7491		0.0656	5
Ge	5.5285		0.0563	6	Na	4.8910		0.0558	6
Li	4.4544		0.0454	7	P	4.6403		0.0530	7
Se	1.1097		0.0113	8	Ge	4.5781		0.0523	8
Cr	1.0167		0.0104	9	Ba	3.0999		0.0354	9
Bi	0.8224		0.0084	10	K	1.4367		0.0164	10
V	0.6943		0.0071	11	Zn	1.0028		0.0114	11
Fe	0.5765		0.0059	12	V	0.6587		0.0075	12
Al	0.5273		0.0054	13	Be	0.4761		0.0054	13
I	0.4597		0.0047	14	S	0.4150		0.0047	14
S	0.4519		0.0046	15	Mn	0.4025		0.0046	15
P	0.4464		0.0045	16	Bi	0.2786		0.0032	16
Ba	0.4316		0.0044	17	Au	0.2167		0.0025	17
Mn	0.2535		0.0026	18	Al	0.1957		0.0022	18
Zn	0.2473		0.0025	19	Se	0.1543		0.0018	19
Mo	0.1886		0.0019	20	Co	0.0773		0.0009	20
Be	0.1360		0.0014	21	Cr	0.0551		0.0006	21
Hg	0.1196		0.0012	22	Mo	0.0447		0.0005	22
Cd	0.0374		0.0004	23	Ni	0.0446		0.0005	23
Ag	0.0326		0.0003	24	Cd	0.0120		0.0001	24
Co	0.0273		0.0003	25	I	0.0117		0.0001	25
As	0.0272		0.0003	26	Sn	0.0051		0.0001	26
U	0.0176		0.0002	27	Cu	0.0000		0.0000	27
Ni	0.0166		0.0002	28	As	0.0000		0.0000	28
Sb	0.0141		0.0001	29	Pd	0.0000		0.0000	29
Au	0.0137		0.0001	30	Ag	0.0000		0.0000	30
Sn	0.0070		0.0001	31	Sb	0.0000		0.0000	31
Cu	0.0039		0.0000	32	Hg	0.0000		0.0000	32
Pd	0.0000		0.0000	33	Pb	0.0000		0.0000	33
Pb	0.0000		0.0000	34	U	0.0000		0.0000	34

(a)

(b)

Para a amostra C5, tem-se 20 elementos mais importantes, dentre eles podemos citar: K (45%), Li (10,29%), Na (10,01%), Mg (8,19%), Ge (5,77%), Fe (4,47%), S (3,33%), P (2,12%), As (1,41%). Já a C6 possui apenas 4 elementos com maior contribuição, que possibilitam a separação dos grupos, são eles: K (35,73%), Fe (23,91%), Mg (20,11%), Pd (5,54%), como mostrado na tabela 10.

Tabela 10 Dados de predição obtido via *screening* para os testes realizados na amostra C5 (a) esquerda e C6 (b) direita.

Predictor Screening					Predictor Screening				
Predictor	Contribution	Portion	Type	Rank ^	Predictor	Contribution	Portion	Type	Rank ^
K	23.4199	0.4512		1	K	11.1875	0.3573		1
Li	5.3389	0.1029		2	Fe	7.4872	0.2391		2
Na	5.1973	0.1001		3	Mg	6.2978	0.2011		3
Mg	4.2507	0.0819		4	Pd	1.7347	0.0554		4
Ge	2.9972	0.0577		5	Li	1.5808	0.0505		5
Fe	2.3217	0.0447		6	Ca	0.7925	0.0253		6
S	1.7286	0.0333		7	Mn	0.7352	0.0235		7
P	1.1015	0.0212		8	Na	0.5355	0.0171		8
As	1.0049	0.0194		9	P	0.3368	0.0108		9
Au	0.7918	0.0153		10	S	0.1787	0.0057		10
Pd	0.7346	0.0142		11	Sr	0.1075	0.0034		11
Al	0.7295	0.0141		12	Au	0.1013	0.0032		12
Ca	0.6666	0.0128		13	Al	0.0835	0.0027		13
Be	0.3616	0.0070		14	Be	0.0795	0.0025		14
Sr	0.3069	0.0059		15	V	0.0332	0.0011		15
Zn	0.2676	0.0052		16	Se	0.0145	0.0005		16
V	0.1535	0.0030		17	Zn	0.0057	0.0002		17
Se	0.1145	0.0022		18	Cu	0.0057	0.0002		18
Cr	0.1001	0.0019		19	I	0.0052	0.0002		19
Mn	0.0874	0.0017		20	Hg	0.0037	0.0001		20
Ba	0.0534	0.0010		21	Cr	0.0026	0.0001		21
Mo	0.0490	0.0009		22	Ni	0.0022	0.0001		22
U	0.0223	0.0004		23	As	0.0000	0.0000		23
Sb	0.0182	0.0003		24	Ag	0.0000	0.0000		24
Cu	0.0158	0.0003		25	Cd	0.0000	0.0000		25
Co	0.0156	0.0003		26	Sn	0.0000	0.0000		26
Hg	0.0138	0.0003		27	Sb	0.0000	0.0000		27
Cd	0.0135	0.0003		28	Co	0.0000	0.0000		28
Ni	0.0120	0.0002		29	Ba	0.0000	0.0000		29
I	0.0097	0.0002		30	Ge	0.0000	0.0000		30
Ag	0.0076	0.0001		31	Mo	0.0000	0.0000		31
Sn	0.0000	0.0000		32	Pb	0.0000	0.0000		32
Pb	0.0000	0.0000		33	Bi	0.0000	0.0000		33
Bi	0.0000	0.0000		34	U	0.0000	0.0000		34

(a)

(b)

Avaliando a tabela 11, é possível verificar que a amostra C7 possui 14 elementos com maior contribuição, são eles: Pd (31,39%), K (26,82%), Li (20,34%), Na (7,44%), As (3,87%), Be (1,80%), Mg (1,75%), Al (0,97%), (Sr 0,94%), P (0,79%), Mo (0,68%), S (0,63%), Hg (0,63%), Au (0,44%).

Tabela 11 Dados de predição obtido via *screening* para os testes realizados na amostra C7.

Predictor Screening				
Predictor	Type		Rank ^	
	Contribution	Portion		
Pd	18.6497	0.3139	1	
K	15.9339	0.2682	2	
Li	12.0857	0.2034	3	
Na	4.4178	0.0744	4	
As	2.2962	0.0387	5	
Be	1.0696	0.0180	6	
Mg	1.0403	0.0175	7	
Al	0.5754	0.0097	8	
Sr	0.5584	0.0094	9	
P	0.4670	0.0079	10	
Mo	0.4067	0.0068	11	
S	0.3756	0.0063	12	
Hg	0.3747	0.0063	13	
Au	0.2610	0.0044	14	
Ge	0.2430	0.0041	15	
V	0.2155	0.0036	16	
Ca	0.0929	0.0016	17	
U	0.0855	0.0014	18	
Mn	0.0728	0.0012	19	
Sb	0.0479	0.0008	20	
Cr	0.0323	0.0005	21	
Co	0.0255	0.0004	22	
Fe	0.0212	0.0004	23	
Se	0.0173	0.0003	24	
Cu	0.0150	0.0003	25	
Pb	0.0079	0.0001	26	
Ba	0.0077	0.0001	27	
Ni	0.0052	0.0001	28	
Cd	0.0046	0.0001	29	
Zn	0.0033	0.0001	30	
Ag	0.0000	0.0000	31	
Sn	0.0000	0.0000	32	
I	0.0000	0.0000	33	
Bi	0.0000	0.0000	34	

Os componentes canônicos são expressos como combinações lineares das variáveis, nesse caso elementos químicos. Na tabela 12 é representado o sumário das informações referentes às componentes canônicas que descrevem o modelo linear para o grupo C1. Neste caso, observamos que a componente canônica 1 já representa 78,38% dos resultados, cujo *eigenvalue* é aproximadamente 9 vezes maior do que da canônica 2. Canônicas 2 e 3 juntas resultam em 15,66% adicionais aos resultados. Usando as 3 variáveis então temos 94% dos resultados.

Tabela 12 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear da amostra C1.

Eigenvalue	Percent	Cum Percent	Canonical Corr	Likelihood Ratio	Approx. F	NumDF	DenDF	Prob>F
202.626793	78.3878	78.3878	0.99754151	1.59788e-7	24.9837	110	117.46	<.0001*
21.876663	8.4632	86.8509	0.97789945	3.25371e-5	14.6813	84	97.247	<.0001*
18.6097146	7.1993	94.0502	0.97416881	0.00074434	12.7991	60	75.421	<.0001*
10.3361319	3.9986	98.0489	0.95487512	0.0145963	9.9581	38	52	<.0001*
5.0435521	1.9511	100.0000	0.91352854	0.1654656	7.5653	18	27	<.0001*

O gráfico canônico ilustrado na figura 6 é acompanhado da tabela 13, que informa as coordenadas dos círculos que separam os grupos mapeados no gráfico canônico. Através do gráfico mostrado nessa figura, verifica-se que foi possível separar os tipos de cabelo, natural (CN1) e cabelos após tratamento de coloração, usando apenas 22 das 34 variáveis (elementos analisados) e 3 componentes canônicas para a construção do modelo representativo visualizado na forma de 3D (Fig.7).

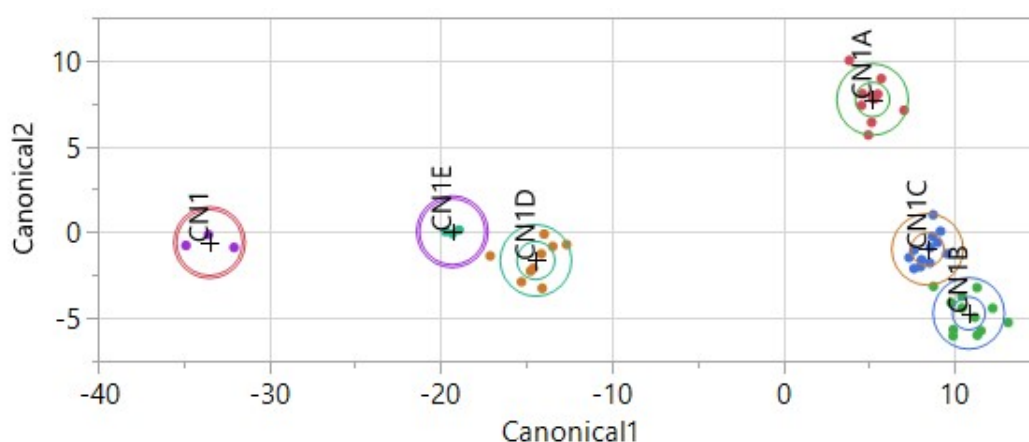


Figura 6 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN1) e tratados (CN1A, CN1B, CN1C, CN1D, CN1E), da amostra C1.

Tabela 13 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C1.

Canônica	CN1A	CN1B	CN1C	CN1D	CN1E	CN1
1	5,210293	10,830913	8,4202556	-14,43716	-19,31378	-33,48381
2	7,7325959	-4,722826	-0,994097	-1,641822	0,0363537	-0,596047
3	0,354698	-0,825723	-1,387357	7,2678913	-6,118586	-8,133329
4	-0,504543	-1,558701	2,7998528	0,078199	-8,884368	5,53515563
5	-1,056824	-2,149924	2,7776416	0,3013759	3,4040253	-2,944002

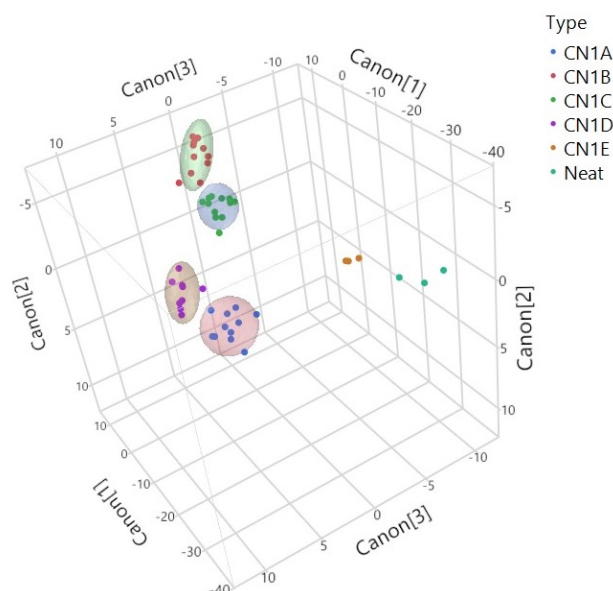


Figura 7 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN1) e tratados (CN1A, CN1B, CN1C, CN1D, CN1E) da amostra C1.

A matriz de confusão contabiliza o número de classificações corretas ou incorretas que o modelo de análise discriminativo linear é capaz de gerar. Na tabela 14, é possível analisar a matriz de confusão do modelo com 22 elementos, nota-se que o modelo classificou (identificou) todos os tipos de tratamentos de forma correta em seus devidos grupos com um percentual de 100% de acerto.

Tabela 14 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C1 descrito por 22 elementos.

Tipo	CN1A	CN1B	CN1C	CN1D	CN1E	CN1
CN1A	11	0	0	0	0	0
CNB	0	12	0	0	0	0
CN1C	0	0	12	0	0	0
CN1D	0	0	0	9	0	0
CN1E	0	0	0	0	3	0
CN1	0	0	0	0	0	3

Para a amostra C2, a tabela 15, ilustra as informações referentes às componentes canônicas que descrevem o modelo para o grupo. Verifica-se que o uso de 1 componente canônica representa 81,82% dos resultados, e as componentes 2 e 3 juntas representam todos os resultados.

Tabela 15 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear para a amostra C2.

Eigenvalue	Percent	Cum Percent	Canonical	Likelihood	Approx. F	NumDF	DenDF	Prob>F
			Corr	Ratio				
34.5786636	81.8193	81.8193	0.98584647	0.00121977	20.0760	30	68.186	<.0001*
4.47443117	10.5873	92.4066	0.9040645	0.04339769	10.1341	18	48	<.0001*
3.20914992	7.5934	100.0000	0.87316799	0.23757766	10.0286	8	25	<.0001*

O gráfico canônico é mostrado na figura 8 e a tabela 16, mostra as informações referentes às coordenadas. Analisando o gráfico, observa-se também uma boa separação entre os tratamentos do cabelo C2, usando apenas 10 variáveis (elementos analisados) e 3 componentes canônicas para a construção do modelo, que pode ser visualizado melhor em 3D na figura 9.

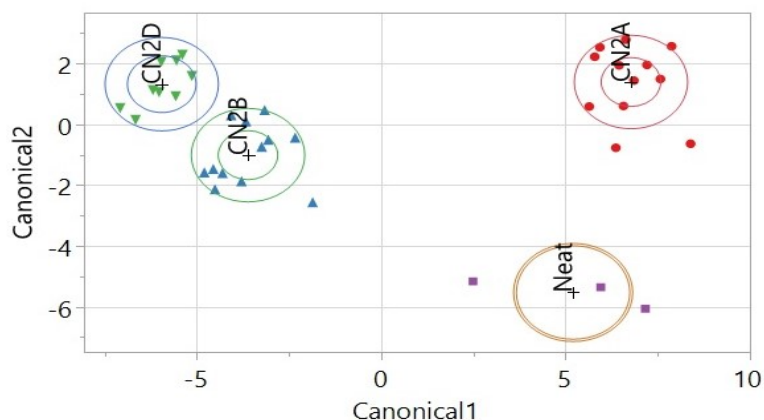


Figura 8 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN2) e tratados (CN2A, CN2B, CN2D) da amostra C2.

Tabela 16 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C2.

Canônica	CN2A	CN2B	CN2D	CN2
1	2036,4908	-470,8346	-1106,36	-2943,546
2	-7,562818	-11,11342	47,277648	-67,12799
3	7,8225257	-20,00635	7,630128	25,844932

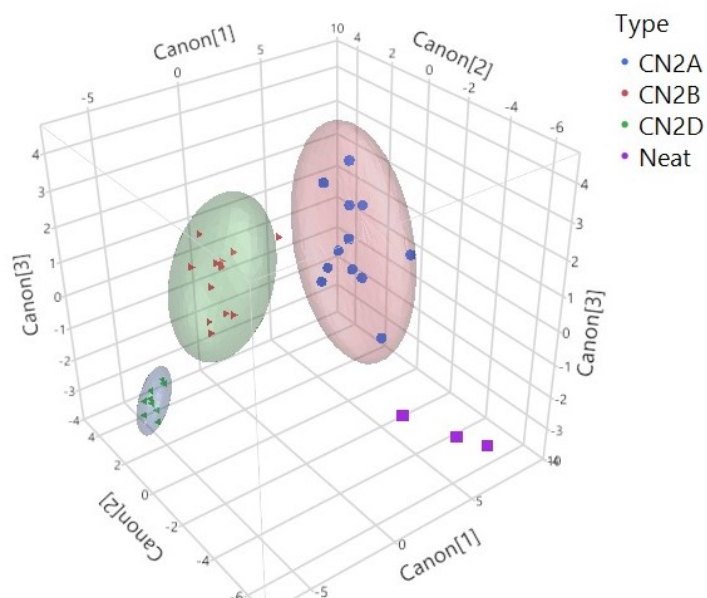


Figura 9 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas separação dos cabelos natural (CN2) e tratados (CN2A, CN2B, CN2D) da amostra C2.

Na tabela 17, a matriz de confusão do modelo de análise discriminativa linear de 10 elementos é mostrada e observa-se que esse modelo classificou (identificou) todos os tipos de forma correta com percentual de acerto de 100%.

Tabela 17 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C2 descrita por 10 elementos.

Tipo	CN2A	CN2B	CN2D	CN2
CN2A	12	0	0	0
CN2B	0	12	0	0
CN2D	0	0	9	0
CN2	0	0	0	3

As informações referentes às variáveis canônicas que descrevem o modelo para a amostra C3, é mostrado na tabela 18. Constata-se que o uso de 1 componente canônica representa 87,3% dos resultados, e as componentes 2 e 3 juntas representam mais 11,9% dos resultados, resultando em 99,8% dos dados descritos para o modelo.

Tabela 18 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear para a amostra C3.

Eigenvalue	Percent	Cum Percent	Canonical Corr	Likelihood Ratio	Approx. F	NumDF	DenDF	Prob>F
208.325041	87.2973	87.2973	0.99760851	5.90331e-6	20.8159	80	148.74	<.0001*
16.0847057	6.7402	94.0375	0.9702928	0.00123571	9.3638	60	123.24	<.0001*
12.3438516	5.1726	99.2101	0.96179994	0.02111176	6.0860	42	95.693	<.0001*
1.41532357	0.5931	99.8032	0.76549121	0.28171215	2.2442	26	66	0.0044*
0.46966753	0.1968	100.0000	0.56530877	0.680426	1.3307	12	34	0.2471

O gráfico canônico e a tabela com as informações referentes às coordenadas, são expostos nas figuras 10 e tabela 19, respectivamente. Para a criação do modelo foram usadas 16 variáveis (elementos analisados) e 3 componentes canônicas, que foram responsáveis para a separação dos tipos de tratamentos, isto pode ser observado também no gráfico 3D, na figura 11.

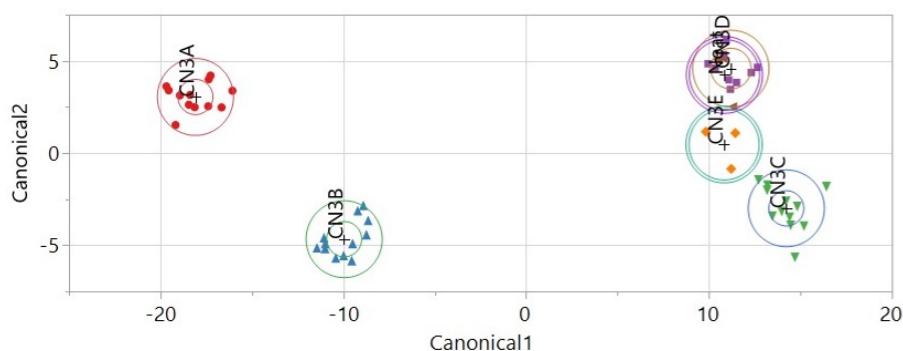


Figura 10 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN3) e tratados (CN3A, CN3B, CN3C, CN3D, CN3E) da amostra C3.

Tabela 19 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C3.

Canônica	CN3A	CN3B	CN3C	CN3D	CN3E	CN3
1	-18,0871	-9,951299	14,22571	11,19414	10,82404	10,84459
2	3,0463165	-4,66702	-2,992679	4,582564	0,464929	4,240931
3	2,930173	-3,505816	3,801162	-3,767108	-0,77555	-0,825206
4	-0,13999	0,112156	-0,410281	-1,223943	1,930468	3,493851
5	-0,07162	0,1255361	0,1531723	0,0340399	-2,25844	1,3279888

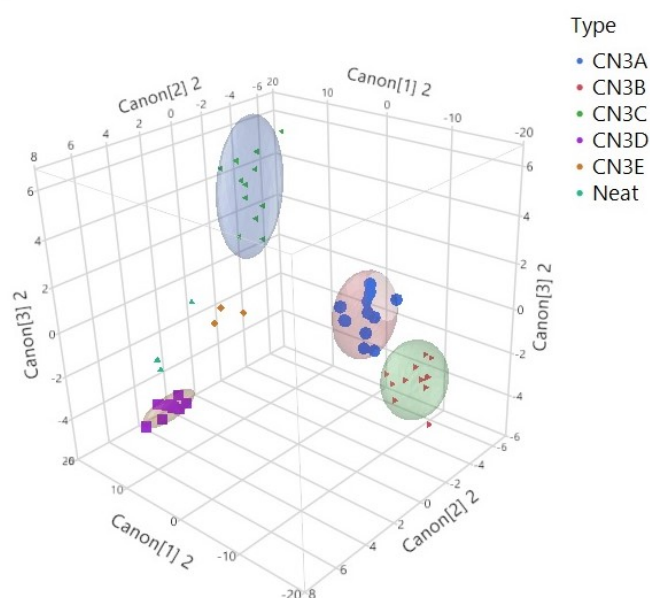


Figura 11 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN3) e tratados (CN3A, CN3B, CN3C, CN3D, CN3E) da amostra C3.

A seguir (tabela 20), a matriz de confusão do modelo de análise discriminativo linear é representada. Esse modelo também classificou e identificou todos os tipos de forma correta em seus devidos grupos com um percentual de 100% de acerto.

Tabela 20 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C3 descrita por 16 elementos.

Tipo	CN3A	CN3B	CN3C	CN3D	CN3E	CN3
CN3A	12	0	0	0	0	0
CN3B	0	12	0	0	0	0
CN3C	0	0	12	0	0	0
CN3D	0	0	0	9	0	0
CN3E	0	0	0	0	3	0
CN3	0	0	0	0	0	3

Para a amostra C4, são mostradas informações referentes às componentes canônicas que descrevem o modelo na tabela 21. Nesse caso, apenas 1 componente canônica já representa 91,46% dos resultados, e as componentes 1, 2 e 3 juntas representam mais 99,84% dos resultados.

Tabela 21 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear da amostra C4.

Eigenvalue	Percent	Cum Percent	Canonical Corr	Likelihood Ratio	Approx. F	NumDF	DenDF	Prob>F
238.0964	91.4578	91.4578	0.9979066	2.95512e-5	66.8117	32	134.36	<.0001*
17.3462703	6.6631	98.1208	0.97236465	0.00706558	23.4492	21	106.79	<.0001*
4.48585376	1.7231	99.8440	0.90427483	0.12962707	11.2574	12	76	<.0001*
0.406242	0.1560	100.0000	0.53748009	0.71111515	3.1687	5	39	0.0170*

O gráfico canônico é mostrado na figura 12 e as informações referentes às coordenadas, na tabela 22. Diante análise das figuras, notam-se que os tratamentos para a amostra C4 ficaram bem separados, mesmo com o uso de apenas 8 variáveis (elementos analisados) para a construção do modelo, que pode ser melhor visualizado em 3D na figura 13.

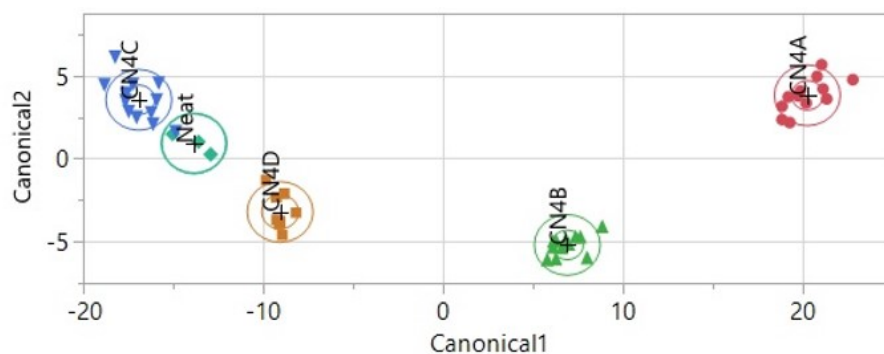


Figura 12 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN4) e tratados (CN4A, CN4B, CN4C, CN4D) da amostra C4.

Tabela 22 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C4.

Canônica	CN4A	CN4B	CN4C	CN4D	CN4
1	20,251357	6,9094223	-16,90977	-9,05411	-13,84171
2	3,821259	-5,198311	3,5511613	-3,206181	0,9221052
3	-0,70132	1,9263916	1,7454981	-2,982526	-2,9347
4	-0,07426	0,203465	-0,180684	-0,625153	2,0813735

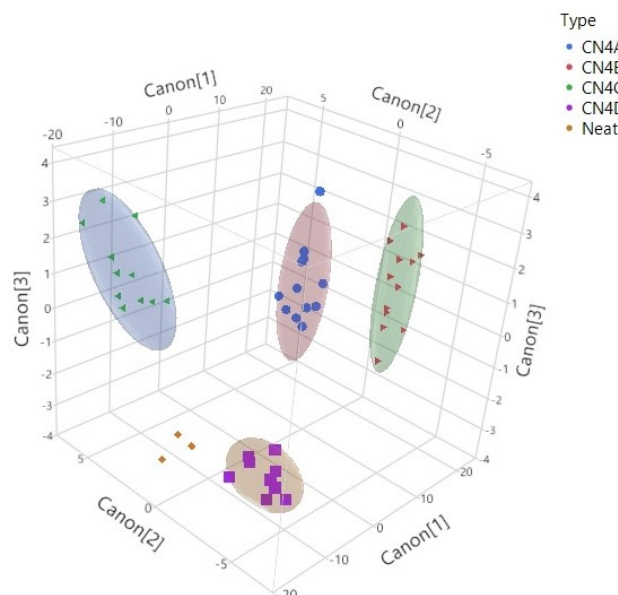


Figura 13 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN4) e tratados (CN4A, CN4B, CN4C, CN4D) da amostra C4.

Na tabela 23, é apresentada a matriz de confusão do modelo de análise discriminativo linear para a amostra C4, que mostra que todos os tipos de tratamento foram corretamente identificados e separados.

Tabela 23 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C4 descrita por 8 elementos.

Tipo	CN4A	CN4B	CN4C	CN4D	CN4
CN4A	12	0	0	0	0
CN4B	0	12	0	0	0
CN4C	0	0	12	0	0
CN4D	0	0	0	9	0
CN4	0	0	0	0	3

As informações referentes às variáveis canônicas usadas no modelo para a amostra C5 são ilustradas na tabela 24, é possível verificar que 1 componentes canônicas representa 85% dos resultados, e as componentes 1, 2 e 3 juntas representam todos os resultados.

Tabela 24 Sumário das componentes canônicas para descrição do modelo linear da amostra C5.

Eigenvalue	Percent	Cum Percent	Canonical Corr	Likelihood Ratio	Approx. F	NumDF	DenDF	Prob>F
151.636431	84.9665	84.9665	0.99671886	4.41862e-5	18.3671	60	39.619	<.0001*
21.1294699	11.8395	96.8060	0.97714451	0.00674442	8.2354	38	28	<.0001*
5.70015008	3.1940	100.0000	0.92236089	0.14925039	4.7501	18	15	0.0019*

Na figura 14, o gráfico canônico é mostrado, seguido da tabela 25 com a tabela de informações referentes às coordenadas. Para a criação desse modelo, foram usados 20 elementos para a separação e classificação dos tipos de tratamentos, que pode ser visualizado também através do gráfico 3D na figura 15.

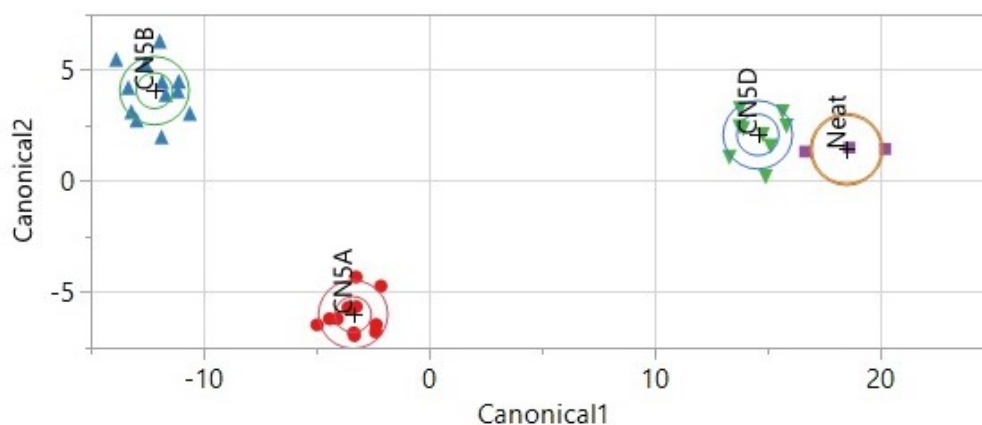


Figura 14 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN5) e tratados (CN5A, CN5B, CN5D) da amostra C5.

Tabela 25 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C5.

	CN5A	CN5B	CN5D	CN5
1	-3,37154	-12,17794	14,564956	18,503061
2	-5,997079	4,0748966	2,0862179	1,4300778
3	0,0627359	-0,281551	2,460043	-6,50487

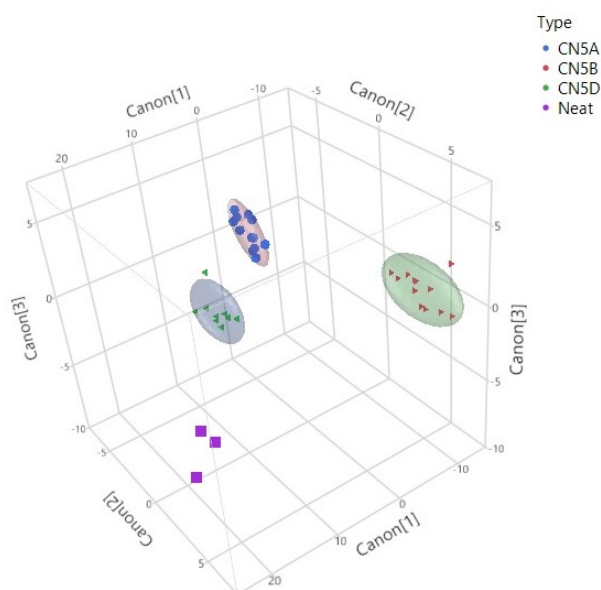


Figura 15 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN5) e tratados (CN5A, CN5B, CN5D) da amostra C5.

Na tabela 26, a matriz de confusão do modelo é mostrada. Todos os tipos de tratamentos para essa amostra foram classificados e identificados de forma correta com percentual de 100% de acerto.

Tabela 26 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C5 descrita por 20 elementos.

Tipo	CN5A	CN5B	CN5D	CN5
CN5A	12	0	0	0
CN5B	0	12	0	0
CN5D	0	0	9	0
CN5	0	0	0	3

Para a construção do modelo para a amostra C6, foram usadas 2 componentes canônicas apenas, sendo que a primeira já descreve 78,38% dos resultados, conforme mostrado na tabela 27.

Tabela 27 Sumário das variáveis canônicas para descrição do modelo linear da amostra C6.

Eigenvalue	Percent	Cum Percent	Canonical Corr	Likelihood Ratio	Approx. F	NumDF	DenDF	Prob>F
11.9584931	78.3875	78.3875	0.96064069	0.0179584	33.9265	8	42	<.0001*
3.29712312	21.6125	100.0000	0.87594872	0.23271383	24.1789	3	22	<.0001*

O gráfico canônico é mostrado na figura 16 e na tabela 28 tem-se as informações referentes às coordenadas. Para a criação desse modelo foram usadas apenas 4 variáveis (elementos), que possibilitaram a separação e identificação dos tipos de tratamentos.

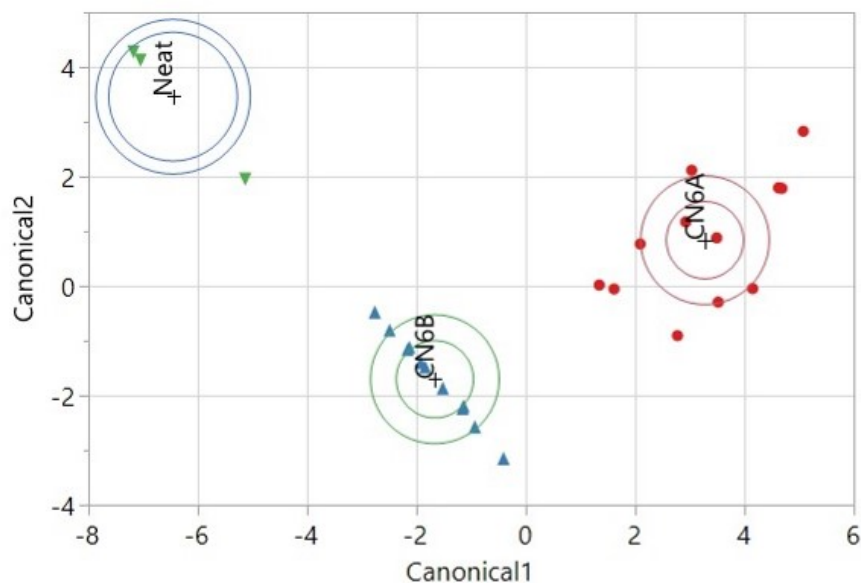


Figura 16 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN6) e tratados (CN6A, CN6B) da amostra C6.

Tabela 28 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C6.

Canônica	CN6A	CN6B	CN6
1	3,2772386	-1,664246	-6,45197
2	0,8379868	-1,702886	3,4595973

Na tabela 29, a matriz de confusão do modelo para essa amostra é encontrada, mostrando que foram classificados e identificados de forma correta com percentual de 100% de acerto.

Tabela 29 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C6 descrita por 4 elementos.

Tipo	CN6A	CN6B	CN6
CN6A	12	0	0
CN6B	0	12	0
CN6	0	0	3

Na construção do modelo para a última amostra C7, foram usadas 3 componentes canônicas. As variáveis canônicas 1, 2 e 3 descrevem 99% dos resultados como mostra a tabela 30.

Tabela 30 Sumário das variáveis canônicas para descrição do modelo linear da amostra C7.

Eigenvalue	Percent	Cum Percent	Canonical Corr	Likelihood Ratio	Approx. F	NumDF	DenDF	Prob>F
190.694629	88.4681	88.4681	0.99738827	0.00001674	20.4973	56	72.19	<.0001*
17.7952433	8.2557	96.7238	0.97303394	0.00320882	8.7006	39	57.011	<.0001*
5.51817109	2.5600	99.2838	0.92009931	0.06031061	5.1199	24	40	<.0001*
1.54378558	0.7162	100.0000	0.77902831	0.3931149	2.9472	11	21	0.0160*

Na figura 17, o gráfico canônico é ilustrado e as informações referentes às coordenadas estão na tabela 31. Esse modelo foi criado usando 14 elementos, que possibilitaram a separação e identificação dos tipos de tratamentos, conforme pode ser visto também no gráfico 3D representado na figura 18.

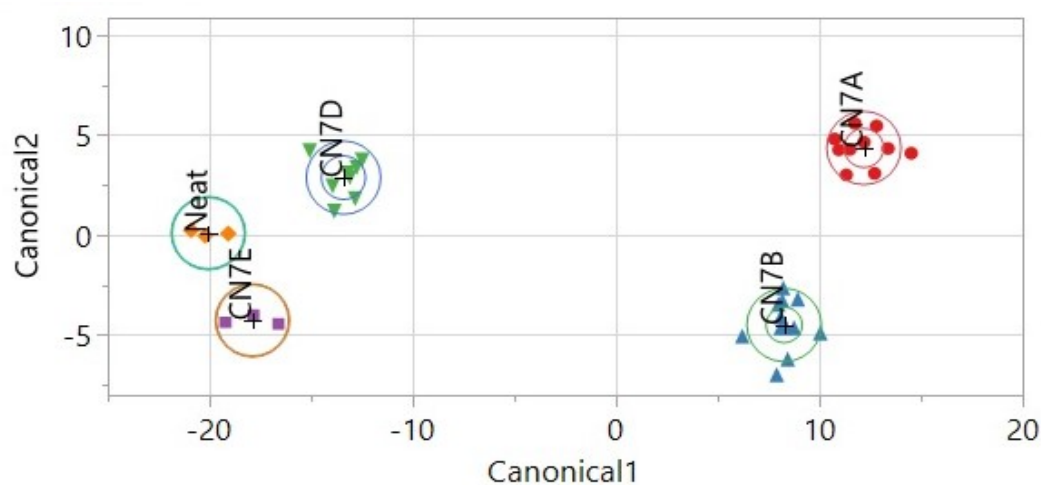


Figura 17 Gráfico canônico para a separação dos cabelos natural (CN7) e tratados (CN7A, CN7B, CN7D, CN7E) da amostra C7.

Tabela 31 Coordenadas do gráfico canônico da amostra C7.

Canônica	CN7A	CN7B	CN7D	CN7E	CN7
1	12,191294	8,2664457	-13,4103	-17,884	-20,05863
2	4,3487755	-4,492894	2,8667903	-4,26327	0,0941535
3	1,4671448	-1,11592	-2,422452	5,3635814	0,669488
4	-0,101419	-0,077164	0,917721	1,5520252	-3,352561

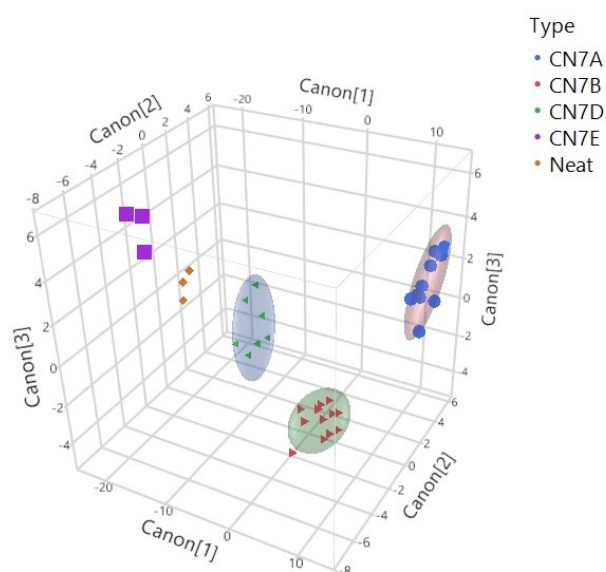


Figura 18 Gráfico 3D usando 3 componentes canônicas para a separação dos cabelos natural (CN7) e tratados (CN7A, CN7B, CN7D, CN7E) da amostra C7.

Na tabela 32, a matriz de confusão do modelo é representada para essa amostra, que foram classificados e identificados de forma correta com percentual de 100% de acerto.

Tabela 32 Matriz de confusão para análise discriminante linear para o grupo C7 descrita por 14 elementos.

Tipo	CN7A	CN7B	CN7D	CN7E	CN7
CN7A	10	0	0	0	0
CN7B	0	12	0	0	0
CN7D	0	0	8	0	0
CN7E	0	0	0	3	0
CN7	0	0	0	0	3

4.2.3. Heterogeneidade dos resultados

O teste de normalidade Shapiro-Wilk foi realizado para um grau de confiança de 95%. Nesse teste, o p-valor é avaliado e, quando ele é menor que o valor α , a hipótese nula é rejeitada e a hipótese alternativa é aceita (os dados não apresentam distribuição normal), o mesmo raciocínio de análise do p-valor foi usado para avaliar a heterocedasticidade.

No anexo IV, tem-se os resultados do teste de heterocedasticidade para os elementos que apresentam maior importância na separação dos tratamentos para as amostras (C1 a C7), utilizando os testes de Levene e Bartlett para um grau de confiança de 95%. Analisando os valores de p, é possível verificar que, para a maioria dos elementos, os dados não apresentam homogeneidade de variâncias ($p < 0,05$).

Ao analisar os resultados dos testes para as amostras de cabelos naturais e tratados foi observado que, para alguns elementos os dados não possuem distribuição normal nem distribuição homogênea de variâncias, o que nos mostra a necessidade do uso de testes não-paramétricos.

4.2.4. Teste de Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis é usado em estatística não paramétrica para avaliar se há diferença significativa entre 3 ou mais grupos, este teste foi realizado para um grau de confiança de 95%. Se o valor p é maior que α , a hipótese nula é aceita, ou seja, não há diferença significativa entre os grupos, mas se o valor p é menor que α , a hipótese alternativa deve ser aceita e indica que há diferença significativa entre, pelo menos, um dos pares do grupo. Esse teste foi aplicado apenas para os elementos que tiveram maior contribuição para a separação dos grupos obtidos através da análise discriminante. Na tabela 33, são mostrados os valores de p para todas as amostras (C1 a C7). Observando essa tabela, nota-se que o valor de p foi menor que 0,05 para todos os cabelos e todos os elementos, com exceção da amostra C5 que apresentou um valor p de 0,3768 para o Be. No anexo V, são mostradas as tabelas com a estatística completa para esse teste, para cada tipo de amostra.

Tabela 33 Resultado do valor p obtido cada elemento através do teste de Kruskal-Wallis para as amostras C1 a C7.

Elemento	p-valor						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
⁷ Li	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	0,0011*	-	<0,0001*
⁹ Be	0,0356*	-	-	<0,0001*	0,3768	-	0,0705
¹¹ B	-	-	-	-	-	-	-
²³ Na	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	-	<0,0001*
²⁴ Mg	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*
²⁷ Al	-	<0,0001*	0,0001*	-	<0,0001*	-	0,0002*
³¹ P	<0,0001*	0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	-	0,0008*
³⁴ S	0,0086*	-	0,0158*	-	0,0042*	-	0,0002*
³⁹ K	0,0073*	-	-	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*
⁴⁴ Ca	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	0,0075*	-	-
⁵¹ V	-	-	<0,0001*	-	<0,0001*	-	-
⁵³ Cr	-	0,0002*	-	-	0,0218*	-	-
⁵⁵ Mn	0,0002*	<0,0001*	-	-	0,0368*	-	-
⁵⁷ Fe	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	-	<0,0001*	<0,0001*	-
⁵⁹ Co	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Ni	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁵ Cu	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁶ Zn	-	-	-	-	0,0002*	-	-
⁷⁴ Ge	0,0021*	<0,0001*	-	<0,0001*	0,0001*	-	-
⁷⁵ As	0,0074*	-	-	-	0,0195*	-	0,0059*
⁸² Se	0,0059*	<0,0001*	-	-	0,0002*	-	-
⁸⁸ Sr	<0,0001*	<0,0001*	-	<0,0001*	<0,0001*	-	<0,0001*
⁹⁸ Mo	-	-	-	-	-	-	<0,0001*
¹⁰⁵ Pd	<0,0001*	<0,0001*	-	-	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*
¹⁰⁷ Ag	-	-	-	-	-	-	-
¹¹⁴ Cd	0,0001*	-	-	-	-	-	-
¹¹⁸ Sn	<0,0001*	-	-	-	-	-	-
¹²¹ Sb	<0,0001*	-	-	-	-	-	-
¹²⁷ I	-	-	0,0001*	-	-	-	-
¹³⁷ Ba	<0,0001*	-	-	-	-	-	-
¹⁹⁷ Au	-	-	-	-	0,0347*	-	0,0056*
²⁰² Hg	<0,0001*	-	-	-	-	-	0,0024*
²⁰⁸ Pb	0,0034*	-	-	-	-	-	-
²⁰⁹ Bi	0,0014*	<0,0001*	<0,0001*	-	-	-	-
²³² Th	-	-	-	-	-	-	-
²³⁸ U	-	-	-	-	-	-	-

4.2.5. Post-hoc de Wilcoxon

O teste de Kruskal-Wallis identifica dentro de cada grupo de amostra (C1 a C7) se há diferença significativa, mas ele não identifica em qual par de tratamentos essa diferença se encontra, dessa forma, é necessário o uso de outro teste estatístico para isso, o post hoc de Wilcoxon foi usado. Os resultados desse teste são mostrados no anexo V. Analisando os valores de p, é possível encontrar em quais pares de tratamentos há diferença significativa, ou seja, $p < 0,05$.

Dessa forma, para as amostras tratadas com tinta permanente (CN1A), foi possível verificar diferença significativa para os elementos: As, Ba, Ca, Hg, Fe, Hg, Mg, Na, P, Pd e Sr. Já as amostras tratadas com tonalizante B (CN1B), a diferença significativa foi encontrada para os elementos: As, Fe, Ge, Hg, K, Li, Mn, Mg, Na, P, Pb e Pd. Após tratamento com tonalizante C (CN1C), essa diferença foi encontrada para: Ca, Fe, Ge, Hg, Li, Mn, Mg, Na, P, Pb, Pd, S e Sr. Nas amostras tratadas com *henna* (CN1D) essa diferença foi encontrada para os seguintes elementos: Ba, Ca, Cd, Fe, Li, Mg, Na, Sn e Sr. Esse teste não apontou diferença significativa para os tratamentos com o tablete tonalizante (CN1E). Essas diferenças observadas pelos dois testes estatísticos podem ser melhor visualizadas no gráfico da figura 19, onde é possível analisar a variação das concentrações dos elementos que tiveram maior contribuição para a separação dos tipos de tratamentos, obtidos através da análise discriminante.

As concentrações de alguns elementos tóxicos e essenciais sofreram diferenças significativas, conforme observado pelos testes citados, com auxílio dos gráficos *boxplot* para a amostra C1 (Anexo II), é possível avaliar a alteração das concentrações desses elementos em relação aos intervalos de referência, conforme sugere Carneiro et al. (2002).

A concentração de Ba no cabelo natural CN1 já estava acima dos limites de referência indicado, conforme sugere Carneiro et al. (2002). Após aplicação da tinta A, essa concentração aumentou ainda mais. Já para os elementos As, Be, Cd, Hg e Pb, mesmo alguns tendo aumento e outros diminuição da sua concentração em relação ao cabelo natural, suas concentrações se mantiveram dentro do limite máximo de referência.

Em relação aos elementos essenciais, na amostra de cabelo natural (CN1) que sofreram diferença significativa após os tratamentos, pode-se observar que a concentração de Ca já estava acima do intervalo de referência, mas após o tratamento com tinta permanente (CN1A) elas aumentaram ainda mais, se mantendo fora do limite superior do intervalo de referência para esse elemento.

As concentrações de alguns elementos como Ge, S, Mn e Pd, mesmo possuindo aumento ou decréscimo de suas concentrações, permaneceram dentro do intervalo de referência.

Essa alteração das concentrações dos elementos após o uso de alguns tratamentos pode ocasionar erros de diagnósticos no resultado do exame de mineralograma capilar, por exemplo, o elemento Mg possuía concentração dentro do intervalo de referência, mas após uso da tinta permanente (CN1A), essa concentração sofreu aumento fazendo com que ficasse acima do limite esperado. Em contrapartida para a concentração de Mo na amostra de cabelo natural, foi observado que estava dentro do intervalo de referência, mas após o uso dos tratamentos com a tinta permanente (CN1A) e tonalizantes B e C (CN1B e CN1C), as concentrações caíram abaixo do intervalo de referência. Já para o elemento Sr, as concentrações na amostra de cabelo natural estavam abaixo do limite de referência, entretanto após uso da tinta permanente (CN1A) e tonalizantes B e C (CN1B e CN1C), ocorreu aumento que resultou em valores acima do limite de referência.

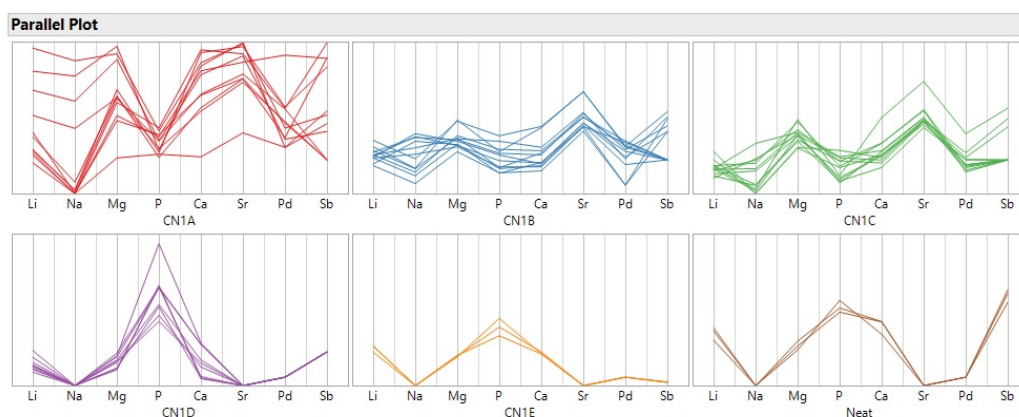


Figura 19 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C1.

Analisando os resultados do teste de Wilcoxon para a amostra C2, verifica-se que, as amostras que foram submetidos aos tratamentos com tinta permanente (CN2A) e tonalizante B (CN2B) apresentaram diferença significativa para as concentrações dos elementos Bi, Ca, Na e Pd. Enquanto isso, para os tratamentos com tonalizante B (CN2B) e *henna* (CN2D), foram verificadas diferenças significativas para os elementos Al, Fe e Mn. A concentração de Mg teve diferença significativa após os tratamentos com tinta permanente e *henna* (CN2A e CN2D). As concentrações de Li e P também sofreram alterações significativas após o uso da tinta permanente e tonalizante B (CN2A e CN2B), respectivamente.

A figura 20 mostra o gráfico que ilustra a variação dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos (obtidos via análise discriminantes), para os diferentes tratamentos de coloração estudados.

Avaliando os gráficos *boxplot* para a amostra C2, em conjunto com as informações obtidas pelos testes anteriores, é possível verificar que Al e Fe já apresentavam concentrações acima dos intervalos de referência nas amostras de cabelo natural, contudo após tratamentos com tinta permanente, tonalizante B e *henna* (CN2A, CN2B e CN2D), tiveram decréscimo de suas concentrações, mesmo assim, ainda estavam acima do limite para esses elementos. As concentrações de Li e Mn aumentaram um pouco após aplicação da tinta permanente (CN2A), fazendo com que suas concentrações ultrapassassem o limite superior de referência desse elemento. As concentrações de Ca que estavam acima do limite para as amostras de cabelo natural, caíram após aplicação da *henna* (CN2D), dessa forma, a concentração desse elemento ficou dentro do limite de referência. Para o Na também foi verificado aumento de suas concentrações, ficando acima do limite de referência para as amostras tratadas com tinta permanente (CN2A). Para os elementos Bi e Pd, mesmo após aumento de suas concentrações em relação à amostra de cabelo natural, após uso dos tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN2A e CN2B), elas se mantiveram dentro do limite máximo de concentração aceito.

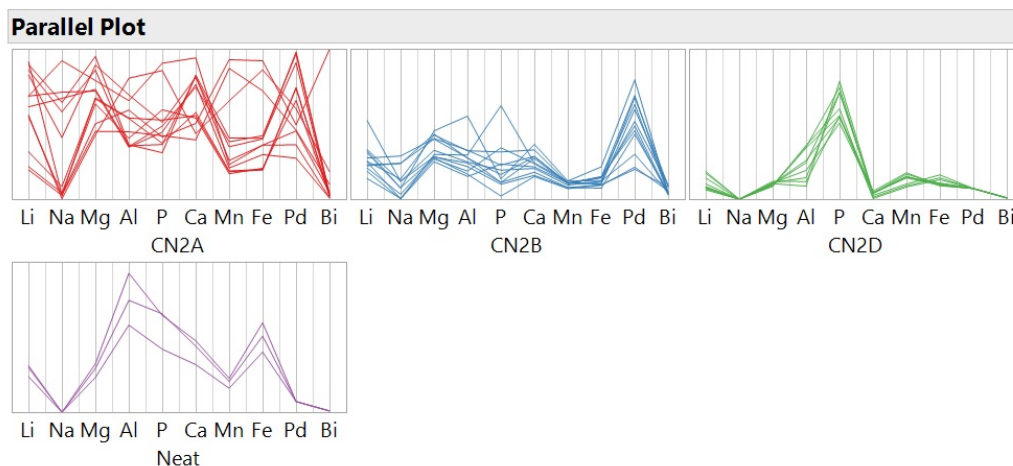


Figura 20 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C2.

Para as amostras C3 tratadas com tinta permanente (CN3A) o teste de Wilcoxon apresentou diferença significativa para os elementos Bi, Ca, Ge, K, Li, Mg, Na, P, Se, Sr e V. Já para as amostras que foram tratadas com tonalizante B (CN3B) esse teste apontou diferença significativa para os elementos Al, Cr, Fe, K, Li, P, Mg, Na, Se, Sr e V. Após o tratamento com o tonalizante C (CN3C), a diferença significativa foi constatada para os elementos Al, Bi, Ca, Cr, Fe, K, Li, Mg, Na, P, Sr e V. Os elementos Ca e Mg tiveram suas concentrações alteradas de forma significativa após o uso da *henna* (CN3D).

A partir do gráfico da figura 21, é possível verificar a variação dos elementos que contribuem para a separação dos grupos em função dos tratamentos de coloração usados.

Analisando os gráficos *boxplot* para a amostra C3, em conjunto dos resultados dos testes, podemos dizer que as concentrações de Al para as amostras de cabelo natural já estavam elevadas, acima do limite de referência e, após uso do tonalizante B (CN3B) essa concentração teve um grande decréscimo que fez com que sua concentração caísse dentro do limite aceitável para esse elemento tóxico, enquanto para o elemento Bi apesar de ter tido aumento de suas concentrações após os tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN3A e CN3B), elas ainda estavam dentro do limite aceitável. Para os elementos essenciais, as concentrações de K e Ge, mesmo sofrendo aumento ou diminuição, se mantiveram dentro dos limites de referência. As concentrações de

Cr e Se nas amostras de cabelos naturais estavam abaixo dos limites de referência e assim permaneceram, mesmo após o uso das diferentes tinturas. O elemento Ca possuía concentrações acima do limite de referência nas amostras de cabelo natural, mas após o tratamento com *henna* (CN3D), essa concentração caiu, de modo que ficou dentro do limite de referência aceito para esse elemento. Para o elemento Na as concentrações aumentaram acima do limite de referência após o uso dos tratamentos com tinta permanente e os 2 tonalizantes (CN3A, CN3B e CN3C).

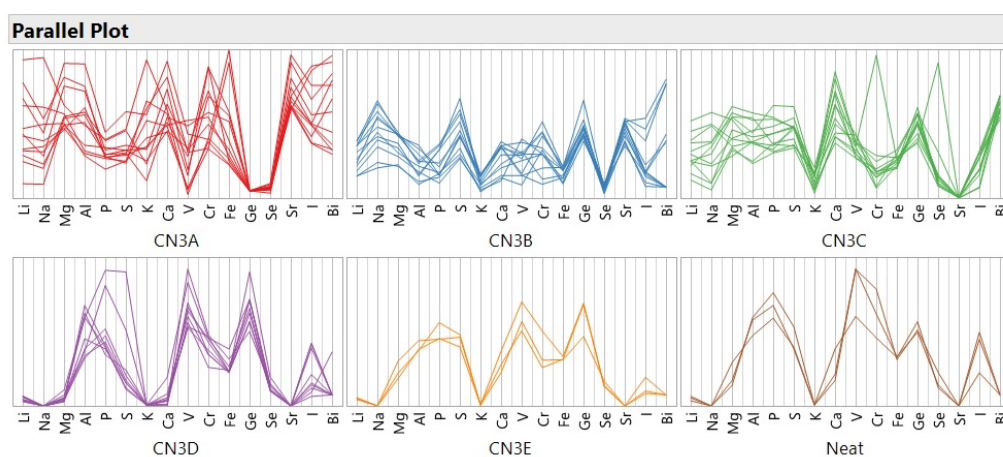


Figura 21 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C3.

Avaliando os resultados obtidos para o teste de Wilcoxon, nota-se que para as amostras C4, foram encontradas diferenças significativas nas concentrações de Li e Na para as amostras, que foram tratados com tinta permanente e 2 tonalizantes (CN4A, CN4B e CN4C). Para os tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN4A e CN4B), a concentração de Ge foi alterada de forma significativa, da mesma forma, para os tratamentos com 2 tonalizantes e *henna* (CN4B, CN4C e CN4D), o elemento Fe sofreu alteração. Os elementos Ca, Mg, P e Sr sofreram modificações em suas concentrações para todos os tratamentos utilizados.

A variação das concentrações de alguns elementos mais importantes para a separação dos grupos pode ser verificada através do gráfico da figura 22.

Analisando os gráficos *boxplot* para a amostra C4, em conjunto dos testes, é possível constatar que as concentrações de Ca já eram elevadas acima do limite de referência e, após o tratamento com *henna* (CN4D), essas concentrações diminuíram, de modo a quase atingir o limite de referência para esse elemento. As concentrações de Fe estavam acima do limite de referência e após os tratamentos com os 2 tonalizantes e *henna* (CN4B, CN4C e CN4D), essas concentrações caíram dentro do intervalo, em contrapartida para o Li essas concentrações estavam abaixo do limite de referência e após uso dos tratamentos com tinta permanente e tonalizantes (CN4A, CN4B e CN4C), essas concentrações caíram dentro do intervalo de referência. As concentrações de Mg, estavam acima do limite e após o tratamento com *henna* (CN4D), caíram dentro do limite estabelecido para esse elemento. O elemento Na tinha concentrações abaixo do limite no cabelo natural e após os tratamentos com tinta permanente e tonalizantes (CN4A, CN4B e CN4C), essas concentrações aumentaram de modo a ficarem acima dos limites aceitáveis. Esse comportamento também foi observado para o Sr nos tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN4A e CN4B).

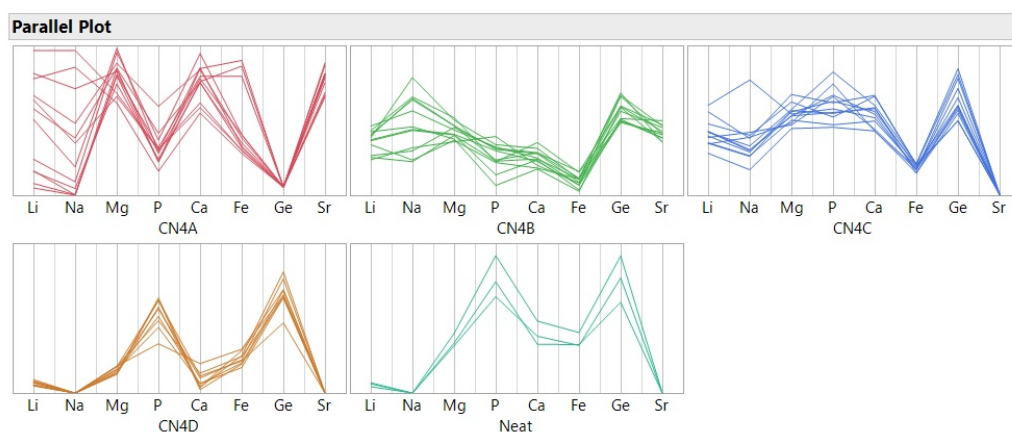


Figura 22 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C4.

Avaliando o teste de Wilcoxon para os tratamentos realizados na amostra C5, observa-se que, as concentrações de Al, Fe, K, Na, P, V e Zn, sofreram diferenças significativas após o uso da tinta permanente e do tonalizante B (CN5A e CN5B). Os elementos Mg e Sr sofreram diferenças significativas em suas concentrações após os tratamentos com tinta permanente, tonalizante e *henna* (CN5A, CN5B e CN5D). Nas concentrações de Ge foram verificadas diferenças significativas após o tratamento com tinta permanente (CN5A). Enquanto isso, após aplicação da *hena*, as concentrações de Ca e Li também sofreram alterações. Com auxílio do gráfico da figura 23, é possível verificar essa variação das concentrações de alguns elementos após uso de diferentes tratamentos.

Avaliando os *boxplots* e resultados dos testes para os elementos avaliados na amostra C5, observa-se que para o elemento Fe as concentrações nas amostras de cabelo natural estavam acima do limite de referência esperado, mas após o uso dos tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN5A e CN5B), suas concentrações caíram dentro do intervalo de referência. Após aplicação da *henna* (CN5D) a concentração de Li caiu abaixo do limite inferior estabelecido para ele. Para Mg, Na e Sr foram observados aumento das concentrações acima do limite de referência, enquanto a concentração de Zn caiu abaixo do limite de referência após aplicação dos tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN5A e CN5B).

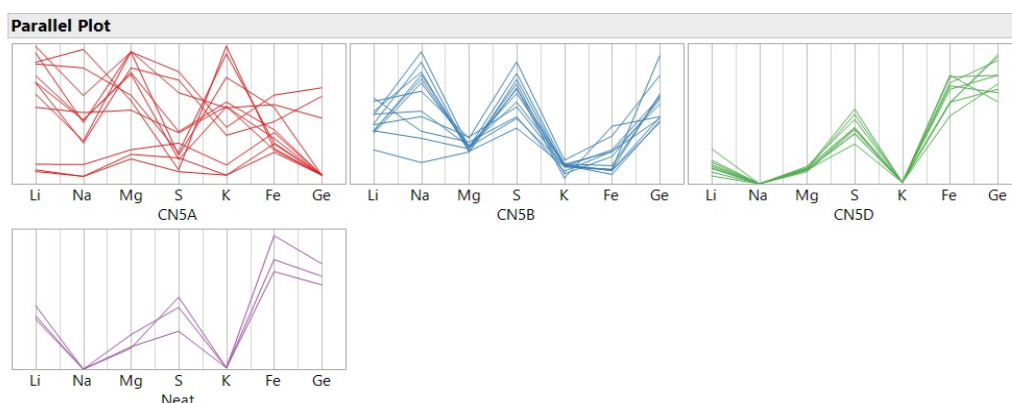


Figura 23 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C5.

Para a amostra C6 o teste de Wilcoxon indicou que o tratamento com tinta permanente (CN6A) alterou a concentração de Pd de forma significativa, mas após o uso do tonalizante B (CN6B) foram as concentrações de Fe que sofreram alterações. Já para os elementos K e Mg as concentrações apresentaram diferença significativa para todos os tratamentos aos quais essas amostras foram submetidas. Analisando a figura 24 é possível analisar a variação das concentrações desses elementos nos tratamentos.

A análise dos *boxplots* e dos resultados dos testes para a amostra C6, mostram que para o Fe as concentrações caíram abaixo do limite de referência após o uso do tonalizante B (CN6B), vale ressaltar que as amostras de cabelo natural possuíam concentrações para esse elemento acima do valor limite. O elemento K possuía concentrações abaixo do limite de referência, mas com a aplicação dos tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN6A e CN6B) essas concentrações ficaram dentro da faixa limite de referência, mas após uso desses tratamentos as concentrações de Mg que estavam dentro do limite do intervalo de referência nas amostras de cabelo natural, aumentaram e ficaram acima dos limites de referência.

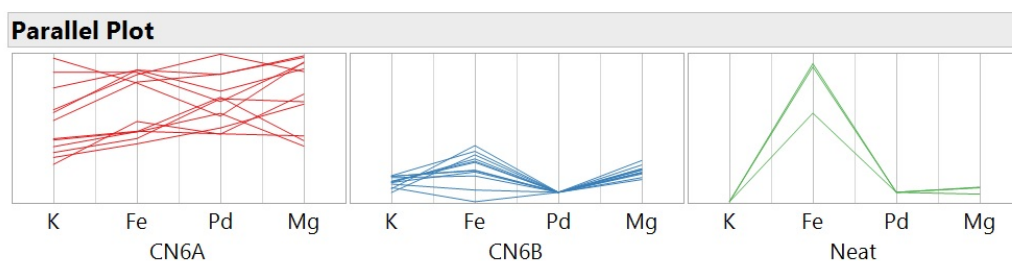


Figura 24 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C6.

Para as amostras C7, a análise do teste de Wilcoxon mostra que após tratamento com tinta permanente (CN7A) as concentrações de Au e Hg sofreram diferenças significativas, já para o elemento Be a diferença significativa ocorreu após o uso do tonalizante B (CN7B). Após uso dos tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN7A e CN7B) as concentrações dos elementos K, Pd e S sofreram diferenças significativas. Verificou-se que, após os tratamentos

com tinta permanente, tonalizante B e *henna* (CN7A, CN7B e CN7D) os elementos Al, Li, Mo e Sr sofreram diferença significativa. Os tratamentos com tinta permanente e *henna* (CN7A e CN7D) alteraram de forma significativa as concentrações de Mg, mas para o elemento Na, essa diferença foi constatada após o uso dos tratamentos com tinta permanente, *henna* e tablete tonalizante (CN7A, CN7D e CN7E). O gráfico da figura 25, ilustra as variações das concentrações de alguns elementos por tratamentos.

A avaliação dos *boxplots* e testes estatísticos para a amostra C7 nos revela que os elementos tóxicos Al e Hg mantiveram suas concentrações dentro dos limites aceitáveis, mesmo após terem aumento de suas concentrações após os tratamentos de coloração. As concentrações de Na e Sr aumentaram acima do limite de referência após os tratamentos com tinta permanente e tonalizante B (CN7A e CN7B), o Li também sofreu aumento de concentração após uso desses tratamentos, mas sua concentração ficou dentro do intervalo de referência aceitável. Já o elemento Mg, teve aumento de sua concentração após os tratamentos com tinta permanente, tonalizante B e tablete tonalizante (CN7A, CN7B e CN7E). Para os elementos Au e S foram observados diminuição e aumento de suas concentrações, respectivamente, mas mesmo assim permaneceram dentro do intervalo de referência estabelecido para esses elementos.

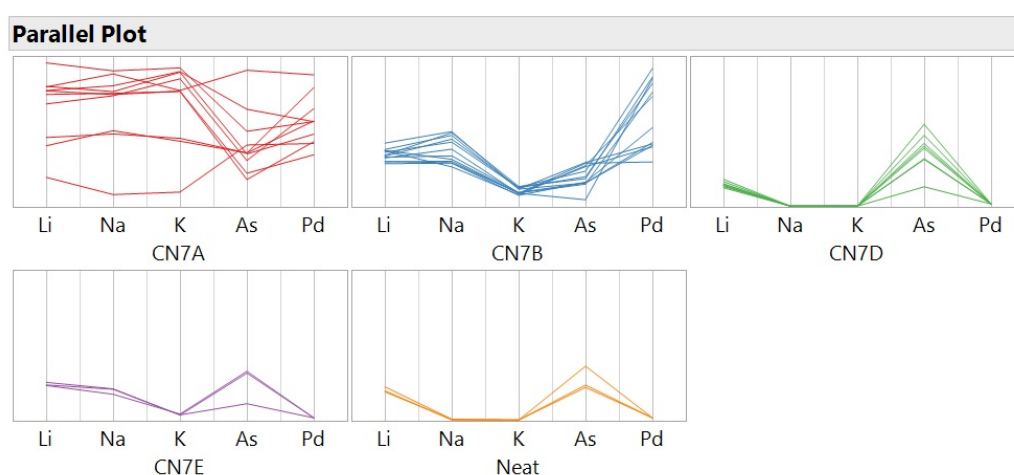


Figura 25 Gráfico da variação das concentrações dos elementos com maior contribuição para a separação dos grupos para a amostra C7.

Chojnacka et al., comparou amostras de cabelos naturais com cabelos tingidos e verificou que as amostras que foram submetidas a tratamentos de coloração apresentaram diferenças significativas nas concentrações dos elementos Ba, Ca, K, La, Mg, Sr e Si. Peregrino et al., em seu estudo, demonstra que há aumento nas concentrações dos metais alcalinos terrosos, Ca, Mg, Sr e Ba em cabelos tingidos. Nesse trabalho também foi possível verificar diferença significativa na concentração dos elementos essenciais Ca, Na, Mg e Sr, que tiveram aumento de suas concentrações após aplicação de alguns tratamentos de coloração.

Avaliando a composição das tinturas permanentes e semipermanentes, de acordo com a composição informada pelo fabricante, nota-se que ela possui agentes condicionantes, agentes emulsionantes, agentes quelantes, agentes oxidantes, antioxidantes, corantes, reguladores de pH, surfactantes, umectantes, além de outros aditivos. Algumas delas possuem em sua composição ésteres ou sais de Ca, Mg e Na, o que pode explicar o aumento da concentração desses elementos em alguns tratamentos. Mas para outros elementos essenciais como Fe, Li, P e Zn ocorreram diminuição de suas concentrações, o que pode ser explicado pela presença de agentes quelantes nessas formulações.

Para os elementos tóxicos Al, As, Be, Cd, Pb e Sn, foram observadas diferenças significativas de diminuição de suas concentrações após os tratamentos de coloração, mas para os elementos Bi e Hg foram observados aumento de suas concentrações. Sais de Ag, Bi e Pb são usados em tintas e tonalizantes que possuem corantes sintéticos, mas nas tintas analisadas não estava escrito em sua composição o uso desse tipo de corante. Pode ser que o uso da tinta tenha extraído esses elementos do cabelo, o que seria esperado se esses elementos estão preferencialmente adsorvidos na superfície dos fios.

Ozbek, 2016, avaliou a concentração de metais tóxicos Cd, Ni e Pb nas tinturas sintéticas e corantes naturais do tipo *henna* e verificou que cabelos tingidos com *henna* (corante natural), apresentaram concentrações desses elementos superiores aos cabelos tratados com colorações sintéticas. Mas segundo a composição química fornecida pelo fabricante a *henna* é composta por uma mistura de extratos naturais e não contém metais tóxicos, baseado nos testes realizados com as amostras naturais e tingidas esse fato pode ser

comprovado uma vez que as concentrações desses elementos não apresentaram diferenças significativas em relação as amostras de cabelos naturais, isso sem considerar as amostras nos quais esses elementos já estavam com altas concentrações desses elementos nas amostras naturais.

Kalicanin, 2016 relata que Cu, Cr, Fe e Zn são adicionados a produtos cosméticos para melhorar sua qualidade, já Al, Si, Pb, Ti e Zn são adicionados as formulações para aumentar o brilho e a paleta de cores. Sais de Co também são usados como pigmentos em tinturas de cabelo principalmente em tinturas do tipo *henna* (Bocca, 2014). Esse fato não foi observado nos tratamentos utilizados, pois para alguns desses elementos foi observado diminuição de suas concentrações após aplicação desses tratamentos, como é o caso de Al e Fe.

5. Conclusões

O presente trabalho investigou a influência do uso dos diferentes tratamentos de coloração na concentração dos elementos analisados para a realização do exame de mineralograma capilar.

Os resultados foram avaliados através de variadas ferramentas estatísticas como gráficos do tipo *boxplot*, nos quais foi possível identificar possíveis diferenças entre as concentrações dos elementos nos cabelos naturais (C1 a C7) e os mesmos cabelos após serem submetidos a tratamentos de coloração, os intervalos de referência também foram mostrados para os elementos essenciais e tóxicos. Essa análise gráfica permitiu verificar que, após serem submetidos a alguns tratamentos as concentrações de vários elementos nas amostras, tiveram aumento ou diminuição, essas alterações foram capazes de fazer com que as concentrações desses elementos ficassem fora do intervalo de referência, o que pode ocasionar erros de diagnósticos na avaliação dos exames de mineralograma capilar.

Com auxílio da análise discriminante linear foi possível verificar os elementos que mais contribuíram para a separação dos tipos de tratamentos realizados em cada cabelo. Após o estudo dos elementos mais significativos na separação dos grupos, testes não paramétricos de comparação de grupos foram usados para identificação dos elementos químicos que sofreram diferença significativa ($p < 0,05$) em suas concentrações.

Diante o exposto pode-se concluir que se faz necessária a pausa de tratamentos de coloração nos cabelos pelo menos 3 meses antes da coleta da amostra para a realização do exame de mineralograma capilar, para que o cabelo cresça livre de tratamentos estéticos e não haja interferência nas avaliações das concentrações desses elementos, que podem ser extraídos ou adicionados aos fios após aplicação do tratamento de coloração.

6. Referências

ABIHPEC 2019. Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. Panorama do setor de HPPC. Disponível em:<Panorama do Setor – Atualização Novembro 2021 – ABIHPEC>. Acessado em janeiro de 2022.

AGRAWAL, A. & Choudhary, A. Perspective: Materials informatics and big data: Realization of the “fourth paradigm” of science in materials science. APL Mater. 4, 53208, 2016. AHN HJ, LEE WS. An ultrastructural study of hair fiber damage and restoration following treatment with permanent hair dye. Int J Dermatol. 2002 Feb;41(2):88-92. Disponível em:<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-4362.2002.01375.x>>. Acessado em janeiro de 2022.

ANUNCIAÇÃO, D. L. R. Análise de elementos maiores, menores e traço, em amostras de cabelo, aplicado a triagem populacional com elevada incidência de câncer. Dissertação de Mestrado em Química. Instituto de Química – Universidade de Brasília. Brasília – Distrito Federal, 2008. Disponível em:<<https://repositorio.unb.br/handle/10482/1913>>. Acessado em janeiro de 2022.

ANVISA, RDC Nº 529, DE 4 DE AGOSTO DE 2021 (Publicada no DOU nº 151, de 11 de agosto de 2021).

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/>. Acessado janeiro em de 2022.

Beginner’s Guide to Decision Trees for Supervised Machine Learning. Disponível em < <https://www.quantstart.com/articles/Beginners-Guide-to-Decision-Trees-for-Supervised-Machine-Learning/>>. Acesso em Outubro de 2022.

BROCH, S. C.; FERREIRA, D. F. Distribuições multivariadas das estatísticas do teste de Dunn não-central. Rev. Bras. Biom., São Paulo, v.31, n.4, p.501-515, out.- dez. 2013.

BOCCA, B.; PINO, A.; ALIMONTI, A.; FORTE, G. Toxic metals contained in cosmetics: A status report. Elsevier, Regulatory Toxicology and Pharmacology 68, 2014.

CARNEIRO, M. T. W. D.; SILVEIRA, C. L. P.; MIEKELEY, N.; FORTES, L. M. C. Intervalos de referência para elementos menores e traço em cabelo humano para a população da cidade do Rio de Janeiro - Brasil. *Química Nova*, v.25, n.1, p. 37-45, 2002.

CHOJNACKA, K.; Zielinska A.; Górecka, H.; Dobrzanki, Z.; Górecki, H. Reference Values for hair minerals of Polish students - *Environmental Toxicology Pharmacology*, v.29, n.3, p 314-319, 2010.

COVA, Tânia Firmino G. G. - Aplicações em quimiometria. Do diagnóstico médico à ciétiometria. Coimbra, 2011. 156p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/16193>>. Acessado em agosto de 2022.

FERREIRA, A. L. S., Comparação de diferentes técnicas para detecção e tratamentos de outliers na determinação de fatores de medidores. Rio de Janeiro, 2017. 86 p. Dissertação de Mestrado – Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=33040@1>>. Acessado em agosto de 2022.

FERREIRA, C. M. M.; *Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações*. Editora Unicamp, ano 2015.

FORTES, L. M C., Anomalias de elementos menores e traço em cabelo humano como indicador de patologias endócrinas e de deficiências no metabolismo do osso, Rio de Janeiro, 1999. 1366 p. Dissertação de Doutorado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

GINÉ, F. M., Espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS), Centro de energia nuclear na agricultura – CENA, Universidade de São Paulo – USP, 1999.

GUERRA-TAPIA A, GONZALEZ-GUERRA E. Hair cosmetics: dyes. *Actas Dermosifiliogr*. 2014 Nov;105(9):833-9. English, Spanish. doi: 10.1016/j.ad.2014.02.004. Epub 2014 Mar 20. PMID: 24656996. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24656996/> . Acessado em maio de 2022.

HARRISON S, Sinclair R. Hair colouring, permanent styling and hair structure. *J Cosmet Dermatol.* 2003 Jul;2(3-4):180-5. doi: 10.1111/j.1473-2130.2004.00064.x. PMID: 17163926. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17163926/>. Acessado em maio de 2022.

INMETRO. Orientação sobre validação de métodos analíticos. DOQ-CGCRE-008 – Rev. 05 – Ago/16. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/CGCRE/DOQ/DOQ-CGCRE-8_05.pdf. Acessado em Maio de 2022.

HASTIES, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. Os elementos do Aprendizado Estatístico. Springer, 2º edição, 2008.

KALICANIN, B.; VELIMIROVIC, D. A Study of the Possible Harmful Effects of Cosmetic Beauty Products on Human Health. *Biological Trace Element Research*, v.170, n.2, p. 476-484, abril 2016.

KASS, G. V. An Exploratory Technique for Investigating Large Quantities of Categorical Data. *Appl. Stat.* **29**, (1980).

KAPSIANI, S. & Howlin, B. J. Random forest classification for predicting lifespan-extending chemical compounds. *Sci. Rep.* 11, (2021)

KOHLER, R.C.O. A química da estética capilar como temática no ensino de química e na capacitação dos profissionais da beleza. 2011. 112 p. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3577.

Acessado em janeiro de 2022.

LEONARDI, G. R. Cosmetologia aplicada. 2 ed. São Paulo: Ed. Santa Isabel. p. 2-5, 34-45, 2008.

LIMA et al. Implementação de testes para homoscedasticidade no pacote ExpDes. *Revista da Estatística UFOP*, Vol III(2), 2014, ISSN 2237-8111 Edição especial: 59 Reunião Anual da Regional Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria - RBRA

LUCAMBIO, F. Diferentes testes para verificar normalidade de uma amostra aleatória. Departamento de Estatística Universidade Federal do Paraná, 2008.

MARROCOS, V. C. P., Desenvolvimento de método para determinação de enxofre em cabelo por espectrometria de absorção molecular de alta resolução com fonte contínua e forno de grafite. Rio de Janeiro, 2019. 79 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: < https://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1721286_2019_completo.pdf>. Acessado em janeiro de 2022.

MIEKELEY, N.; CARNEIRO, C.L. How reliable are human hair reference intervals for trace elements. Elsevier The Science of the Total Environment 218, 1998.

MURPHREY, W. & Lucas, R. Jump into JMP® Scripting. (SAS Institute Inc, 2018).

NIST, Engineering Statistics Handbook. Disponível em: <<https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35a.htm>> Acesso em outubro de 2022.

OLIVEIRA, Ricardo A. G. de. et al. A química e a toxicidade dos corantes de cabelo. Química Nova, v. 37, n. 6, p. 1037-1046, Jul. 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/xgBbdhZqnGT9Xhvjr6L7hBw/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em janeiro de 2022.

OLIVEIRA, C. D.; DE CAROLI, A. A.; AMARAL, A. S; VILCA, O. L. , Detecção de fraudes, anomalias e erros em análise de dados contábeis: um estudo com base em outliers. Revista eletrônica do departamento de ciências contábeis e departamento de atuárias e métodos quantitativos da FEA-PUC-SP (Redeca), v.1, n. 1. Jan- Jun. 2014 p. 102-127.

OZBEK, N.; AKMAN, S. Determination of lead, cadmium and nickel in hennas and other hair dyes sold in Turkey. Regulatory Toxicology and Pharmacology, v.79, p. 49-53, agosto 2016.

ROCHA, RAFAEL C.C., Desenvolvimento de método para determinação de elementos tóxicos e essenciais em pelo canino por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado, Rio de Janeiro, 2021. 82 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: < <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/53064/53064.PDF>>. Acessado em janeiro de 2022.

PAIXÃO, V. P., Determinação de elementos traços em amostras de cabelo utilizando as técnicas de fluorescência de raios x (XRF) e espectrometria de retroespalhamento rutherford (RBS), Rio de Janeiro, 2015. 71p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em:

<<https://www.iq.ufrj.br/arquivos/2016/06/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Priscilla-Velasco-da-Paix%C3%A3o.pdf>>. Acessado em janeiro de 2022.

PASCALICCHIO, E. A., O diálogo entre a saúde pública e a medicina ortomolecular: um estudo de caso da contaminação por metais pesados, na perspectiva humana, através do mineralograma capilar, 207 p. (Tese de mestrado), Universidade de Saúde Pública de São Paulo, São Paulo, 2000.

PEREGRINO, S. G., Estudo da composição mineral de cabelo relacionada com o uso de tratamentos estéticos, Rio de Janeiro, 2016. 86 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/36983/36983.PDF>>. Acessado em janeiro de 2022.

PEREGRINO, G.; MASSONE, C. G; NUDI, A. H.; TD Saint’Pierre, Hair Mineralogram Analysis for Health Assessment: Statistical Bias from Gender and Aesthetic Treatments - Brazilian Journal of Analytical Chemistry, v.8, p. 71-88, 2021.

PERKINELMER, The 30-minute guide to ICP-MS, Technical note. Disponível em: <https://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74849tch_icpmsthirtyminuteguide.pdf>. Acesso em 13 Jan. 2022.

POZEBON, D.; VALDERI, L.; CURTIUS, A. J. Análise de cabelo: uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações. Química nova, 22 (6), p. 838-846, 1999. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/PYNT9rQhqmy9XYC6QZpkwFD/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em janeiro de 2022.

RIBEIRO, Fabiana Alves de Lima et al. Planilha de validação: uma nova ferramenta para estimar figuras de mérito na validação de métodos analíticos univariados. Química Nova, v. 31, n. 1, p. 164-171, 2008. Acesso em: 08 ago. 2022.

SANCHES. Desenvolvimento de formulações cosméticas contendo pigmento natural obtido de *Arthrospira platensis* e avaliação do efeito na fibra capilar antes e após irradiação ultravioleta. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS et.al. COLORAÇÃO CAPILAR: OS EFEITOS DAS TINTURAS NA SAÚDE E NA FIBRA CAPILAR, Educação, Gestão e Sociedade: revista da Faculdade Eça de Queirós, ISSN 2179-9636, Ano 6, número 22, junho de 2016. Disponível em: <http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170509162912.pdf>. Acessado em janeiro de 2022.

SHARAFI, K.; FATTAHI, N.; PIRSAHEB, M.; YARMOHAMADI, H.; DAVIL, M. F. Trace determination of lead in lipsticks and hair dyes using microwave-assisted dispersive liquid–liquid microextraction and graphite furnace atomic absorption spectrometry. *International Journal of Cosmetic Science*, v.37, n.5, p. 489-495, novembro 2015.

SRUTHI, E. R . Understanding Rando Forest. *Analytics Vidhya*, Julho, 2021. Disponível em: <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/>> Acesso em Outubro 2022.

THOMAS- A Beginner's Guide to ICP-MS Part I – Spectroscopy Tutorial , 2001.

ZHOU, T., Song, Z. & Sundmacher, K. Big Data Creates New Opportunities for Materials Research: A Review on Methods and Applications of Machine Learning for Materials Design. *Engineering* **5**, 1017–1026, 2019.

ANEXOS

I. Concentrações dos elementos essenciais e tóxicos nos cabelos por tipo de tratamento

A. Amostra C1

	CN1		CN1A		CN1B	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,011161	0,001050	0,013931	0,006309	0,008890	0,001134
⁹ Be	0,008768	0,000957	0,005521	0,003630	0,003941	0,001151
²³ Na	< 0,1	-	76,79695	104,1705	73,32197	33,83584
²⁴ Mg	52,65713	5,776424	130,7848	42,59715	72,06724	12,63188
³¹ P	126,3228	2,722235	113,2650	4,595354	106,4181	5,663352
³⁴ S	46576,33	894,0904	47693,45	1602,351	49742,48	2039,401
³⁹ K	< 2,0	-	17,32035	22,75847	4,443608	1,636272
⁴⁴ Ca	950,8271	66,90481	1395,484	291,5455	762,2591	134,3045
⁵⁵ Mn	0,630965	0,061314	0,682204	0,152770	0,682204	0,152770
⁵⁷ Fe	42,43052	2,687343	24,73148	6,323694	16,85512	4,859652
⁷⁴ Ge	0,012533	0,002479	0,007688	0,002281	0,008135	0,001388
⁷⁵ As	0,008972	0,000778	0,013038	0,002812	0,012615	0,002308
⁸² Se	0,677220	0,049104	0,677220	0,049104	0,650440	0,073502
⁸⁸ Sr	0,006558	0,000671	9,898808	2,048700	6,085086	1,023651
¹⁰⁵ Pd	< 0,001	-	0,004342	0,001554	0,002220	0,000900
¹¹⁴ Cd	0,055398	0,005143	0,072450	0,017515	0,049786	0,009436
¹¹⁸ Sn	0,749441	0,057267	0,992889	0,227055	0,757294	0,074046
¹²¹ Sb	0,013411	0,000951	0,0127062	0,00660	0,007755	0,002994
¹³⁷ Ba	5,334054	0,541784	8,021900	1,460656	4,711734	0,744148
²⁰² Hg	0,791497	0,014167	1,036938	0,086774	0,936861	0,051612
²⁰⁸ Pb	2,133117	0,281257	1,896789	0,718346	1,451378	0,182939
²⁰⁹ Bi	0,004493	0,006397	0,004416	0,001251	0,004748	0,001233

	CN1C		CN1D		CN1E	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,00674	0,0011832	0,0060356	0,0010943	0,0060356	0,0010943
⁹ Be	0,0031578	0,0012224	0,0044517	0,0016338	0,0036667	0,0005774
²³ Na	36,578165	32,576587	0,2304029	0,1217358	0,05	8,498e-18
²⁴ Mg	77,302147	11,566061	31,565166	7,9121693	39	1
³¹ P	101,74977	5,0445883	132,599	10,57691	117	4
³⁴ S	49586,881	2168,8993	46670,724	3399,5232	47242	478,93319
³⁹ K	3,7653709	2,9975129	< 2,0	-	< 2,0	-
⁴⁴ Ca	787,38211	119,12567	699	9,6436508	699	9,6436508
⁵⁵ Mn	0,3984146	0,0604685	0,6198073	0,2035277	0,4006667	0,0205508
⁵⁷ Fe	15,7029	2,8724738	24,672816	5,8796772	19,666667	1,5275252
⁷⁴ Ge	0,0081179	0,0015532	0,011542	0,0025021	< 0,018	-
⁷⁵ As	0,0098436	0,0028487	0,0122227	0,0030469	0,0083333	0,0005774
⁸² Se	0,7252512	0,0616104	0,7585146	0,0805755	0,0098436	0,0028487
⁸⁸ Sr	6,1282686	0,9523392	0,0042684	0,001714	0,004	-
¹⁰⁵ Pd	0,0019265	0,0006057	< 0,001	-	< 0,001	-
¹¹⁴ Cd	0,042407	0,0110355	0,0393692	0,0052064	0,0556667	0,0196554
¹¹⁸ Sn	0,624292	0,2145435	0,5539461	0,1229066	0,5273333	0,0175594
¹²¹ Sb	0,0065572	0,0028782	< 0,010	-	< 0,010	-
¹³⁷ Ba	4,5900215	0,6647396	3,8243084	0,9016574	3,6033333	0,2541935
²⁰² Hg	0,897226	0,0679068	0,8103558	0,0472214	0,8433333	0,0057735
²⁰⁸ Pb	1,2257777	0,3312921	1,4839614	0,309587	1,5966667	0,1361372
²⁰⁹ Bi	0,0033202	0,0018123	0,0008	1,15e-19	0,0066667	0,011547

B. Amostra C2

	CN2		CN2A		CN2B	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,014856	0,001361	0,0263572	0,00892	0,014463	0,003421
²³ Na	< 0,10	-	276,9197	275,0241	88,67578	79,05877
²⁴ Mg	84,34578	13,78991	207,5218	50,70306	102,5698	22,77452
²⁷ Al	94,96955	17,25303	70,80017	15,46360	47,13761	10,54154
³¹ P	113,6368	6,641198	110,8708	9,340061	95,75107	7,891791
⁴⁴ Ca	1527,410	208,0575	2148,726	444,8243	1108,677	165,4052
⁵⁵ Mn	0,741687	0,083500	1,256409	0,673482	0,500636	0,041923
⁵⁷ Fe	50,06058	7,787804	45,66823	20,12608	20,14544	2,98314
¹⁰⁵ Pd	0,0010	-	0,004458	0,001657	0,003499	0,001336
²⁰⁹ Bi	0,0010	-	0,011274	0,025141	0,005115	0,0021468

CN2D		
	Média	Desvio
⁷ Li	0,00879	0,001613
²³ Na	0,084636	0,056596
²⁴ Mg	30,46317	3,254868
²⁷ Al	43,24609	10,37814
³¹ P	116,7381	5,142393
⁴⁴ Ca	585,0497	39,83451
⁵⁵ Mn	0,584850	0,085435
⁵⁷ Fe	19,13851	1,995900
¹⁰⁵ Pd	0,0010	-
²⁰⁹ Bi	0,0008	1,15e-19

C. Amostra C3

	CN3		CN3A		CN3B	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,001032	0,000304	0,009322	0,004810	0,005559	0,001801
²³ Na	< 0,10	-	284,2137	157,5613	319,0142	101,5475
²⁴ Mg	74,86531	20,13601	174,1733	36,99178	114,5307	21,02436
²⁷ Al	18,71469	1,646169	18,28368	4,906408	10,46365	2,094862
³¹ P	117,2931	5,974567	91,945532	4,746354	85,76409	6,491481
³⁴ S	46224,94	1655,378	44373,60	2091,564	46202,72	2621,465
³⁹ K	< 2,0	-	61,59126	31,32848	15,40753	5,818974
⁴⁴ Ca	884,0275	169,1613	1398,010	226,6069	1398,010	226,6069
⁵¹ V	0,064774	0,010105	0,034579	0,009246	0,034014	0,005273
⁵³ Cr	0,138260	0,018001	0,130769	0,021978	0,104738	0,014100
⁵⁷ Fe	17,91171	0,428483	23,40194	10,54465	11,69498	1,646444
⁷⁴ Ge	0,007246	0,000375	0,0025	4,53e-19	0,006665	0,000723
⁸² Se	0,577702	0,108722	0,388254	0,034170	0,384008	0,044593
⁸⁸ Sr	0,0010	-	9,929120	1,733592	6,465829	0,916843
¹²⁷ I	1,860013	0,507679	2,501127	0,627594	1,315777	0,512386
²⁰⁹ Bi	0,0016	-	0,002918	0,000989	0,001822	0,001207

	CN3C		CN3D		CN3E	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,005988	0,002318	0,000981	0,000280	0,000994	0,000121
²³ Na	< 0,10	-	0,05	7,36e-18	0,529268	0,199472
²⁴ Mg	38,38601	6,128916	38,38601	6,128916	83,81501	15,06569
²⁷ Al	15,25848	2,639750	17,07084	3,452032	14,93667	0,899161
³¹ P	99,61413	7,221574	106,3202	14,14028	104,1249	4,401701
³⁴ S	46593,49	1625,174	46593,49	1625,174	46413,73	864,4099
³⁹ K	17,38289	7,593368	< 2,0	-	< 2,0	-
⁴⁴ Ca	1374,018	242,5175	576,4573	87,29756	935,2393	109,1157
⁵¹ V	0,039009	0,002994	0,056480	0,007435	0,052516	0,005441
⁵³ Cr	0,095736	0,026107	0,114153	0,008138	0,109196	0,014279
⁵⁷ Fe	15,16874	1,475692	15,42022	2,167036	17,74612	0,472135
⁷⁴ Ge	0,006928	0,000806	0,008621	0,001180	0,008137	0,001270
⁸² Se	0,654445	0,462614	0,505930	0,061475	0,540489	0,038775
⁸⁸ Sr	0,054763	0,024696	0,0010	-	0,0010	-
¹²⁷ I	1,262452	0,301172	1,285081	0,510238	0,939698	0,204746
²⁰⁹ Bi	0,002997	0,000228	0,000927	0,000383	0,0016	-

D. Amostra C4

	CN4		CN4A		CN4B	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,001159	0,000269	0,0093935	0,006354	0,007233	0,001477
²³ Na	< 0,10	-	305,8651	312,982	427,3153	165,8476
²⁴ Mg	104,8939	13,02542	241,0234	33,74198	128,8001	15,71717
³¹ P	108,3930	6,931515	85,55401	5,601920	82,84626	4,558208
⁴⁴ Ca	1290,450	157,4713	2012,071	236,0833	1007,137	106,3972
⁵⁷ Fe	22,20979	1,678807	26,41839	8,245219	13,28200	1,420446
⁷⁴ Ge	0,008871	0,001394	0,0025	4,53e-19	0,007135	0,000649
⁸⁸ Sr	0,0010	-	13,61485	1,288424	7,323712	0,800351

	CN4C		CN4D	
	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,008355	0,001828	0,001325	0,000290
²³ Na	320,7537	133,605	< 0,10	-
²⁴ Mg	162,4231	19,24852	46,31851	6,413301
³¹ P	100,2717	5,412668	96,52009	5,032376
⁴⁴ Ca	1584,450	164,9383	673,33645	110,6683
⁵⁷ Fe	16,40342	0,744600	18,06859	1,44086
⁷⁴ Ge	0,007768	0,001074	0,007996	0,000851
⁸⁸ Sr	0,093008	0,020959	0,0017001	0,000298

E. Amostra C5

	CN5		CN5A		CN5B	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,008764	0,000601	0,011351	0,003916	0,009280	0,001253
⁹ Be	0,004323	0,00099	0,004891	0,001222	0,004323	0,001569
²³ Na	0,15633	0,092117	212,6952	141,7337	306,0626	120,7990
²⁴ Mg	62,10591	10,58908	151,6106	57,81508	78,41988	7,018564
²⁷ Al	68,92345	16,24294	33,4919	5,347148	30,39288	9,024667
³¹ P	120,2519	5,86449	98,91279	7,399450	104,9653	6,094273
³⁴ S	39717,94	1742,676	38877,02	3463,365	42846,4	1975,119
³⁹ K	< 2,0	-	49,11235	30,76735	11,87667	3,491883
⁴⁴ Ca	1084,65	247,8481	1428,866	488,825	797,0794	119,8635
⁵¹ V	0,133253	0,022399	0,048419	0,022324	0,05833	0,015583
⁵³ Cr	0,11983	0,016571	0,101145	0,015035	0,11296	0,073475
⁵⁵ Mn	0,62451	0,039875	0,671678	0,137723	0,591323	0,072111
⁵⁷ Fe	21,32914	1,819511	15,31120	1,926514	15,31120	1,926514
⁶⁶ Zn	147,8688	1,198729	128,1099	7,462362	128,8115	7,810697
⁷⁴ Ge	0,007368	0,000607	0,003557	0,001955	0,006686	0,001149
⁷⁵ As	0,01063	0,002346	0,011672	0,003189	0,007931	0,002875
⁸² Se	0,463038	0,055300	0,346723	0,079783	0,390679	0,041206
⁸⁸ Sr	0,003052	0,000655	8,737432	3,080065	5,059902	0,885459
¹⁰⁵ Pd	< 0,0010	-	0,00287	0,003488	0,000926	0,000456
¹⁹⁷ Au	0,003476	0,000480	0,006531	0,010212	0,003199	0,000564

CN5D		
	Média	Desvio
⁷ Li	0,005599	0,000665
⁹ Be	0,005402	0,001529
²³ Na	0,300494	0,261985
²⁴ Mg	45,86423	2,180691
²⁷ Al	53,66901	10,3808
³¹ P	119,1887	5,958060
³⁴ S	39702,31	1068,53
³⁹ K	< 2,0	-
⁴⁴ Ca	812,2452	50,92833
⁵¹ V	0,113088	0,020239
⁵³ Cr	0,122833	0,015376
⁵⁵ Mn	0,796751	0,193962
⁵⁷ Fe	19,09083	1,382746
⁶⁶ Zn	144,1193	6,054908
⁷⁴ Ge	0,008098	0,000952

⁷⁵ As	0,011634	0,003543
⁸² Se	0,477975	0,039203
⁸⁸ Sr	0,002229	0,000374
¹⁰⁵ Pd	0,0010	-
¹⁹⁷ Au	0,004768	0,001756

F. Amostra C6

	CN6		CN6A		CN6B	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
²⁴ Mg	72,24159	6,437046	235,2399	56,51300	103,2973	8,583666
³⁹ K	< 2,0	-	64,94824	27,6285	16,60863	4,275527
⁵⁷ Fe	23,35979	2,580869	21,21138	2,875782	15,27519	1,495289
¹⁰⁵ Pd	0,0010	-	0,004738	0,001177	0,0005	1,132e-19

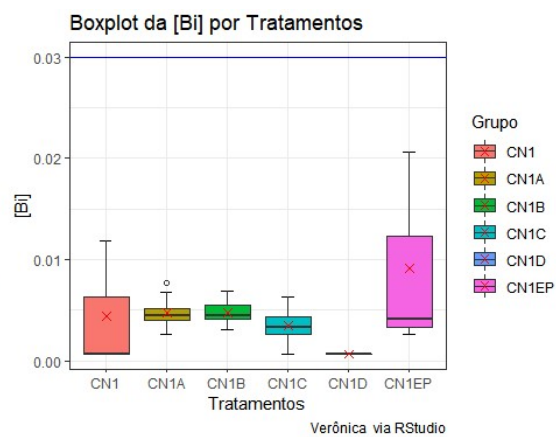
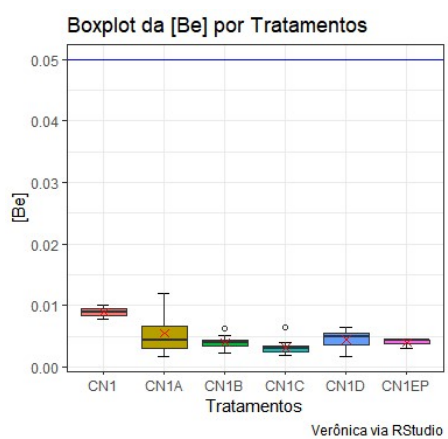
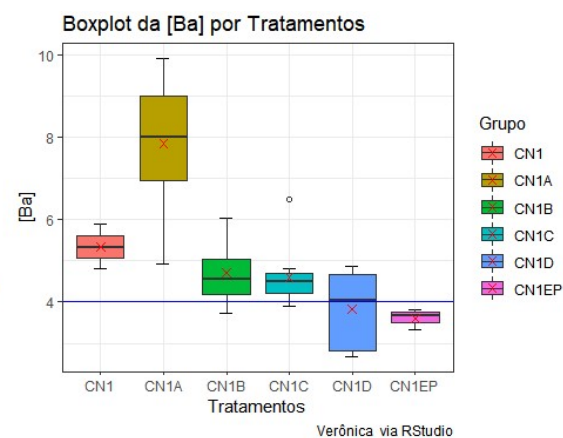
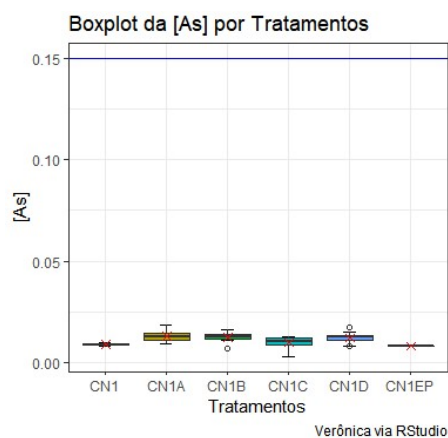
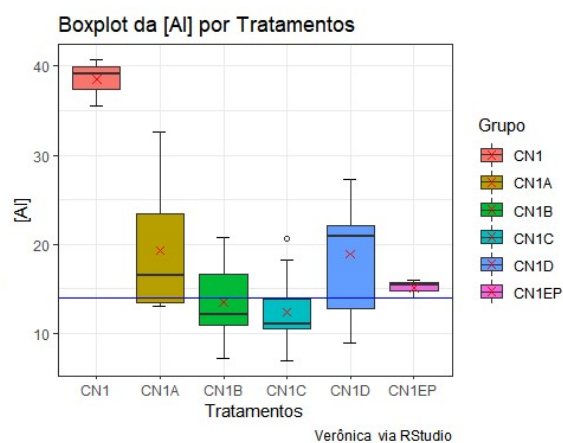
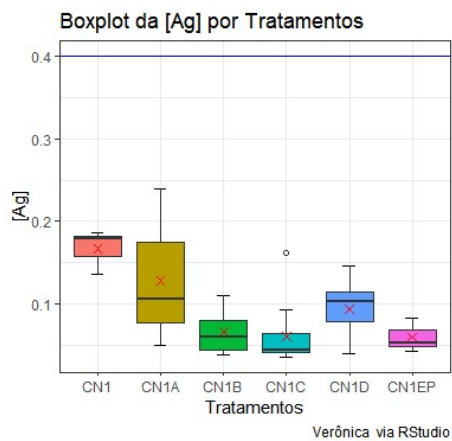
G. Amostra C7

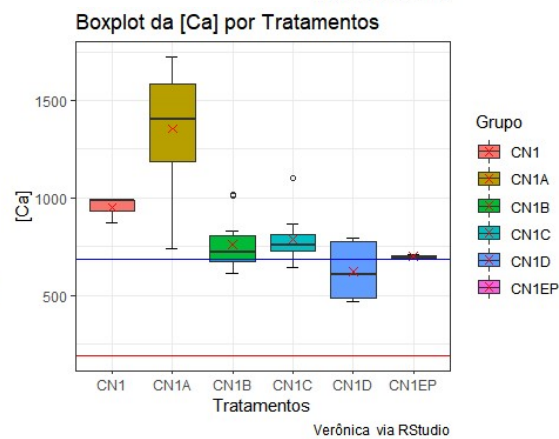
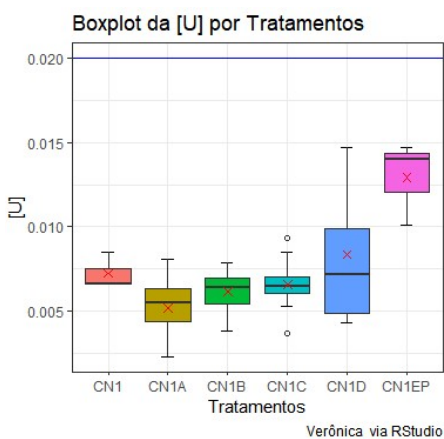
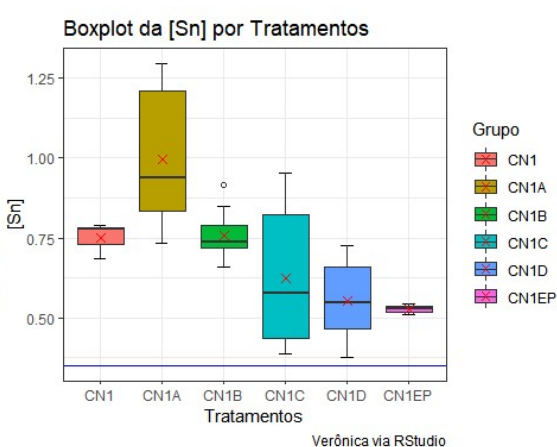
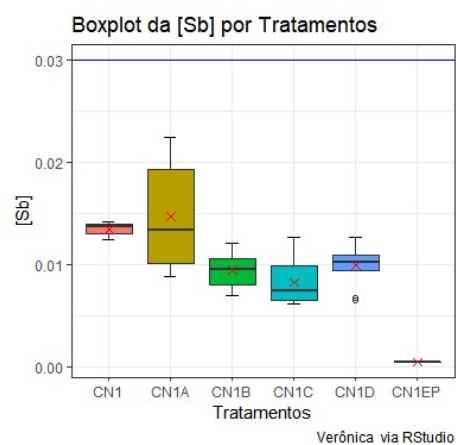
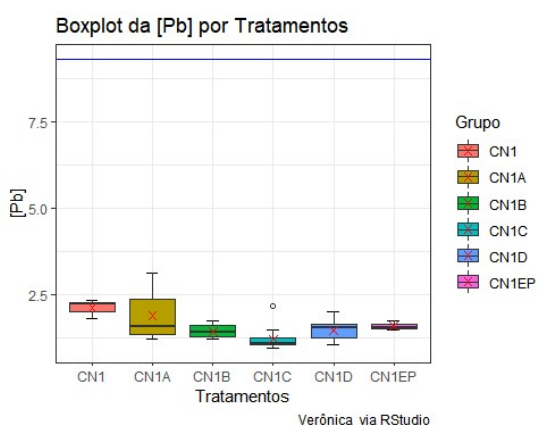
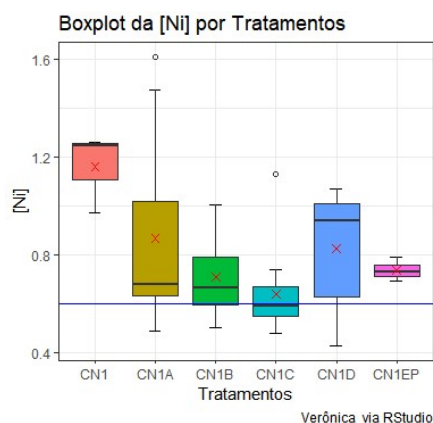
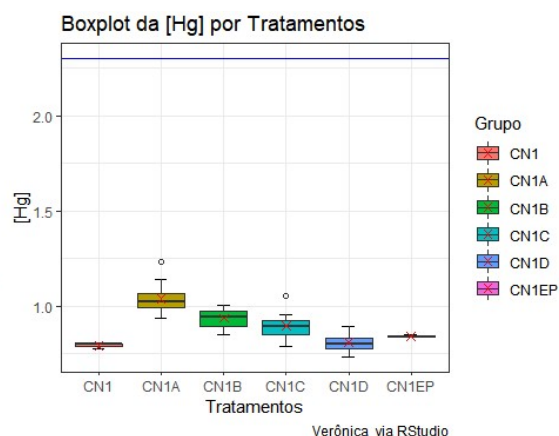
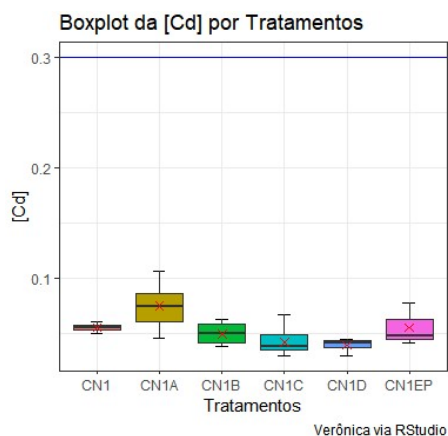
	CN7		CN7A		CN7B	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,0031788	0,000526	0,019745	0,006900	0,010352	0,001191
⁹ Be	0,002937	0,001333	0,001578	0,001041	0,001180	0,000735
²³ Na	9,314462	2,620060	665,9158	246,8684	378,1079	86,92338
²⁴ Mg	191,7904	20,54703	261,6042	51,33942	197,4155	33,69855
²⁷ Al	52,70431	3,872218	23,12292	6,849573	24,91571	8,652002
³¹ P	132,2951	2,021037	124,5007	26,60888	107,6342	4,886678
³⁴ S	41958,55	1051,376	51440,86	10202,62	44385,17	1749,871
³⁹ K	< 2,0	-	120,0048	47,04066	18,30999	3,597744
⁷⁵ As	0,013223	0,002311	0,017746	0,006438	0,011098	0,002189
⁸⁸ Sr	0,007182	0,000522	15,26816	2,959626	11,83304	2,478569
⁹⁸ Mo	0,042692	0,002563	0,019553	0,007481	0,030483	0,005238
¹⁰⁵ Pd	< 0,0010	-	0,014259	0,004150	0,015449	0,005613
¹⁹⁷ Au	0,018303	0,003574	0,008412	0,003299	0,014734	0,003557
²⁰² Hg	0,222509	0,019558	0,340245	0,078807	0,260490	0,037257

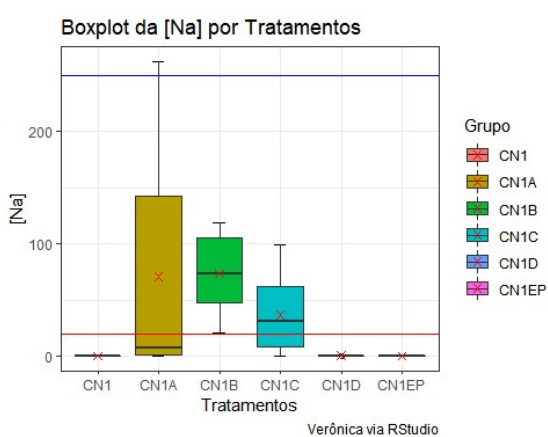
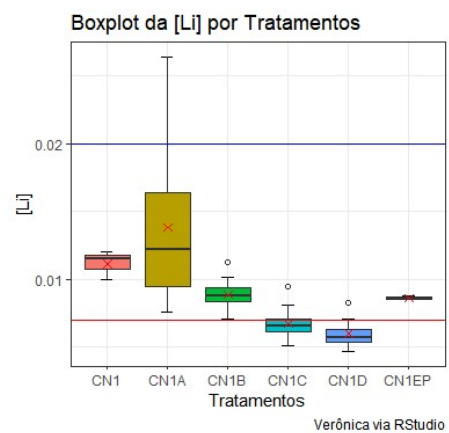
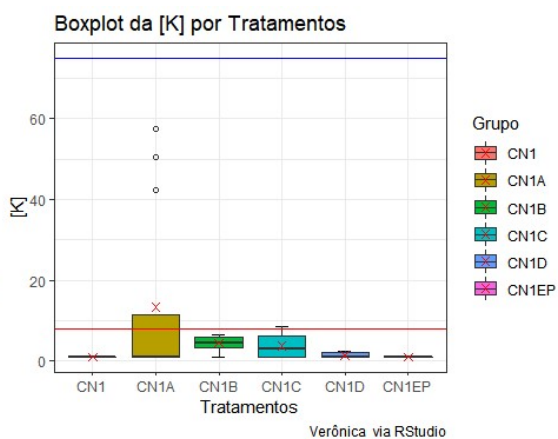
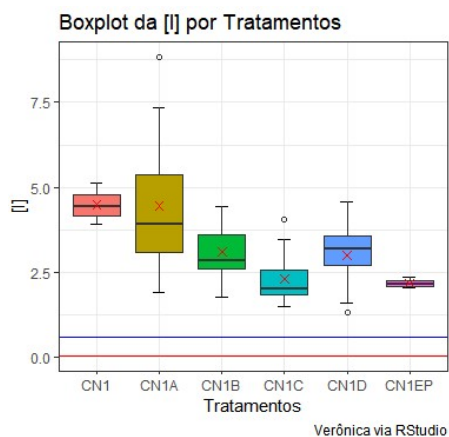
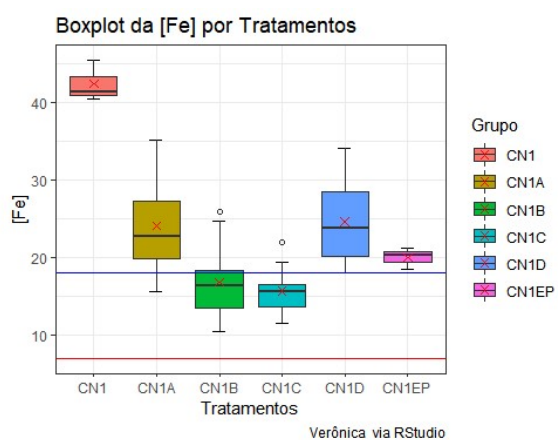
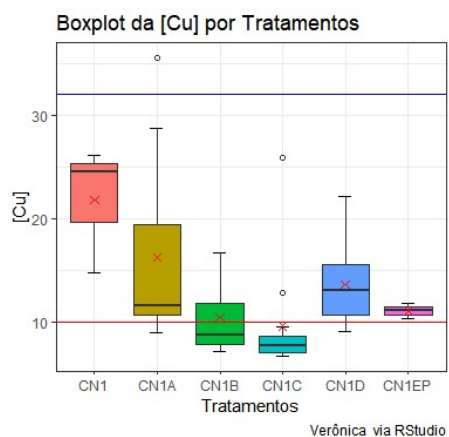
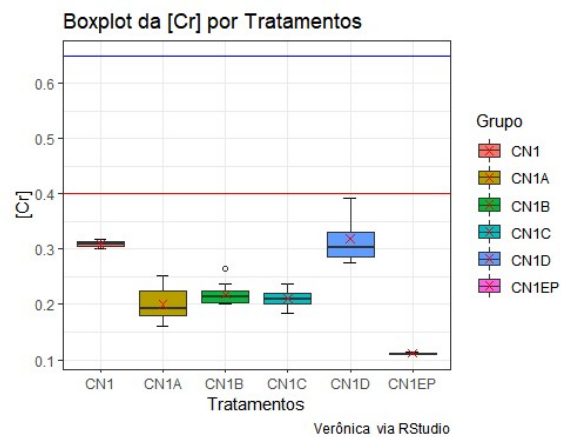
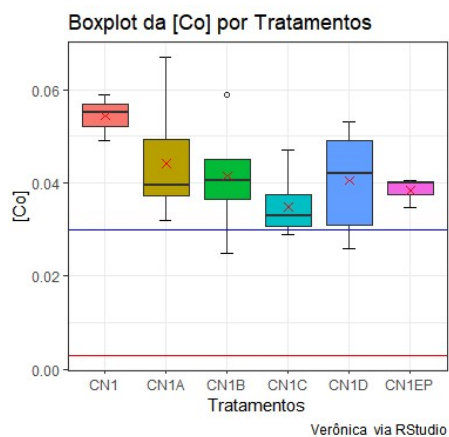
	CN7D		CN7E	
	Média	Desvio	Média	Desvio
⁷ Li	0,004523	0,000545	0,007282	0,000329
⁹ Be	0,001305	0,000787	0,002414	0,000611
²³ Na	5,761633	0,327481	199,4421	19,92221
²⁴ Mg	119,5164	32,98525	252,7646	15,19748
²⁷ Al	33,61326	3,146621	44,92448	1,902477
³¹ P	122,9202	5,141371	125,3950	8,361392
³⁴ S	125,3950	8,361392	44177,59	2219,806
³⁹ K	< 2,0	-	7,236198	0,623897
⁷⁵ As	0,016280	0,003720	0,012585	0,003618
⁸⁸ Sr	0,005330	0,000794	0,019717	0,001382
⁹⁸ Mo	0,037415	0,001788	0,039041	0,000669
¹⁰⁵ Pd	< 0,0010	-	< 0,0010	-
¹⁹⁷ Au	0,013478	0,003768	0,015337	0,008713
²⁰² Hg	0,254131	0,025007	0,266252	0,021524

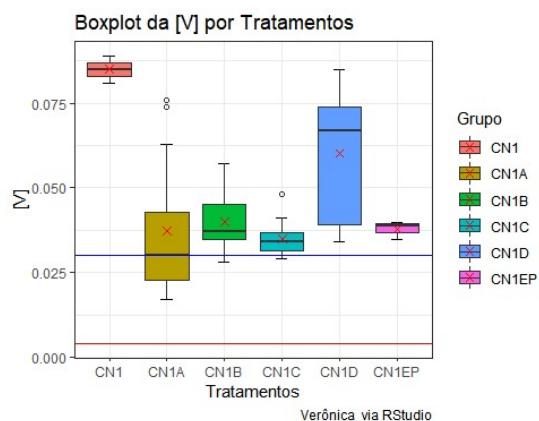
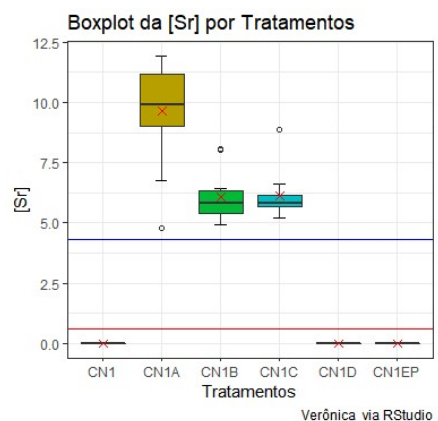
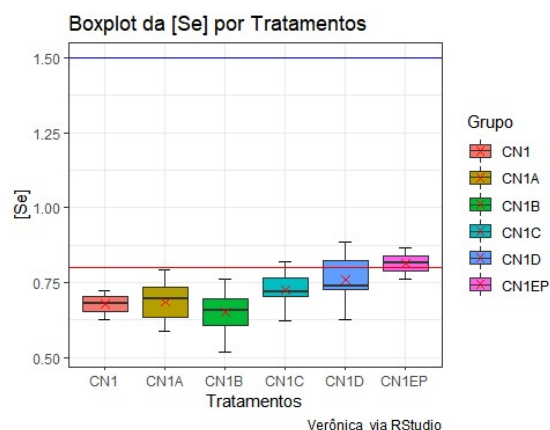
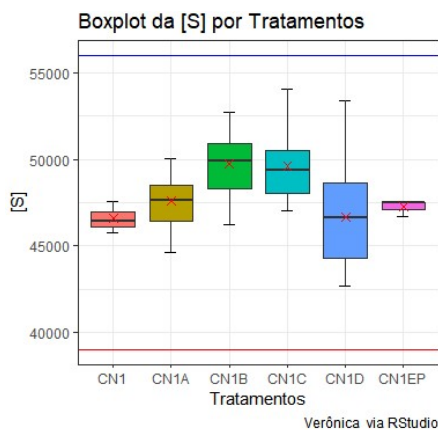
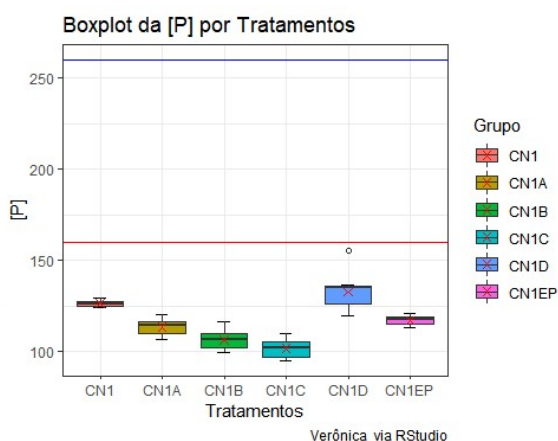
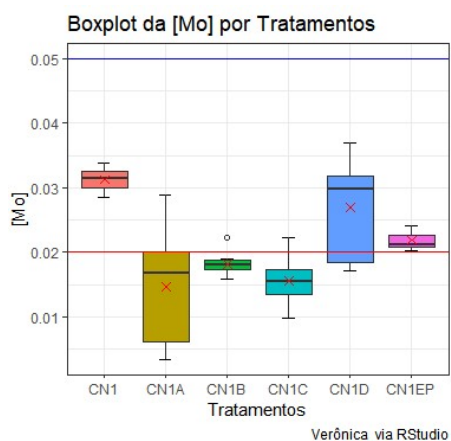
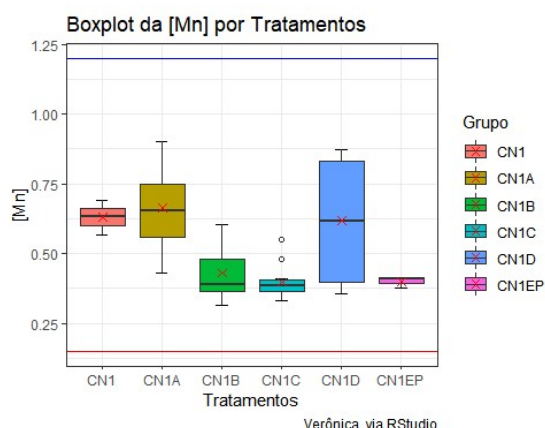
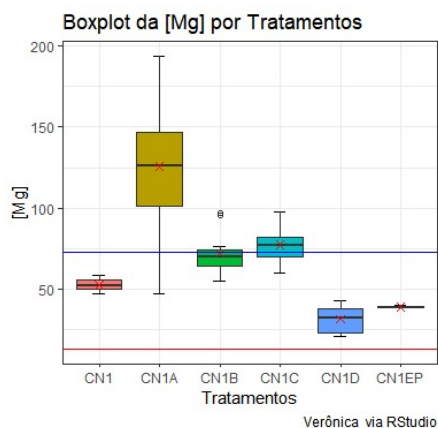
II. Boxplot das concentrações dos elementos essenciais e tóxicos nos cabelos

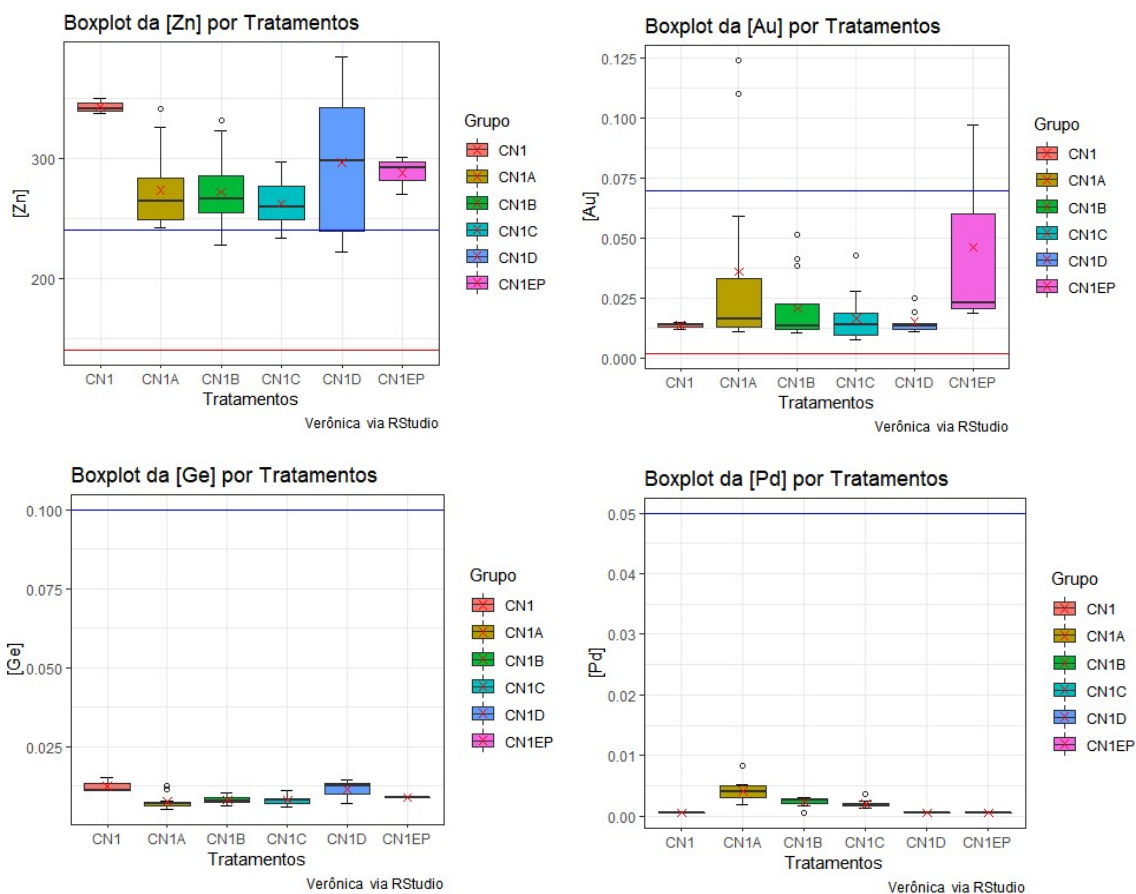
A. Amostra C1





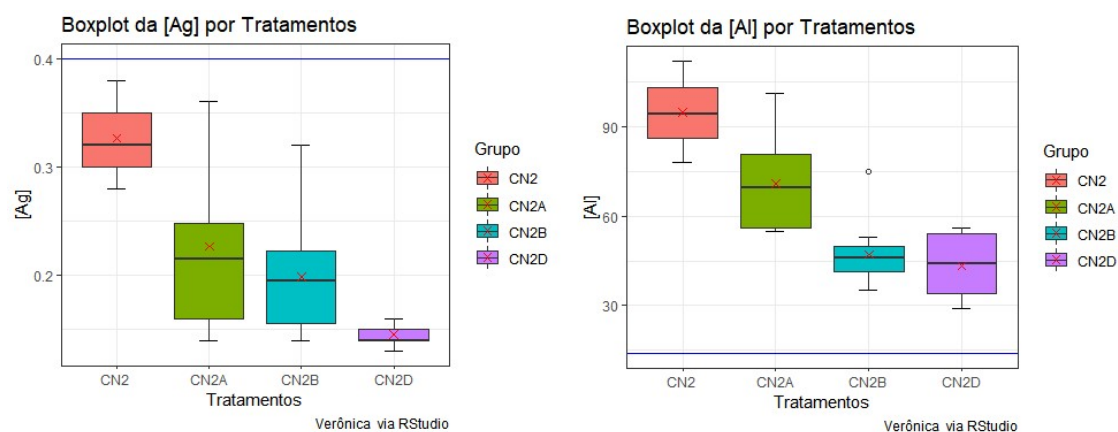


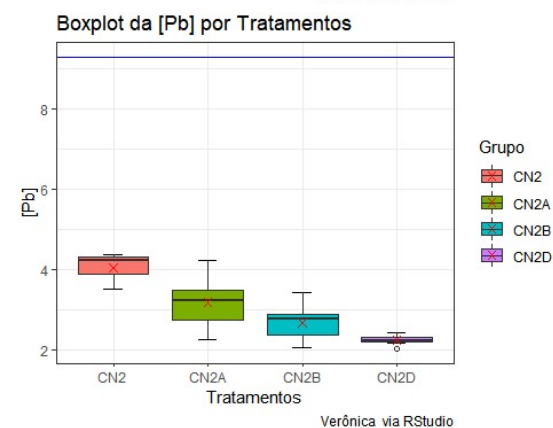
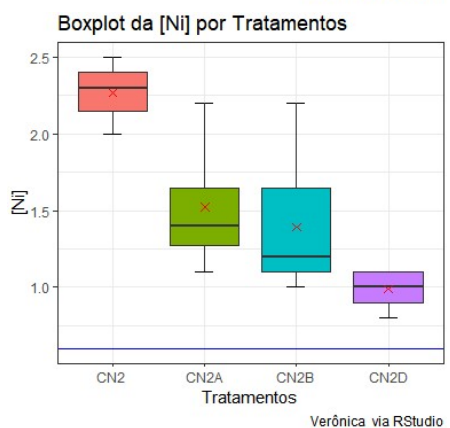
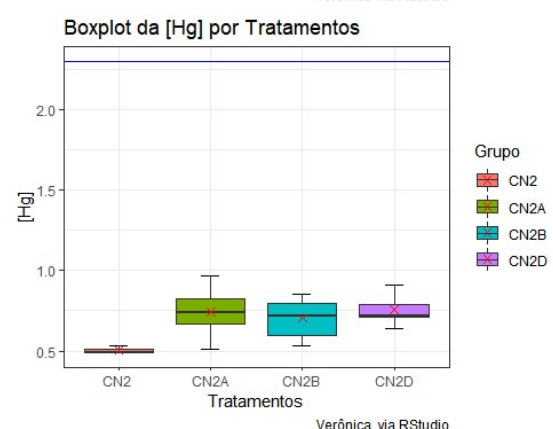
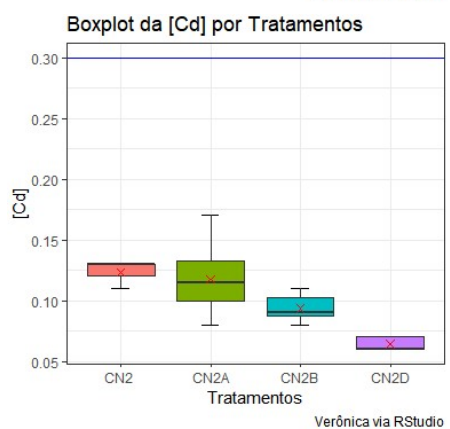
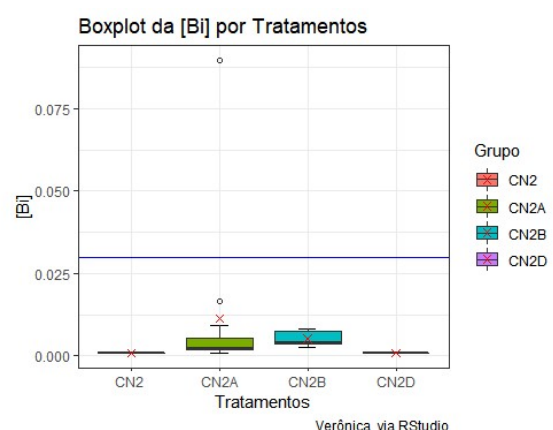
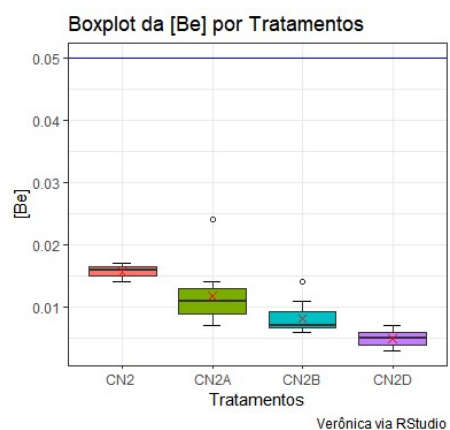
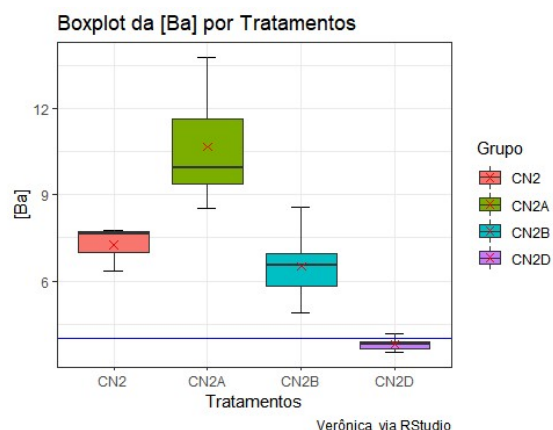
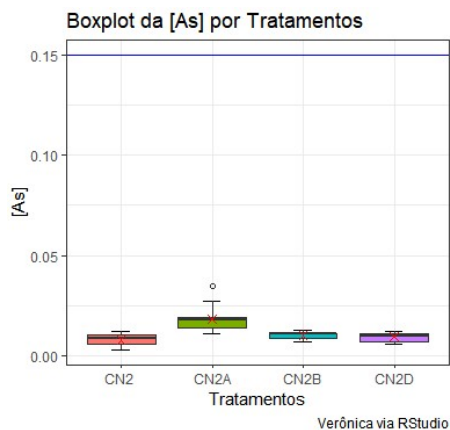


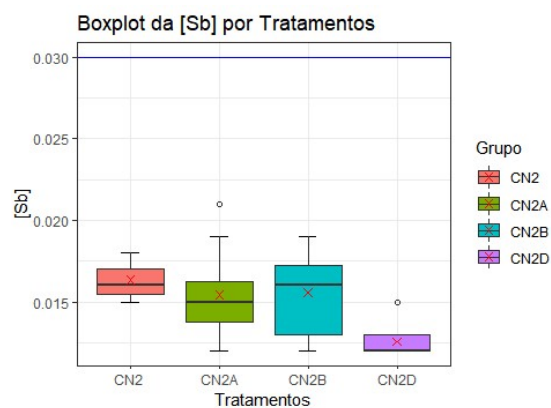


Boxplot da concentração dos elementos em mg kg^{-1} em relação aos tratamentos na amostra C1, onde temos: (-) valor máximo de referência; (-) valor mínimo de referência.

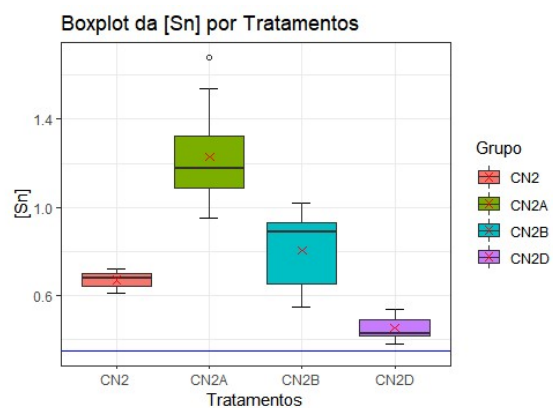
B. Amostra C2



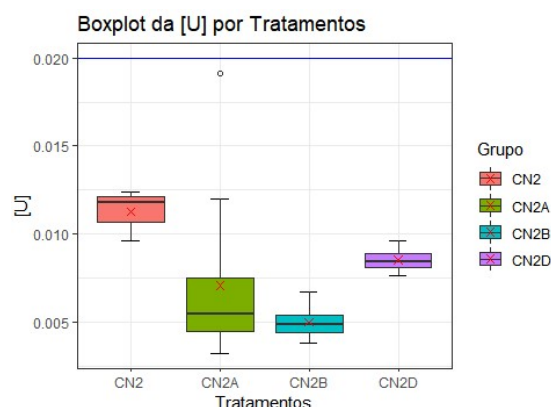




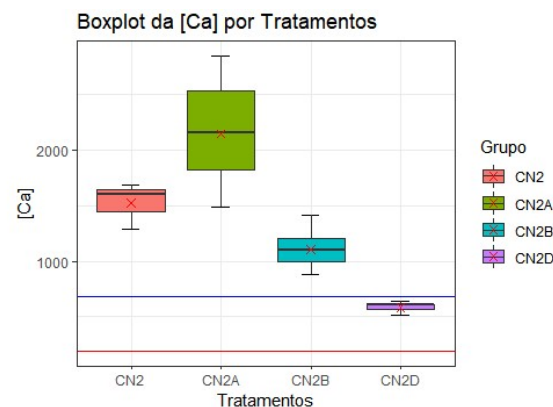
Verônica via RStudio



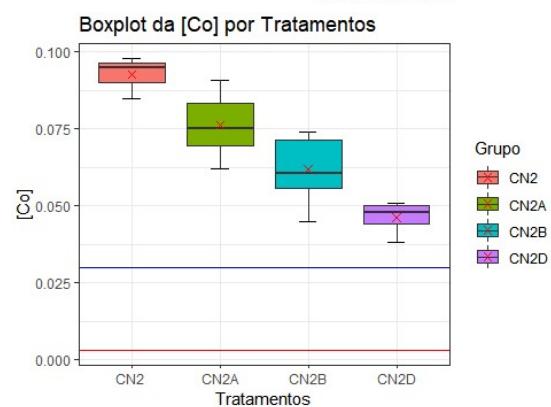
Verônica via RStudio



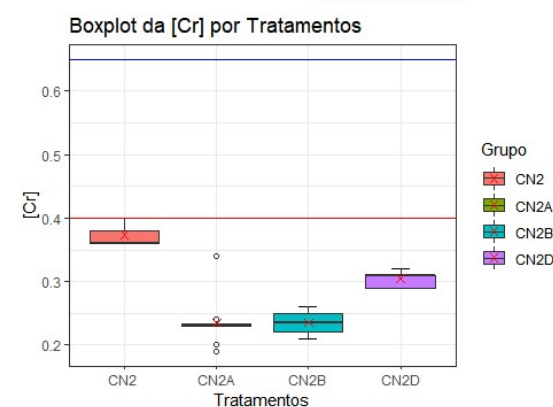
Verônica via RStudio



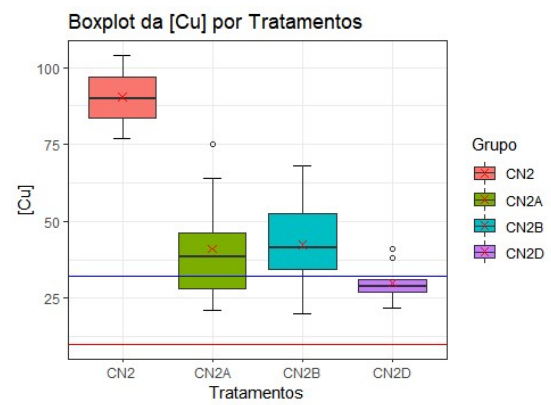
Verônica via RStudio



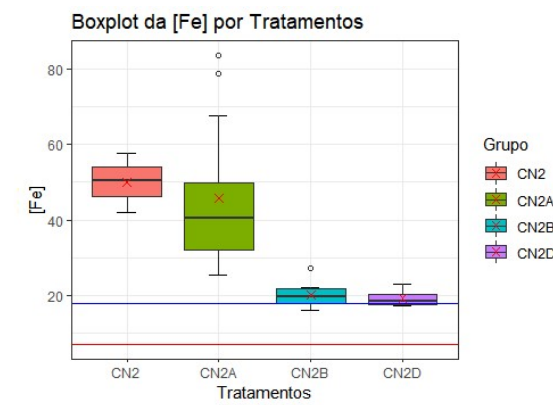
Verônica via RStudio



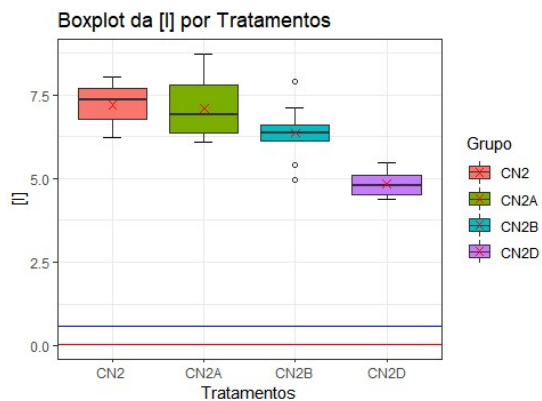
Verônica via RStudio



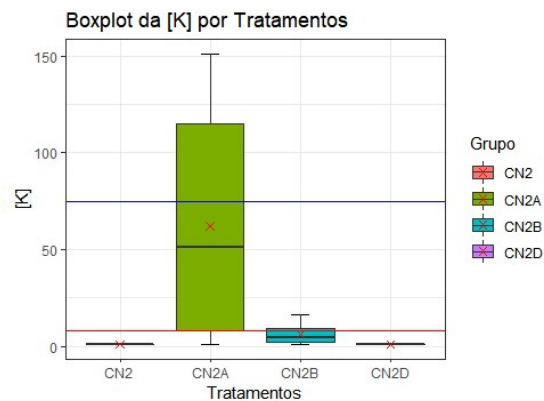
Verônica via RStudio



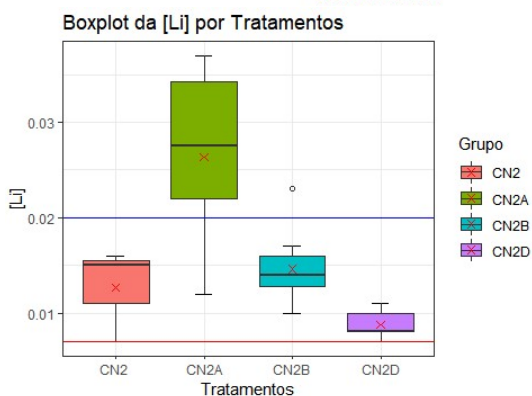
Verônica via RStudio



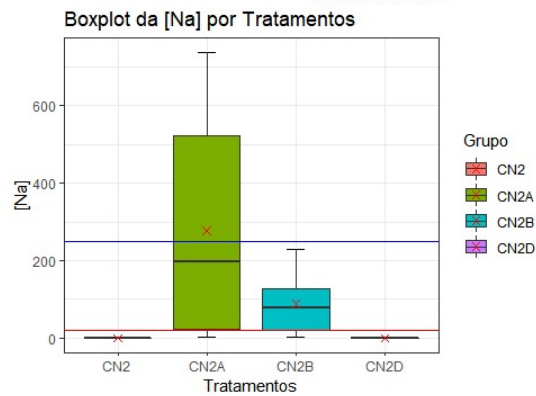
Verônica via RStudio



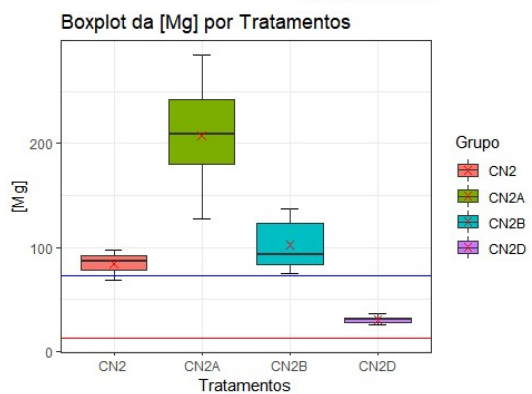
Verônica via RStudio



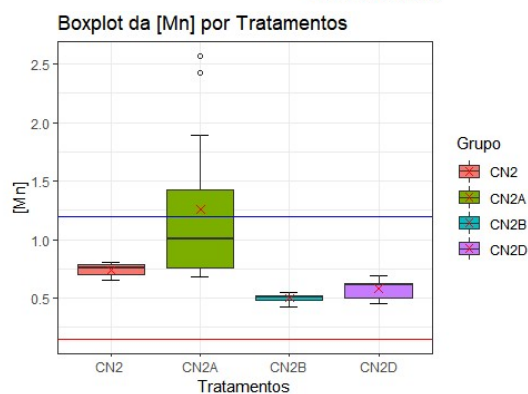
Verônica via RStudio



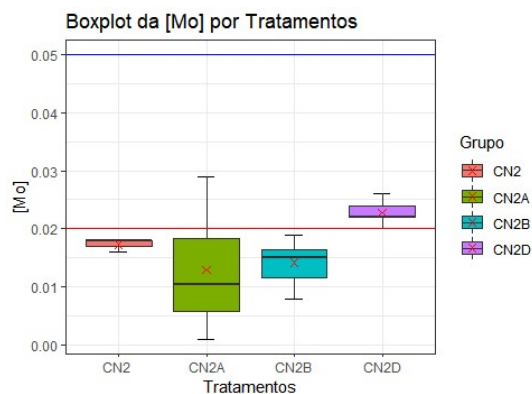
Verônica via RStudio



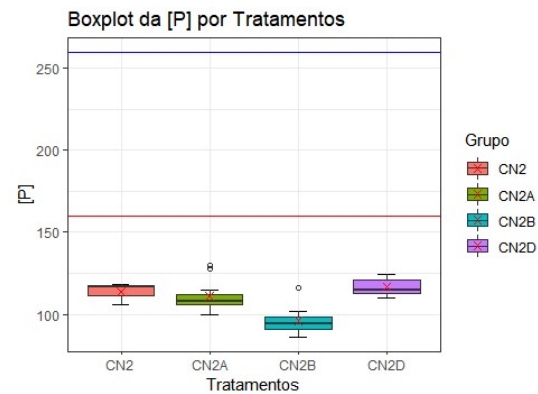
Verônica via RStudio



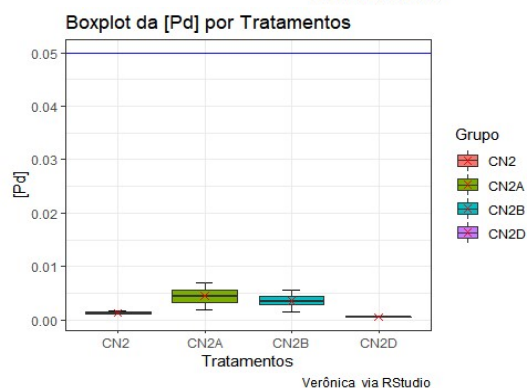
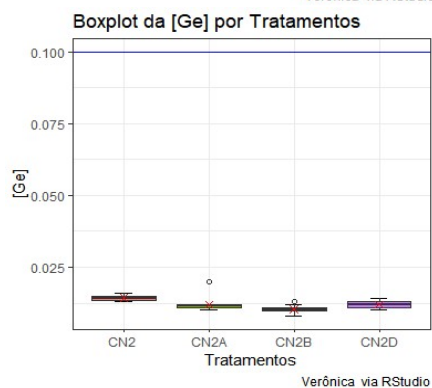
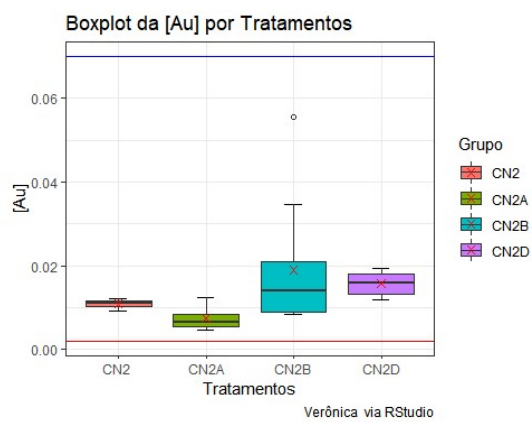
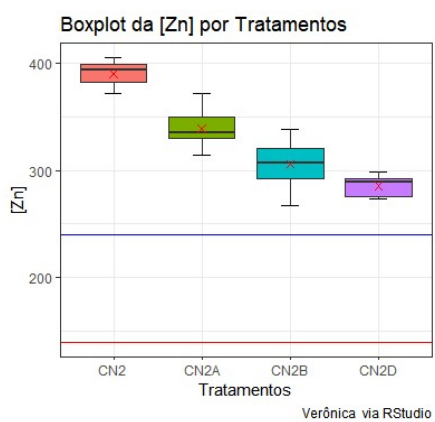
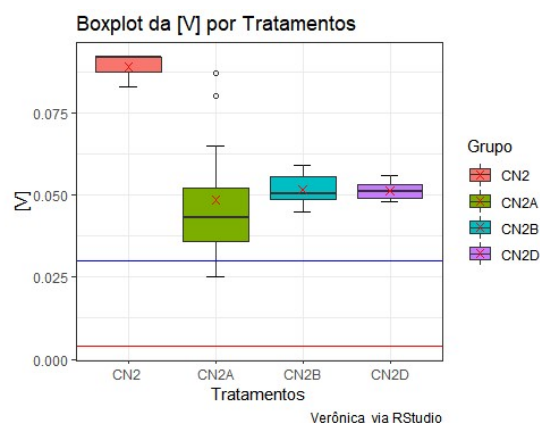
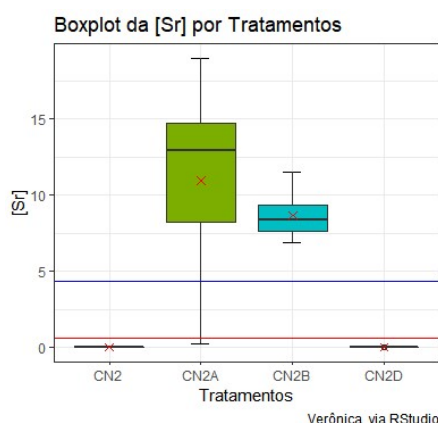
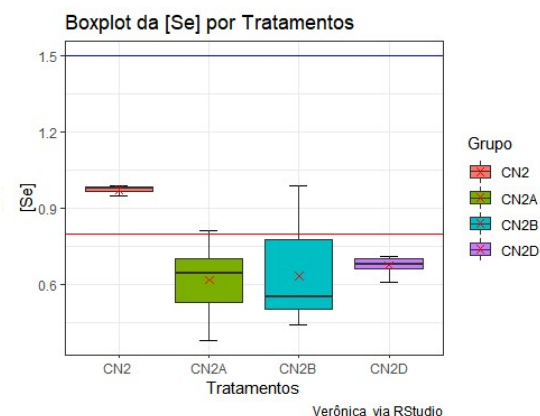
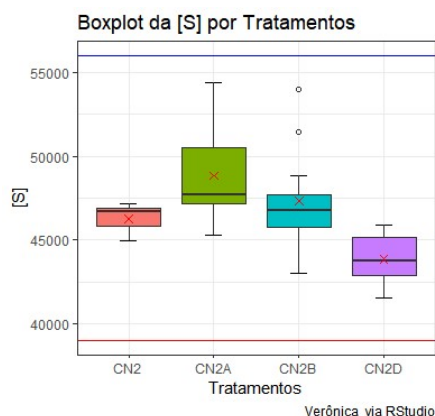
Verônica via RStudio



Verônica via RStudio



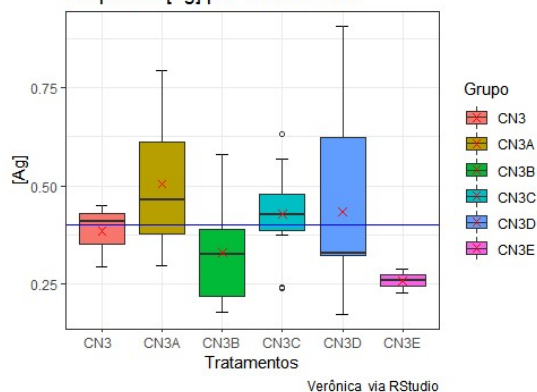
Verônica via RStudio



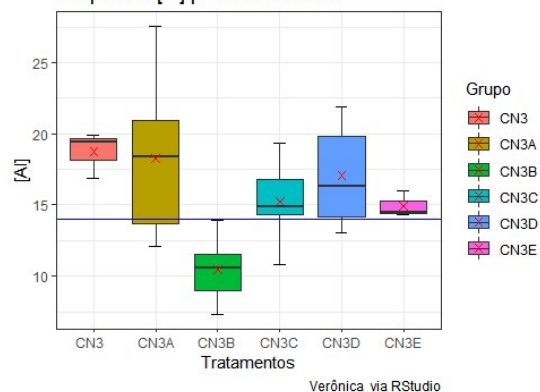
Boxplot da concentração dos elementos em mg kg^{-1} em relação aos tratamentos na amostra C2, onde temos: (-) valor máximo de referência; (-) valor mínimo de referência.

C. Amostra C3

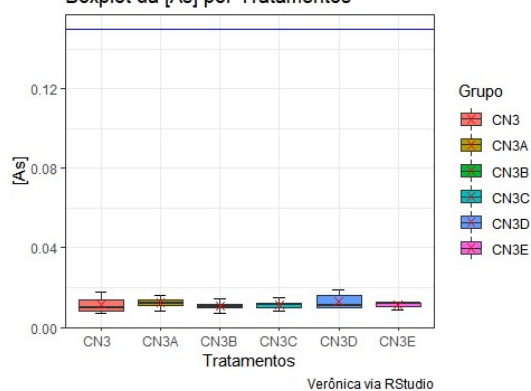
Boxplot da [Ag] por Tratamentos



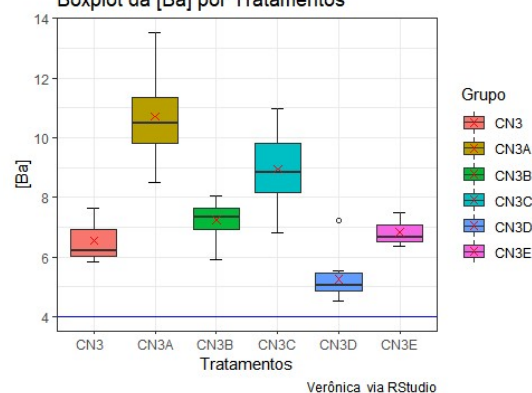
Boxplot da [Al] por Tratamentos



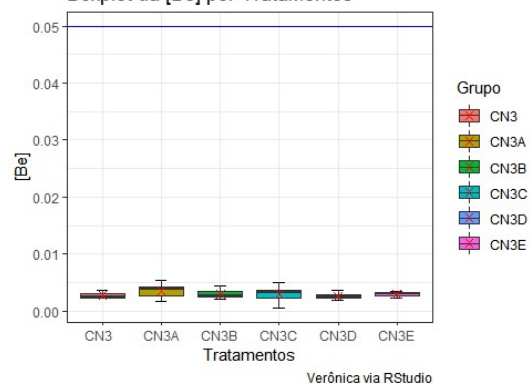
Boxplot da [As] por Tratamentos



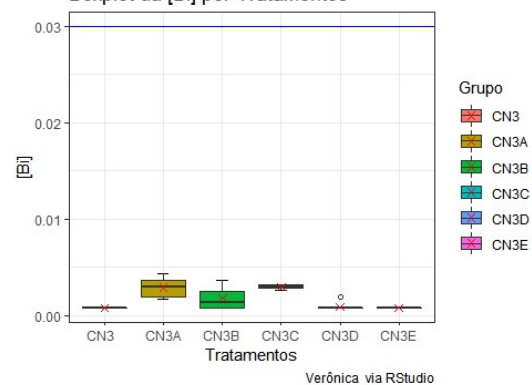
Boxplot da [Ba] por Tratamentos



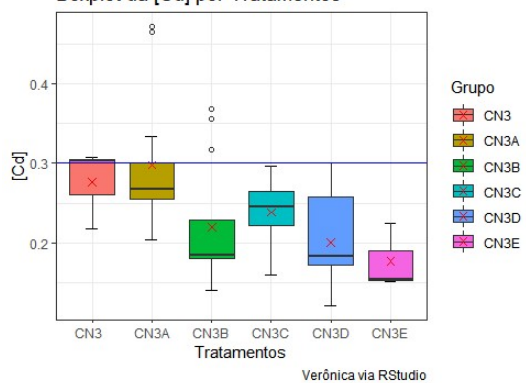
Boxplot da [Be] por Tratamentos



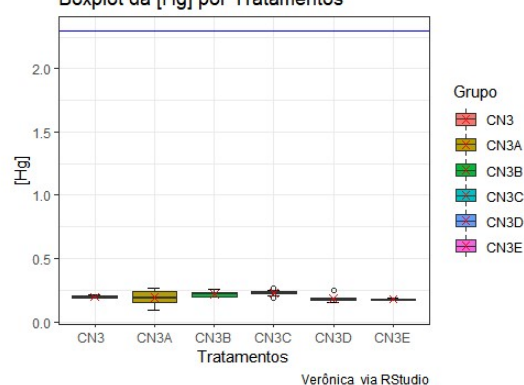
Boxplot da [Bi] por Tratamentos

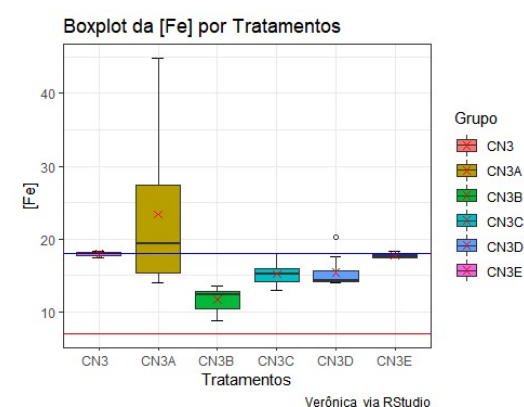
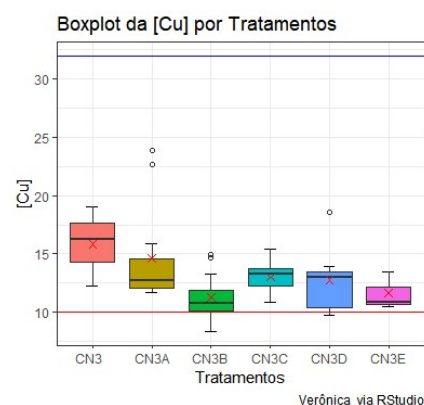
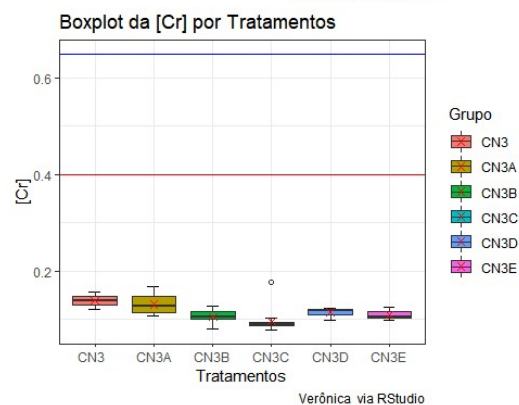
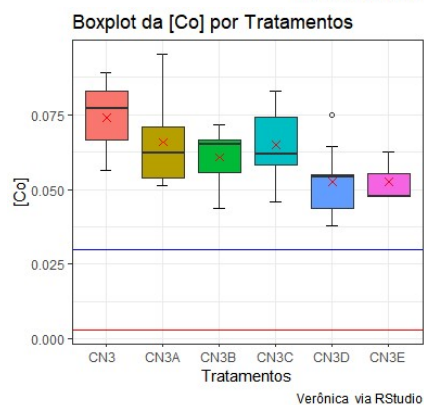
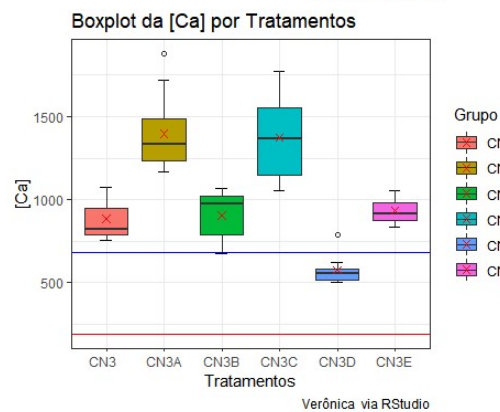
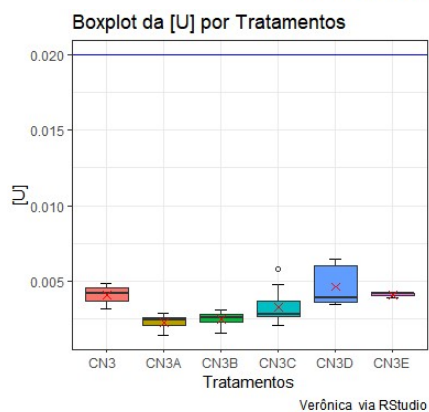
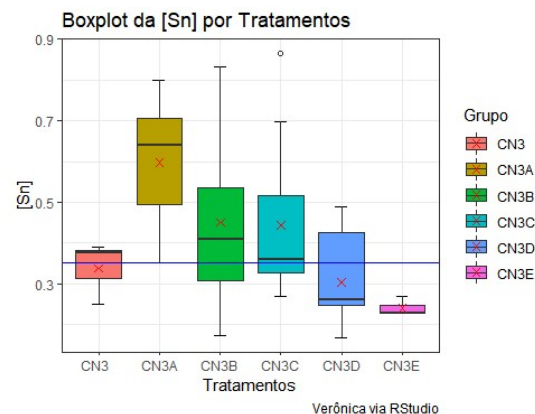
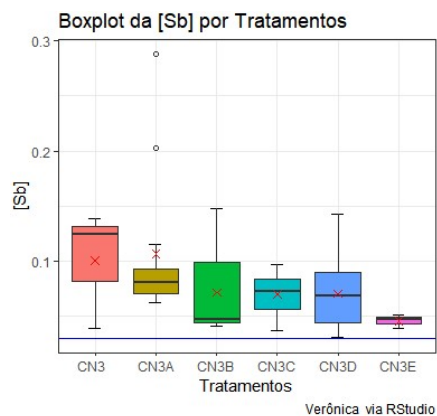


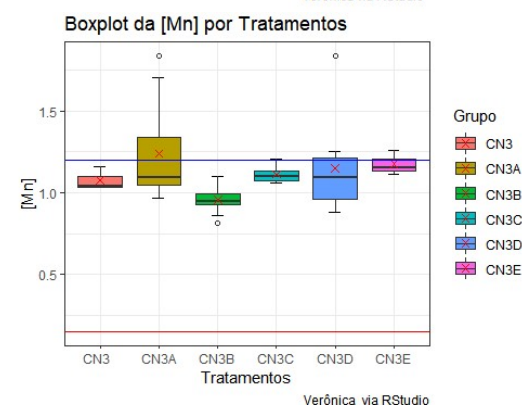
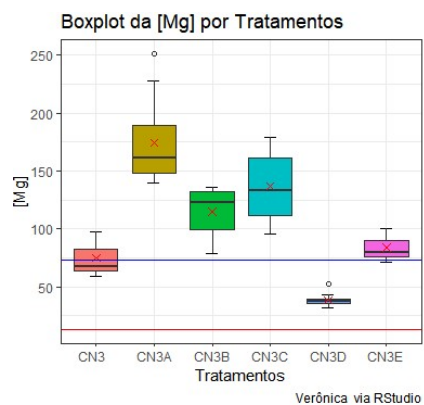
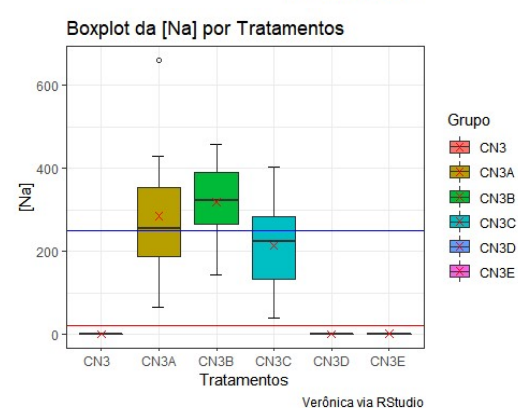
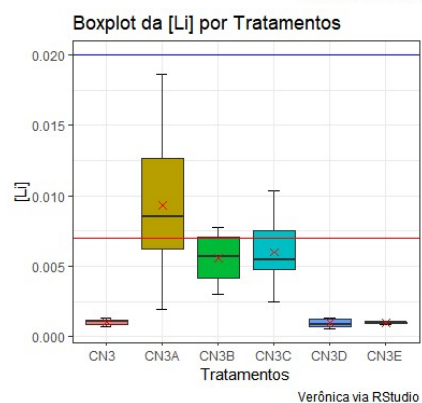
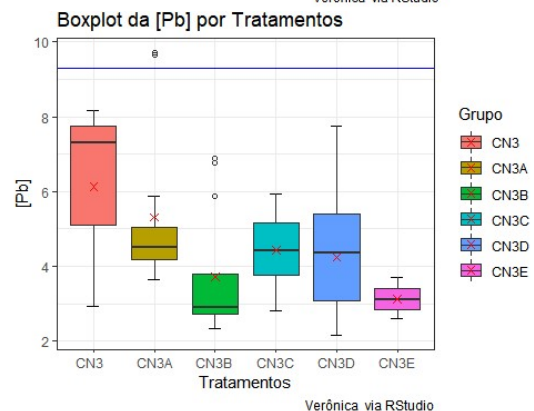
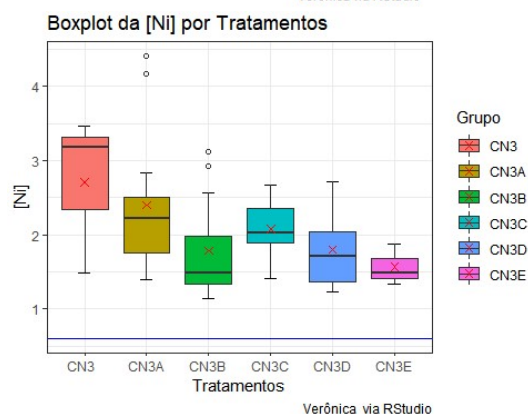
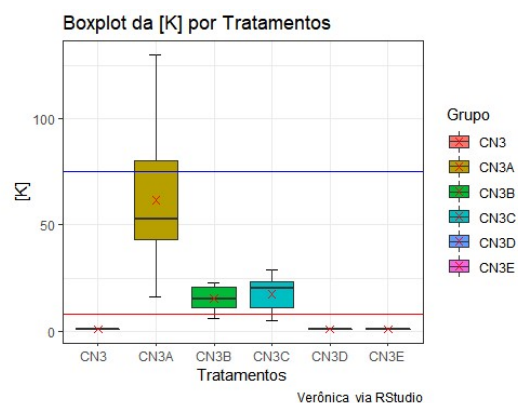
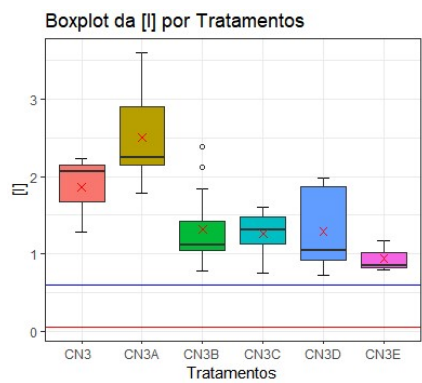
Boxplot da [Cd] por Tratamentos

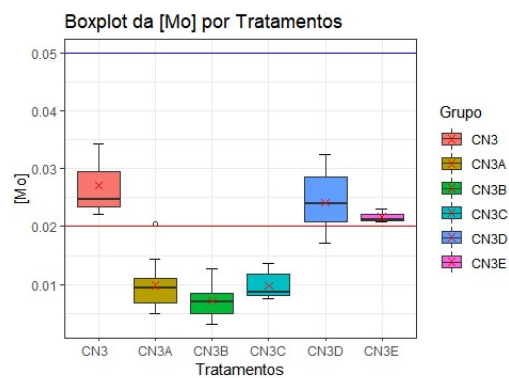


Boxplot da [Hg] por Tratamentos

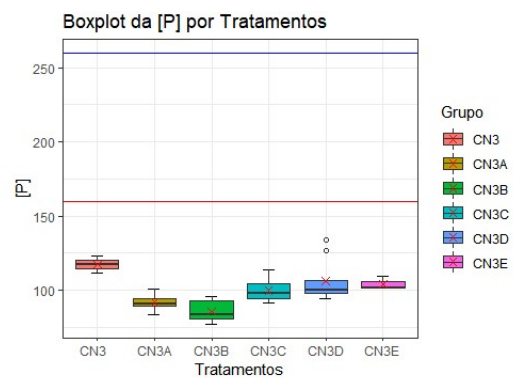




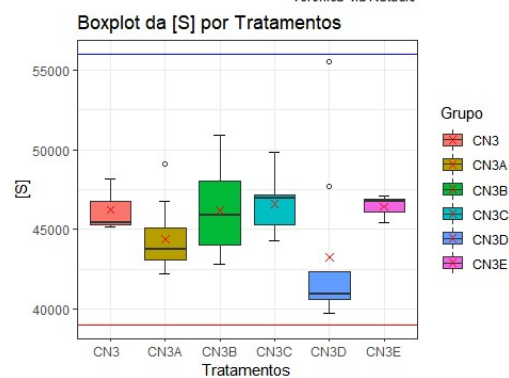




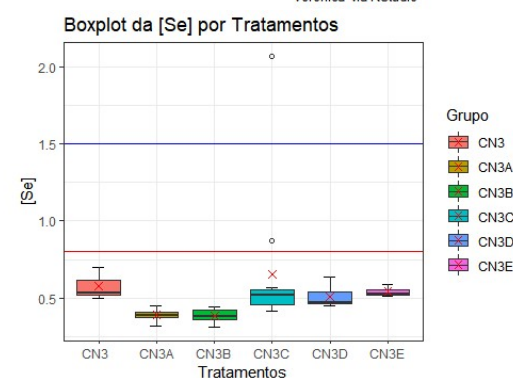
Verônica via RStudio



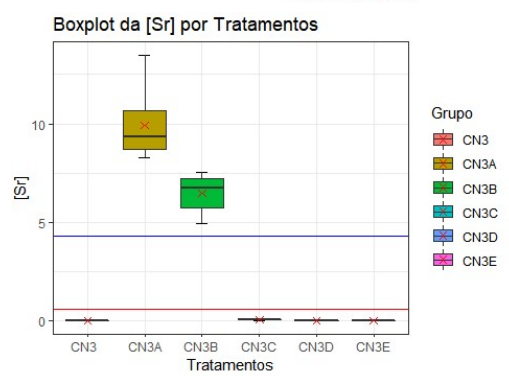
Verônica via RStudio



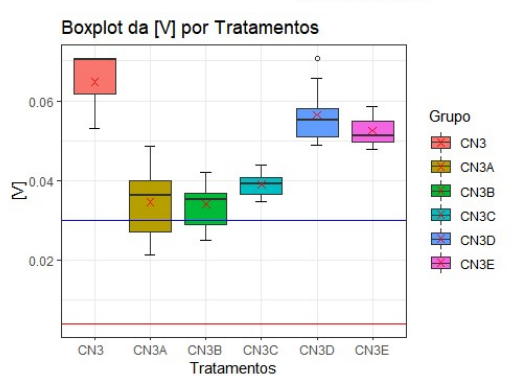
Verônica via RStudio



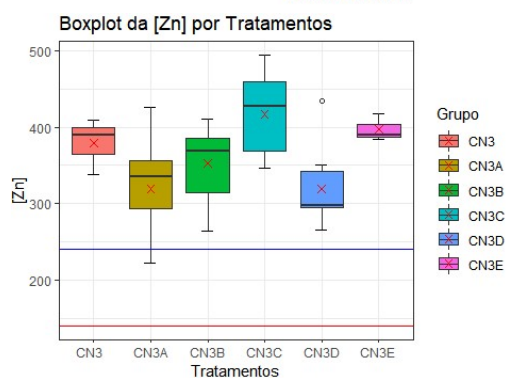
Verônica via RStudio



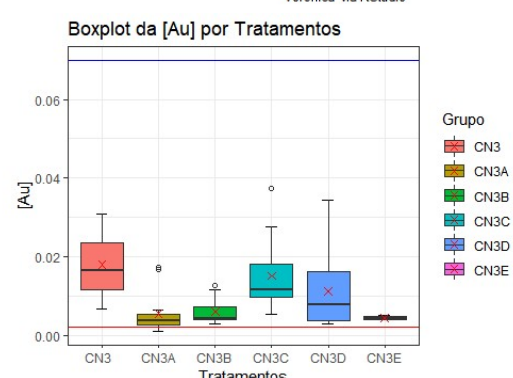
Verônica via RStudio



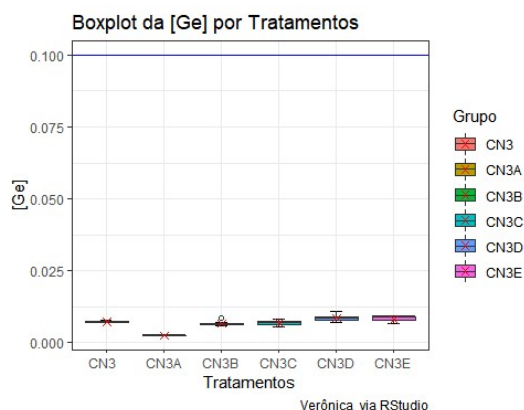
Verônica via RStudio



Verônica via RStudio

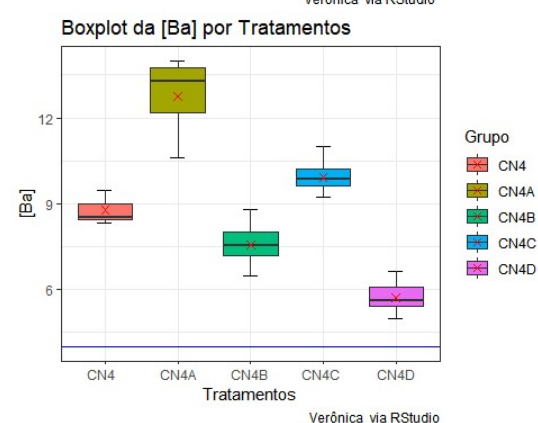
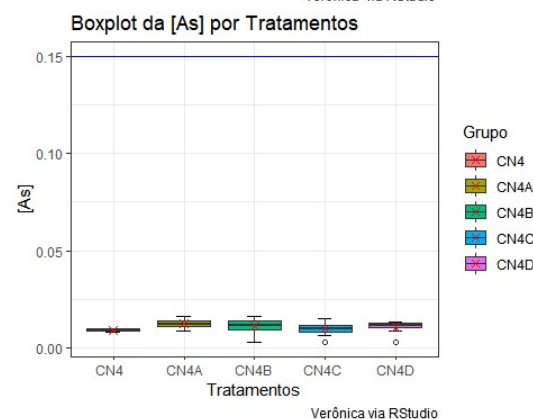
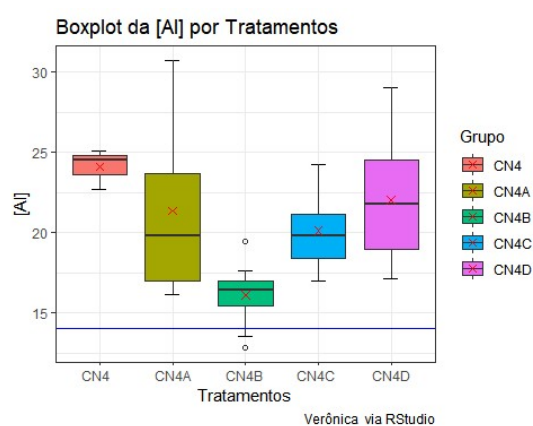
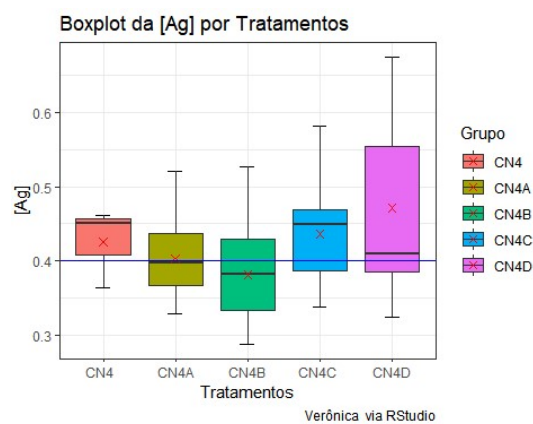


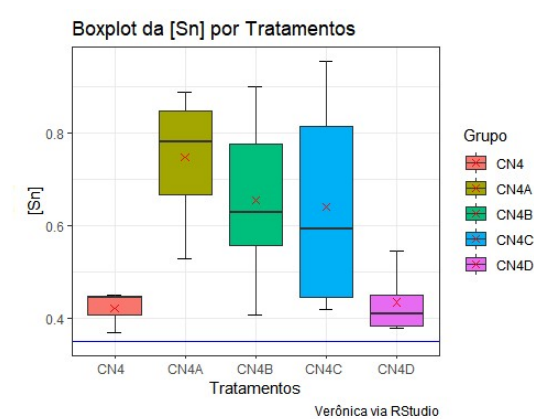
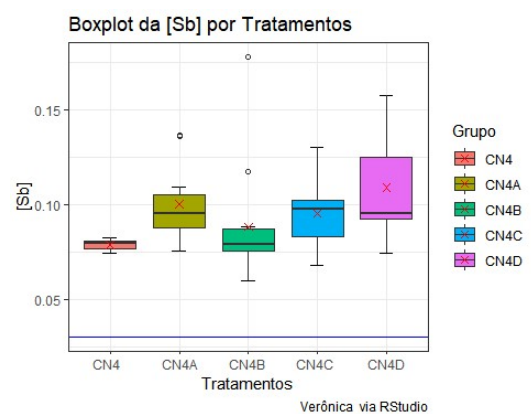
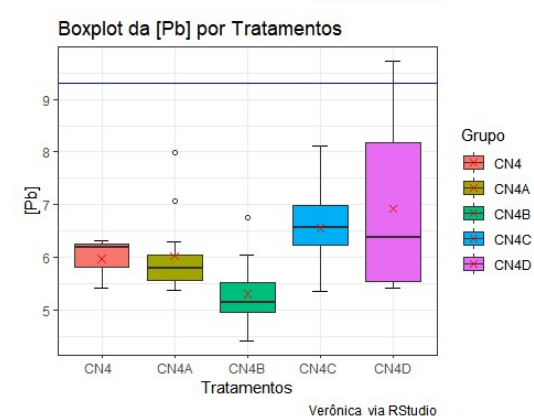
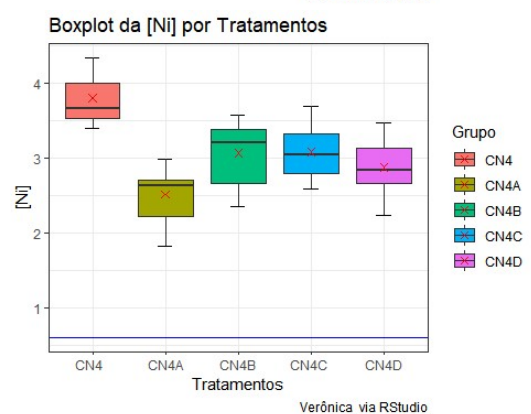
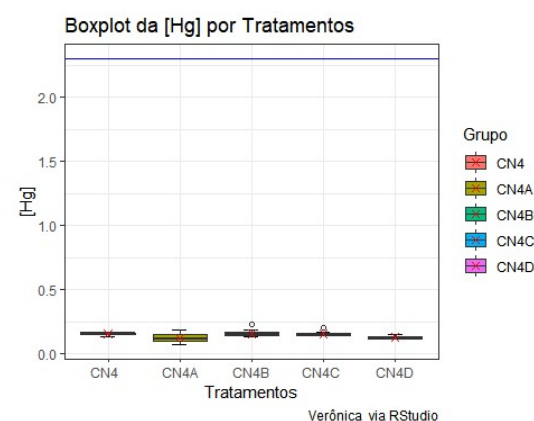
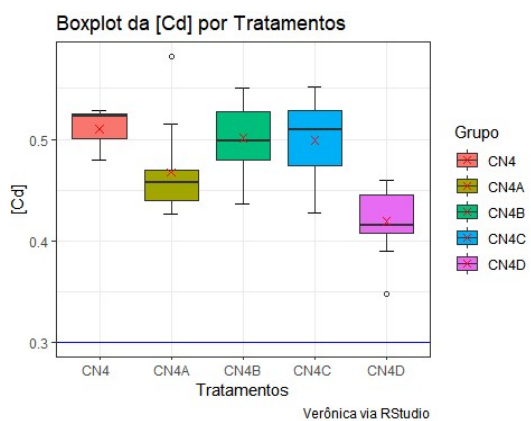
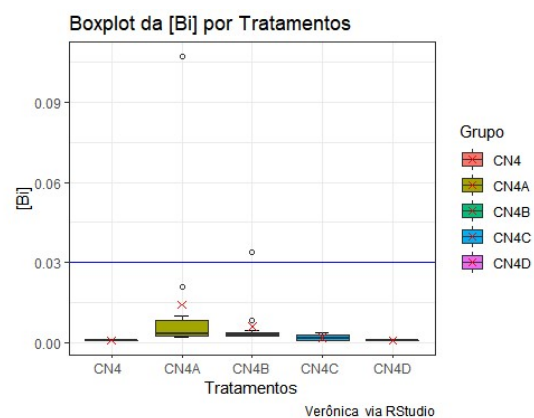
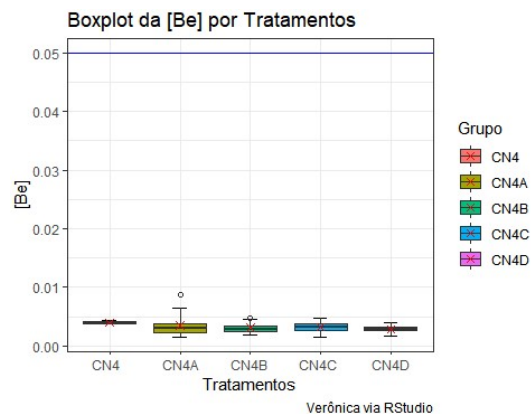
Verônica via RStudio

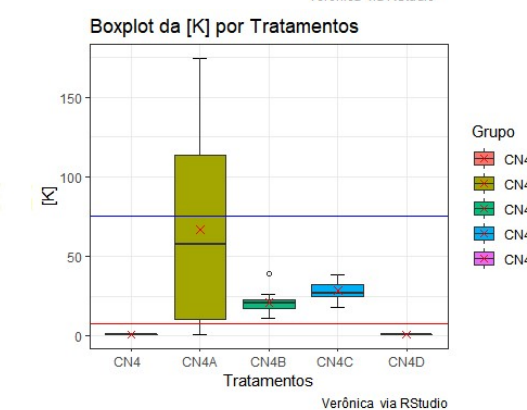
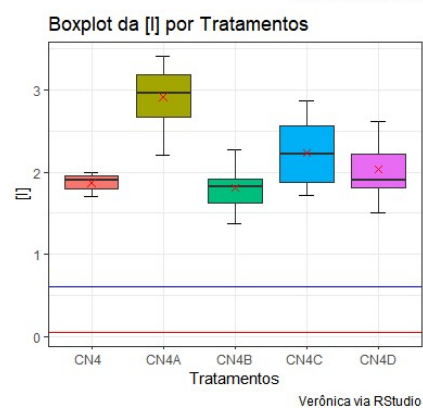
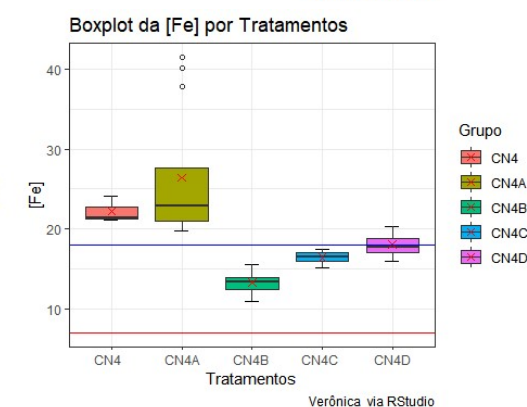
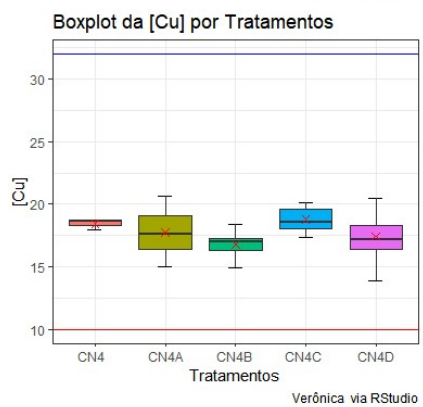
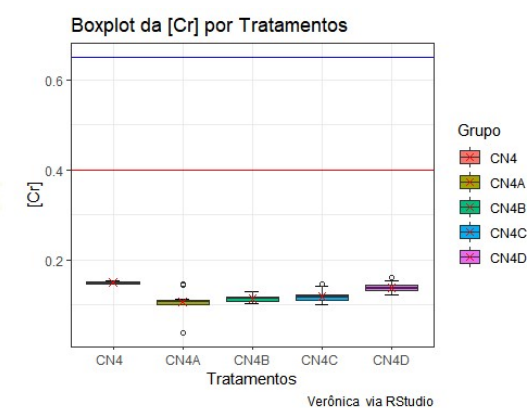
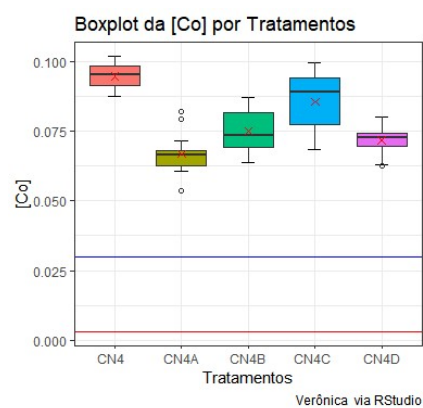
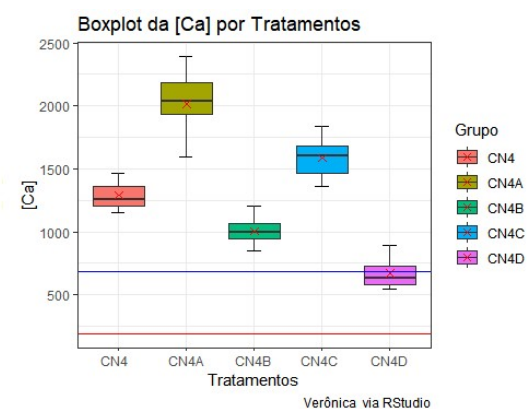
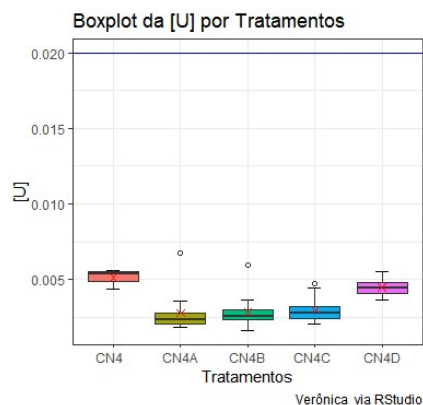


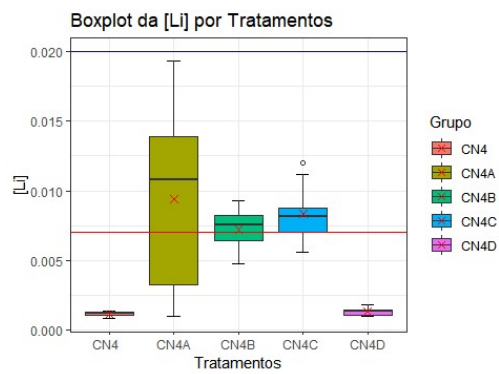
Boxplot da concentração dos elementos em mg kg^{-1} em relação aos tratamentos na amostra C3, onde temos: (-) valor máximo de referência; (-) valor mínimo de referência.

D. Amostra C4

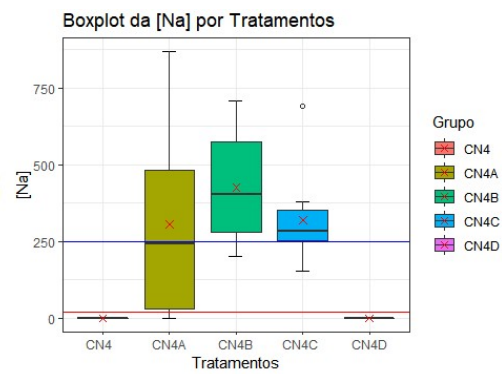




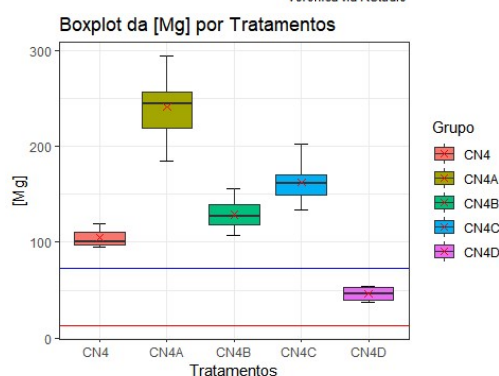




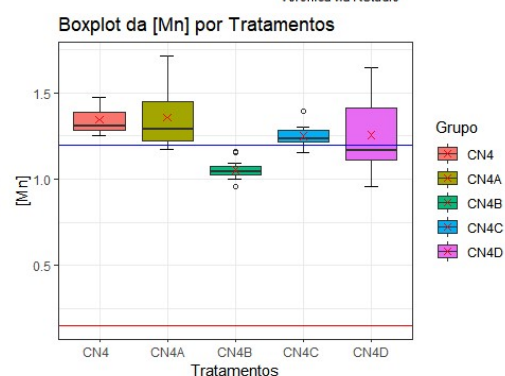
Verônica via RStudio



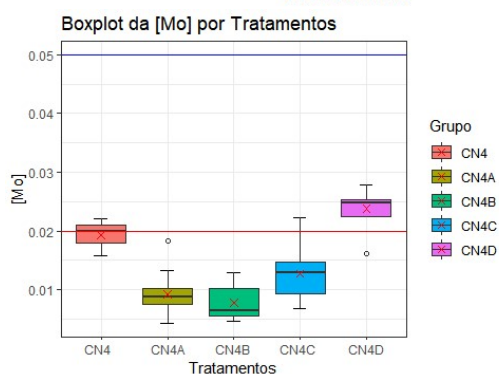
Verônica via RStudio



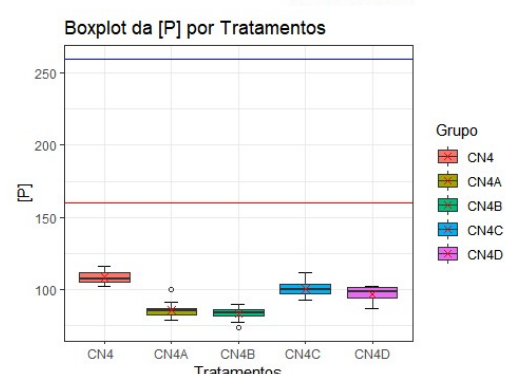
Verônica via RStudio



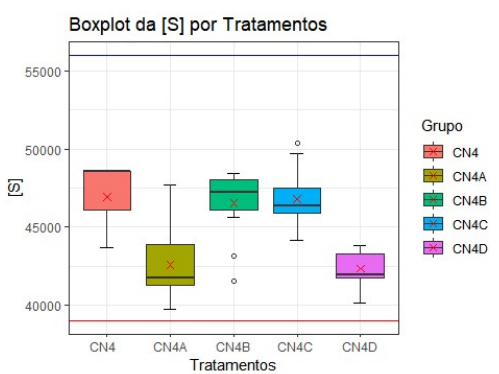
Verônica via RStudio



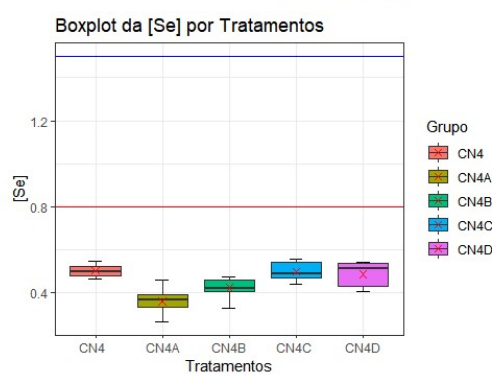
Verônica via RStudio



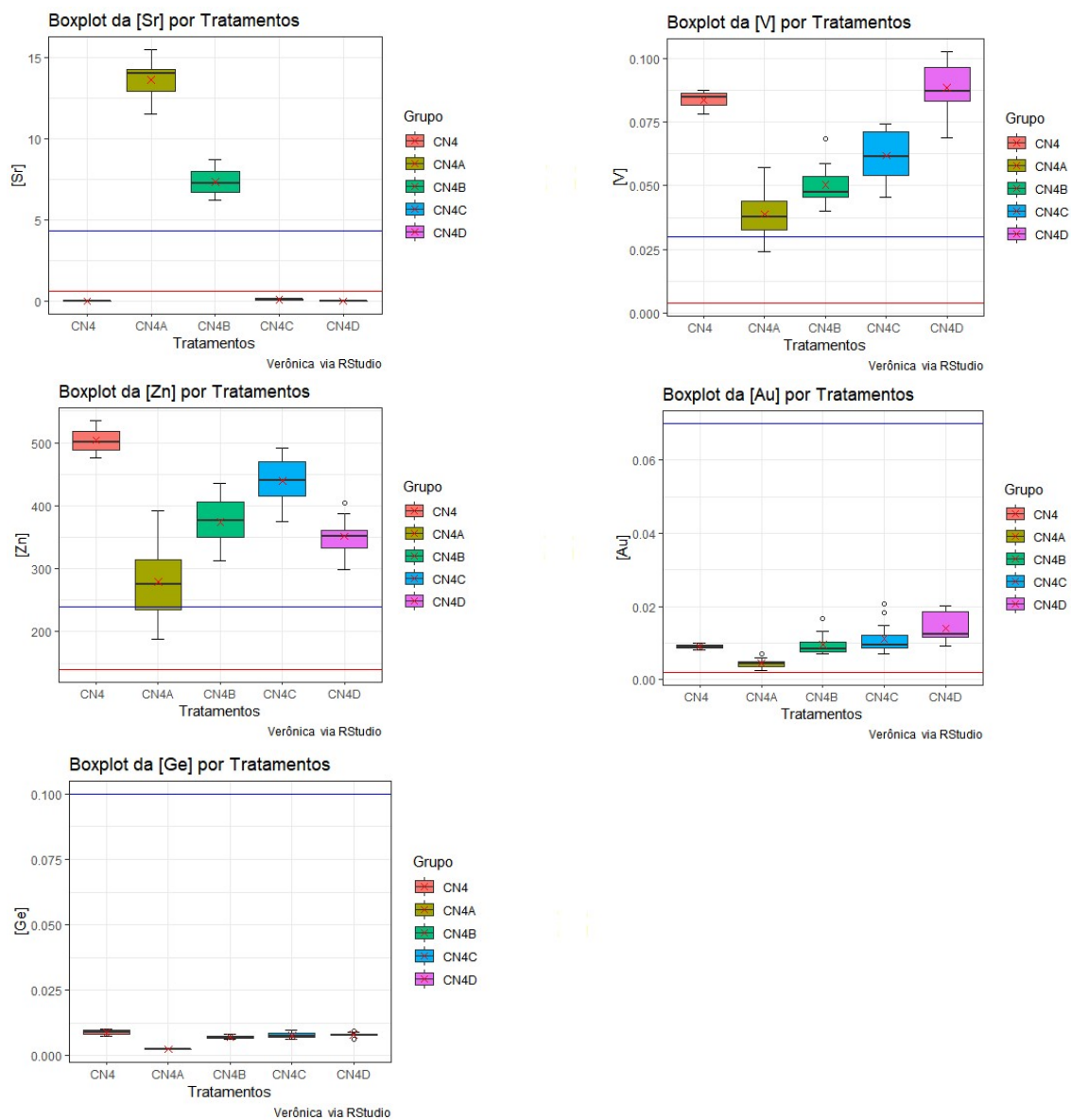
Verônica via RStudio



Verônica via RStudio

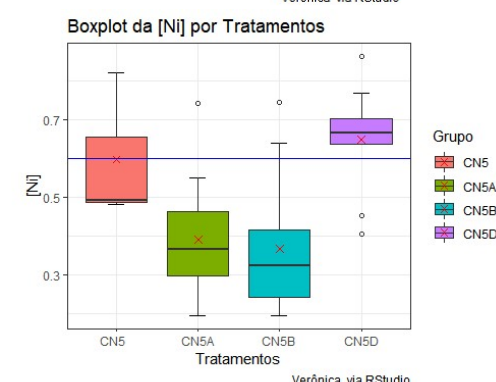
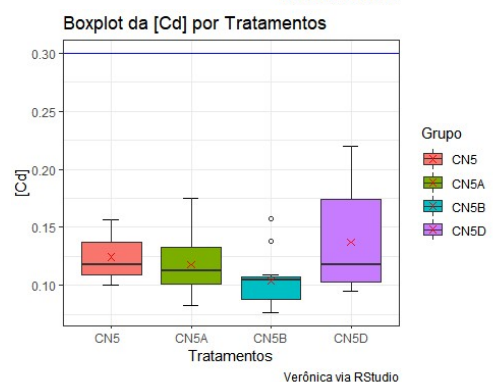
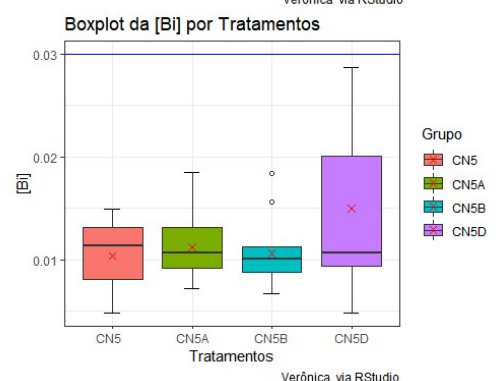
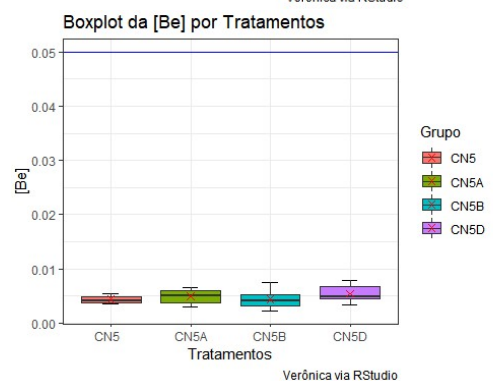
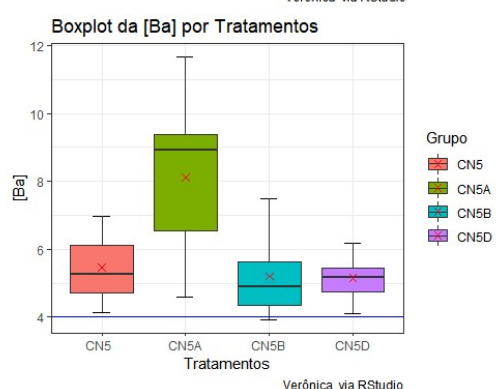
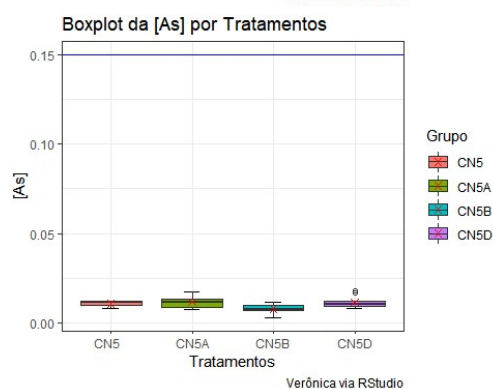
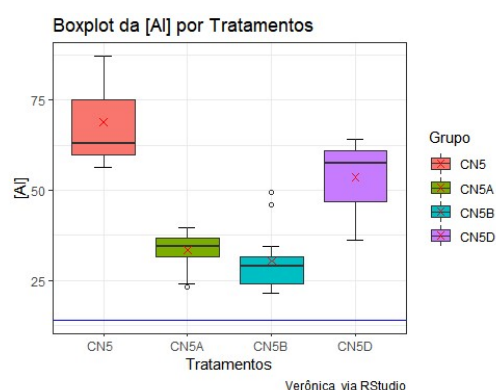
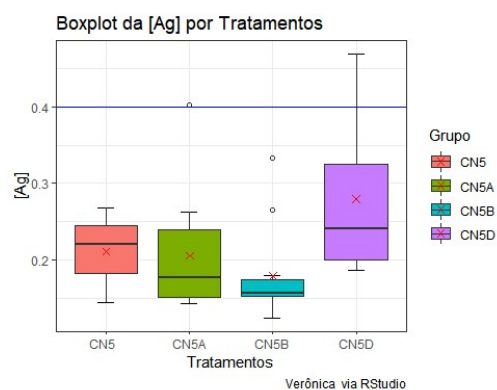


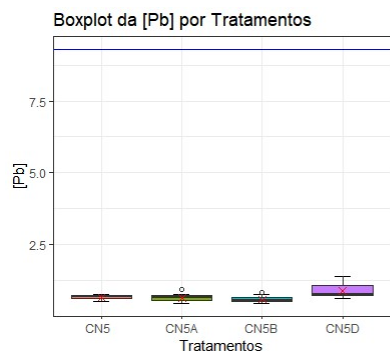
Verônica via RStudio



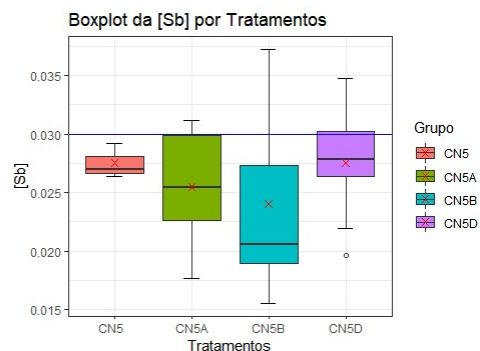
Boxplot da concentração dos elementos em mg kg^{-1} em relação aos tratamentos na amostra C4, onde temos: (-) valor máximo de referência; (-) valor mínimo de referência.

E. Amostra C5

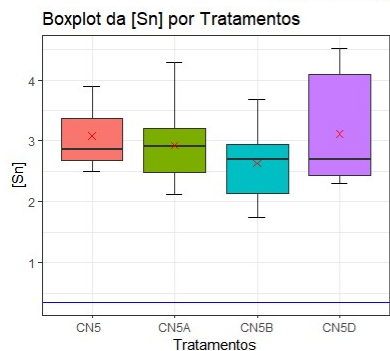




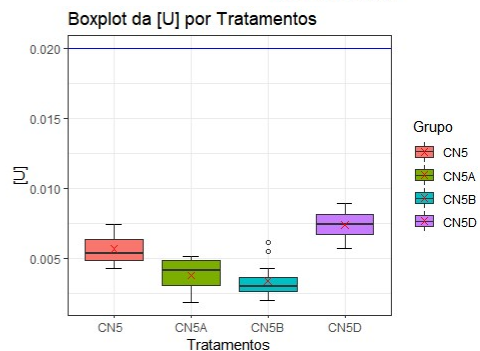
Verônica via RStudio



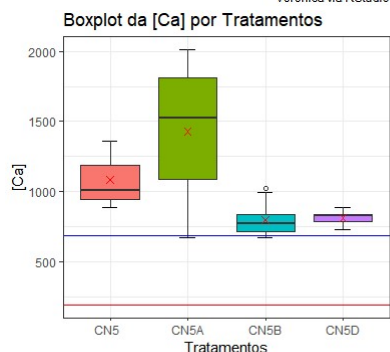
Verônica via RStudio



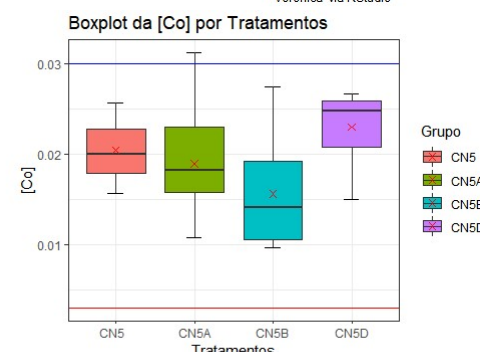
Verônica via RStudio



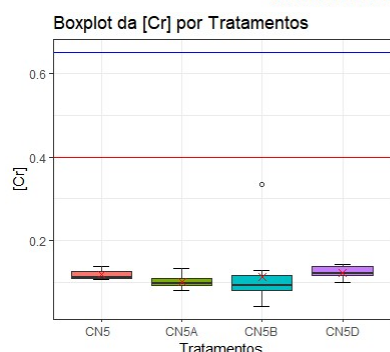
Verônica via RStudio



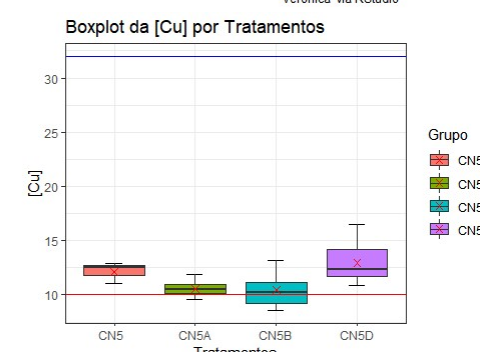
Verônica via RStudio



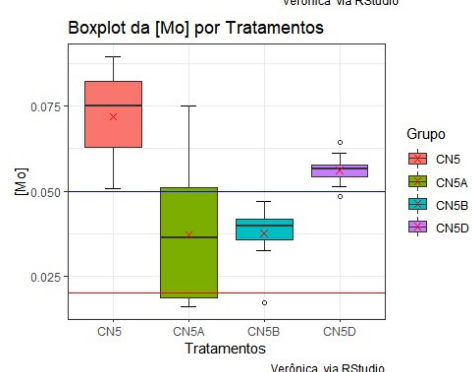
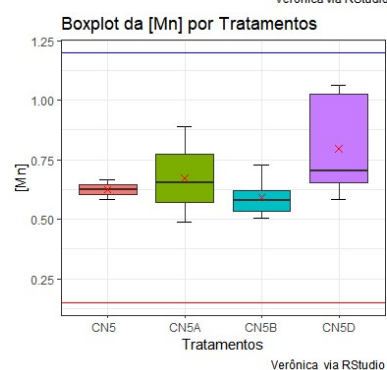
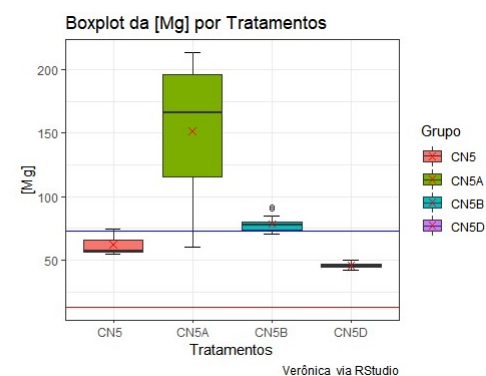
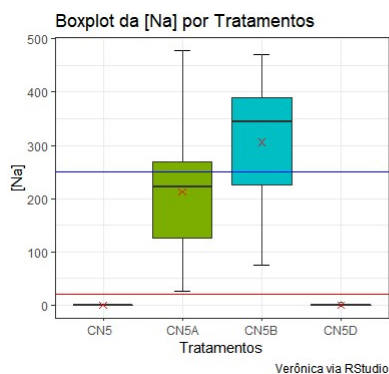
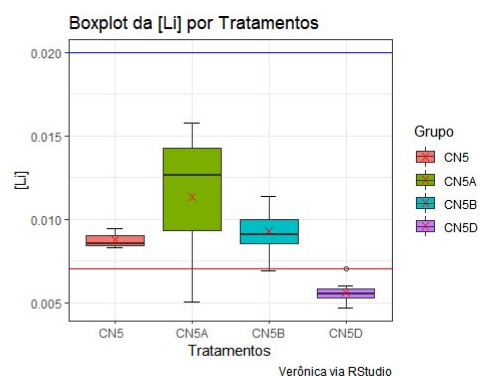
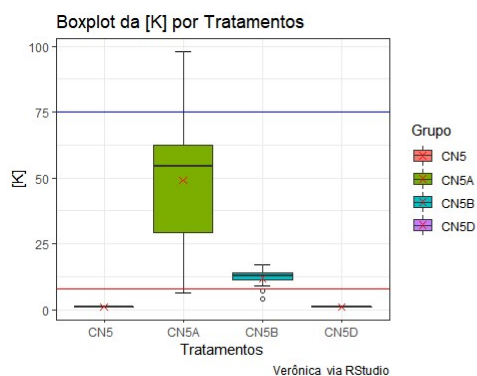
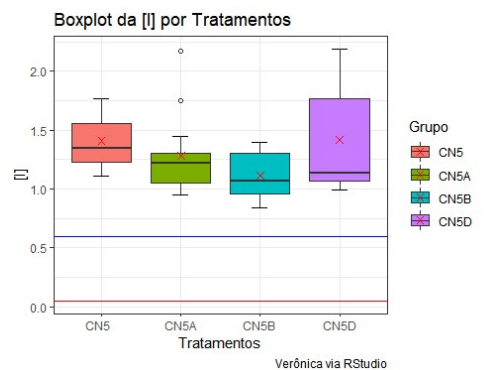
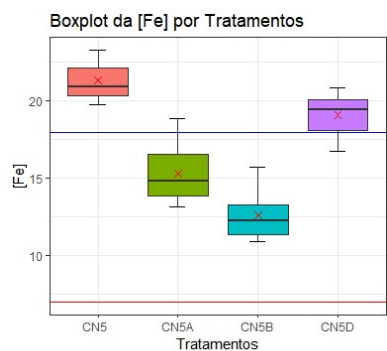
Verônica via RStudio

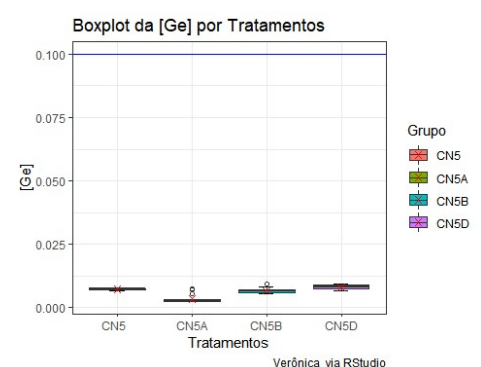
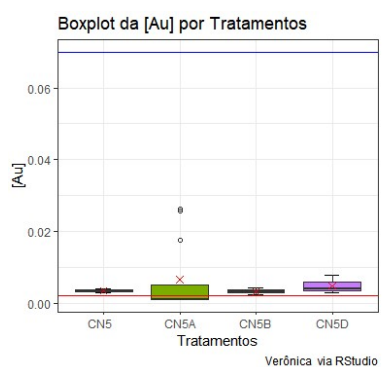
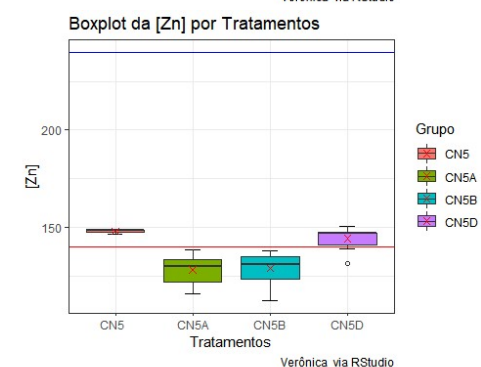
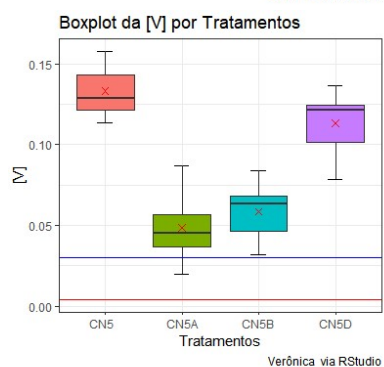
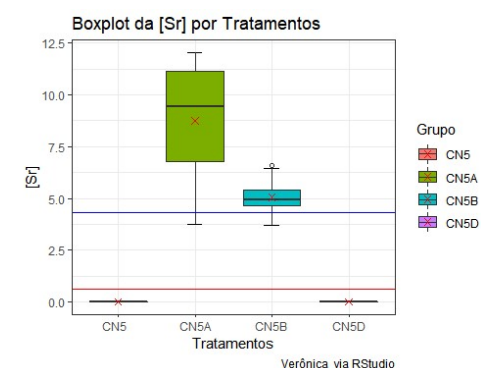
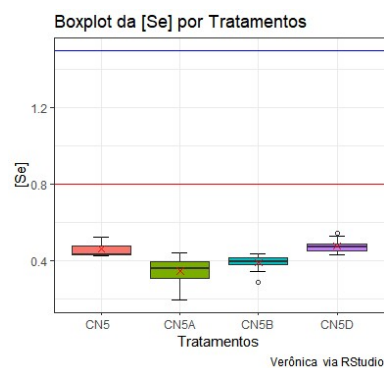
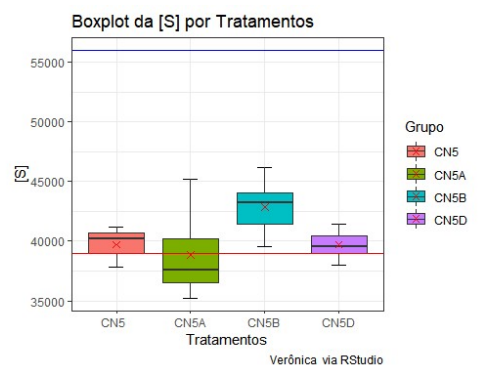
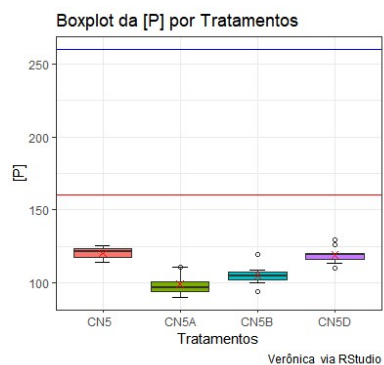


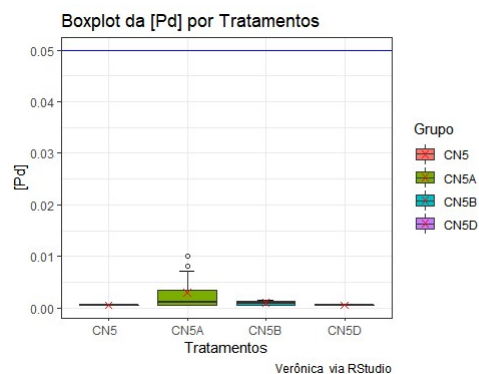
Verônica via RStudio



Verônica via RStudio

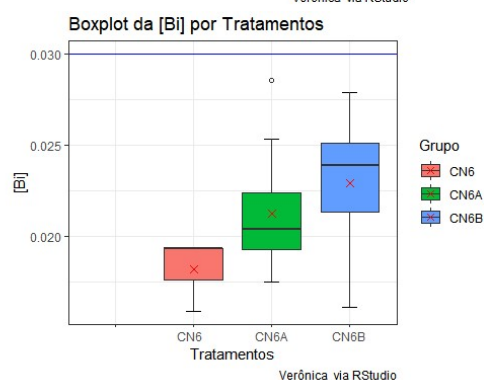
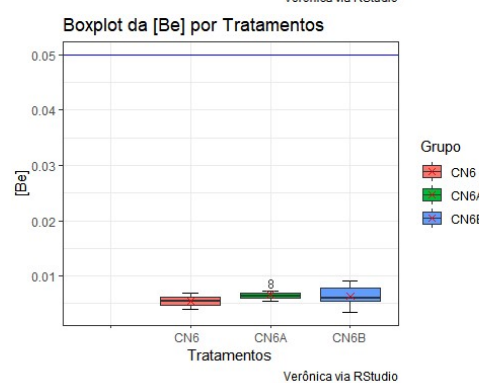
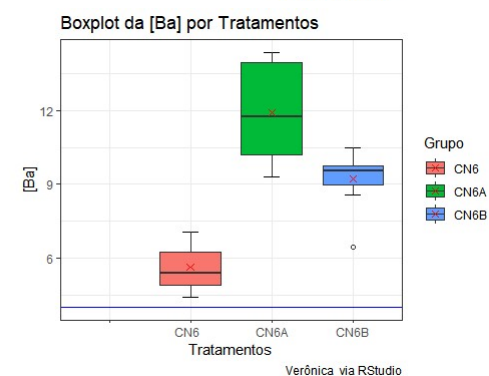
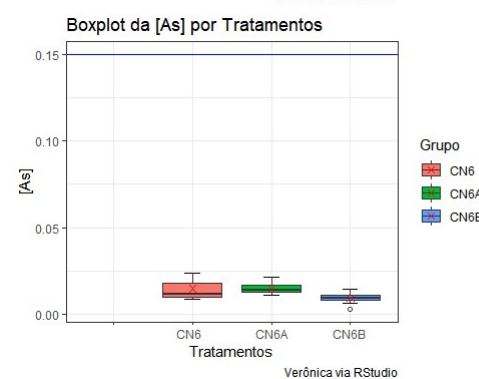
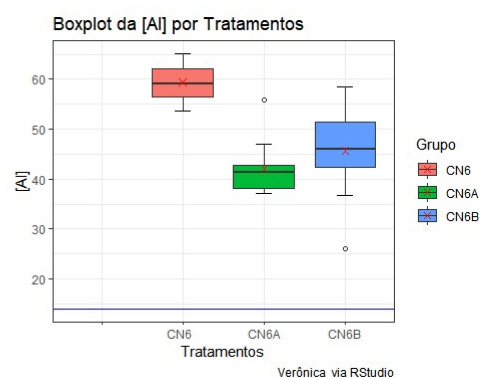
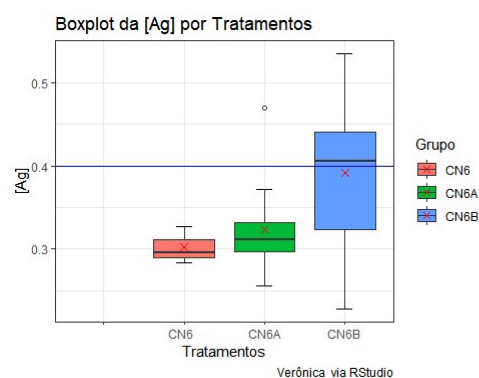


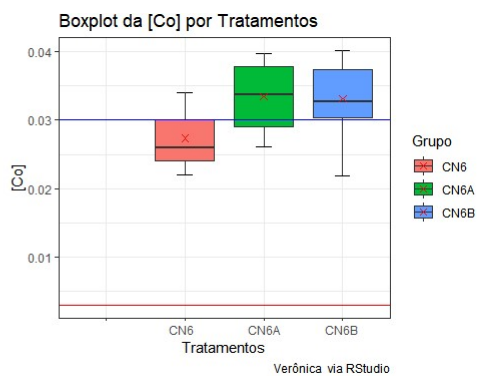
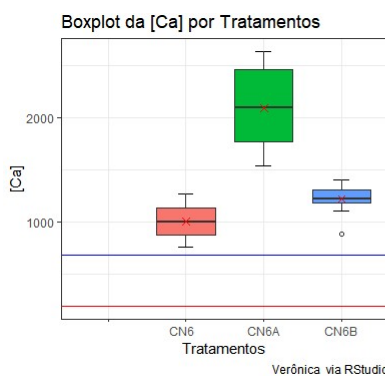
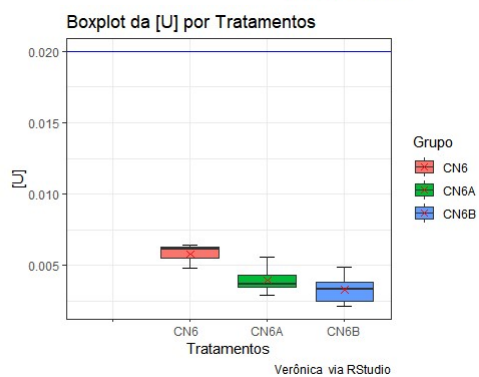
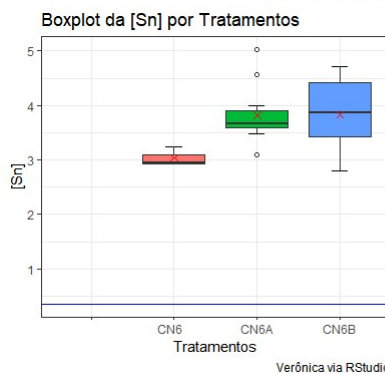
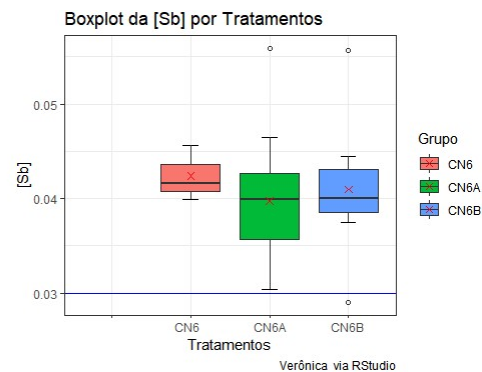
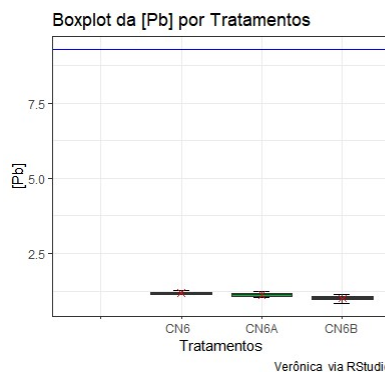
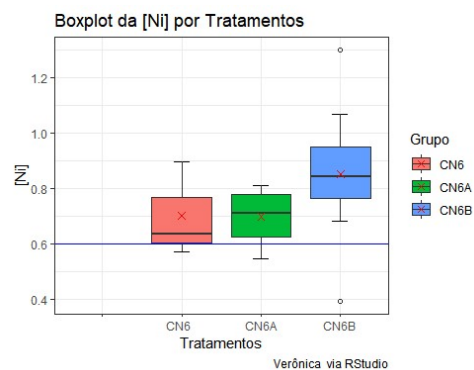
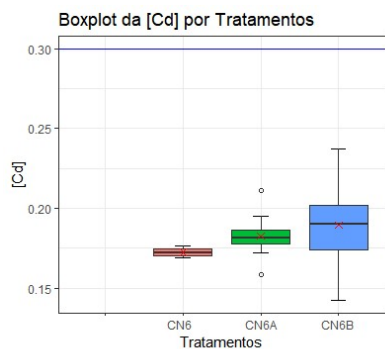


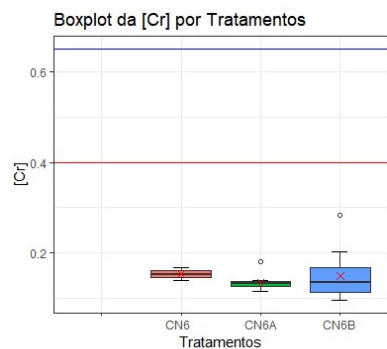


Boxplot da concentração dos elementos em mg kg^{-1} em relação aos tratamentos na amostra C5, onde temos: (-) valor máximo de referência; (-) valor mínimo de referência.

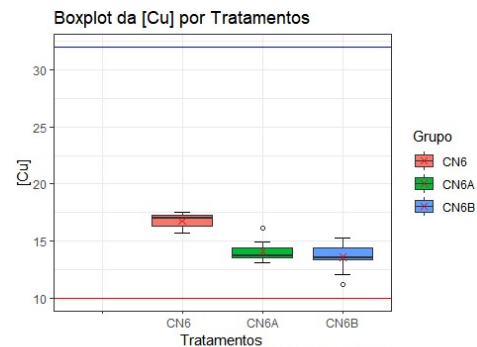
F. Amostra C6



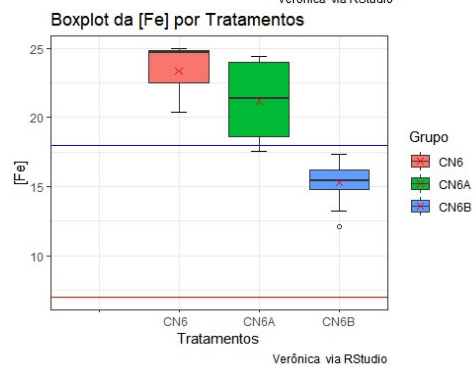




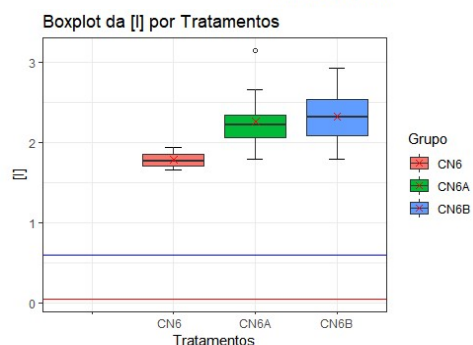
Verônica via RStudio



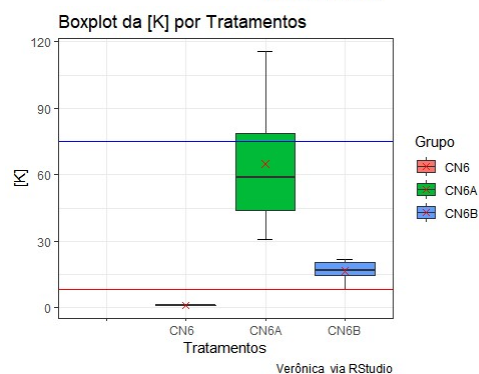
Verônica via RStudio



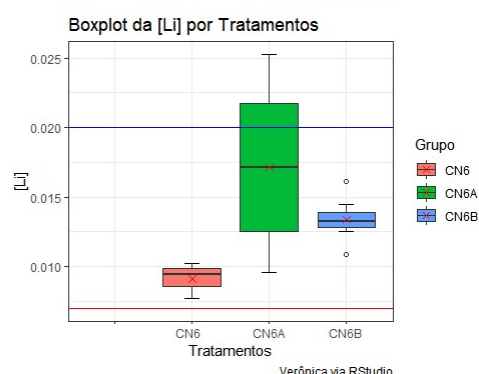
Verônica via RStudio



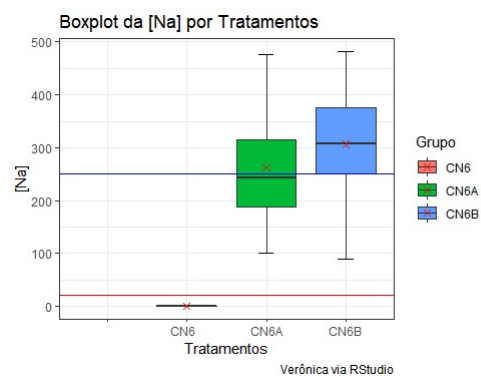
Verônica via RStudio



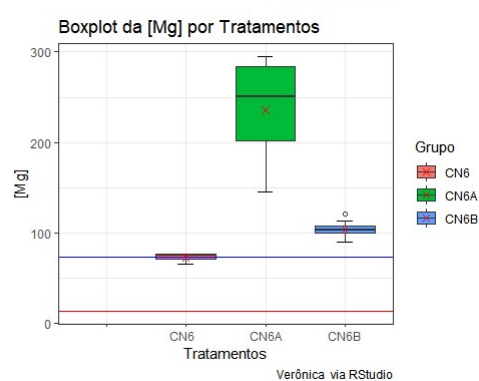
Verônica via RStudio



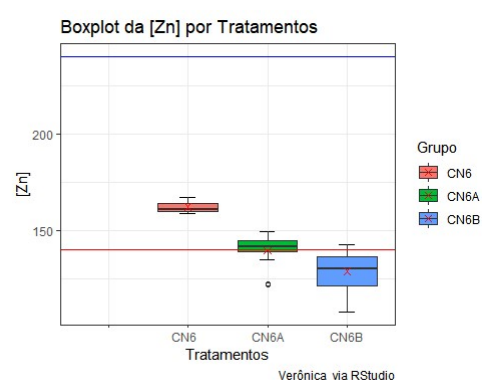
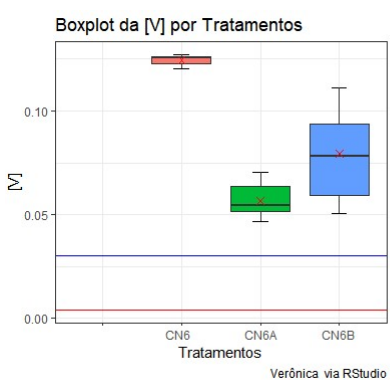
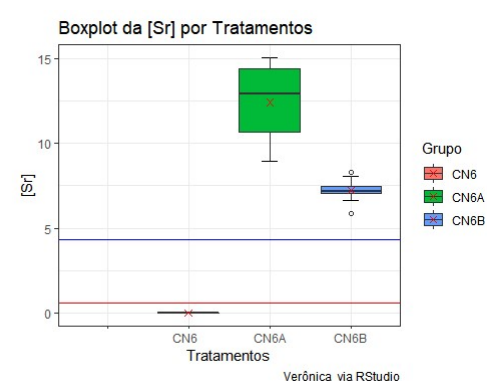
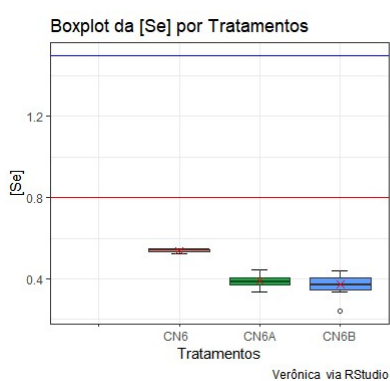
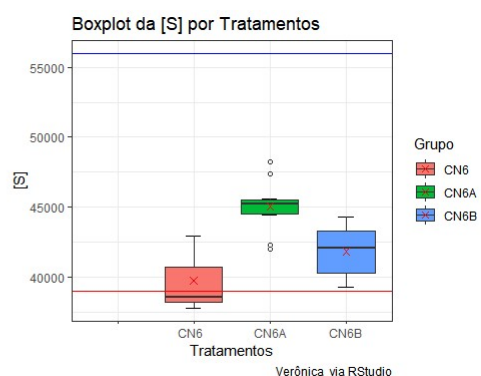
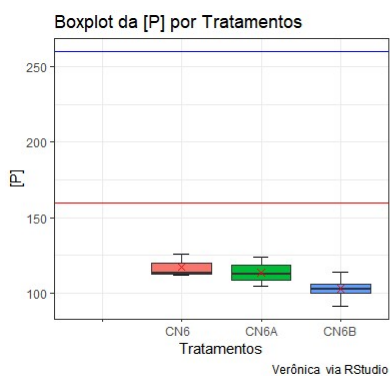
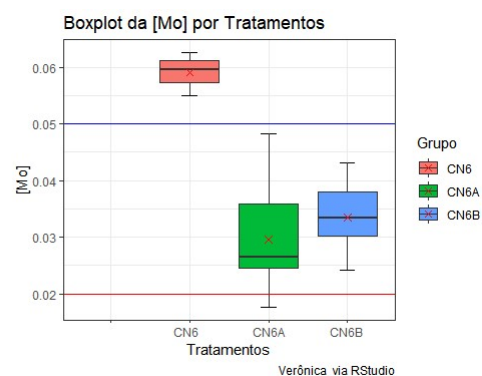
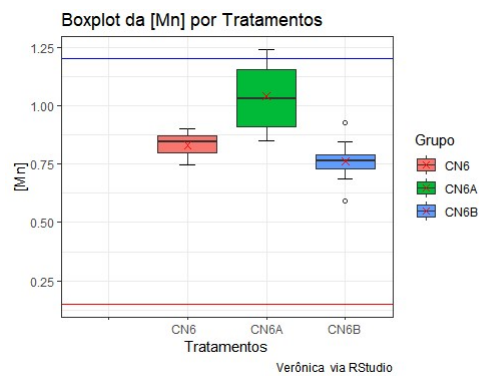
Verônica via RStudio

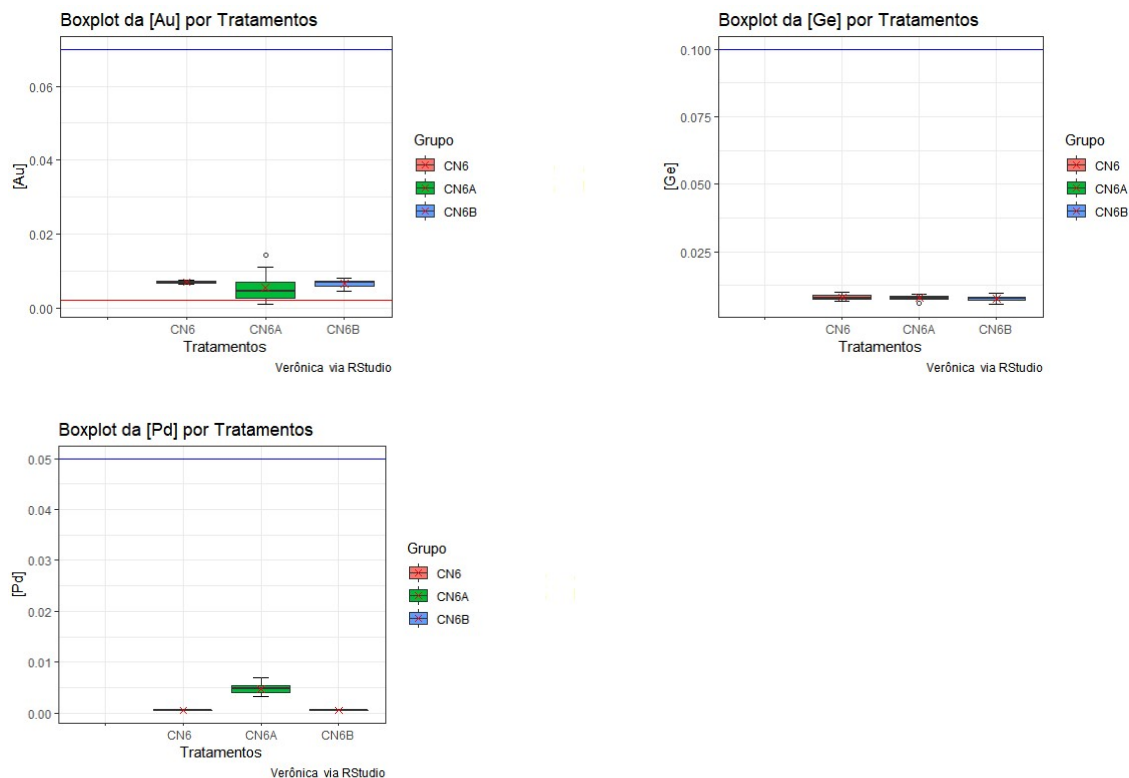


Verônica via RStudio



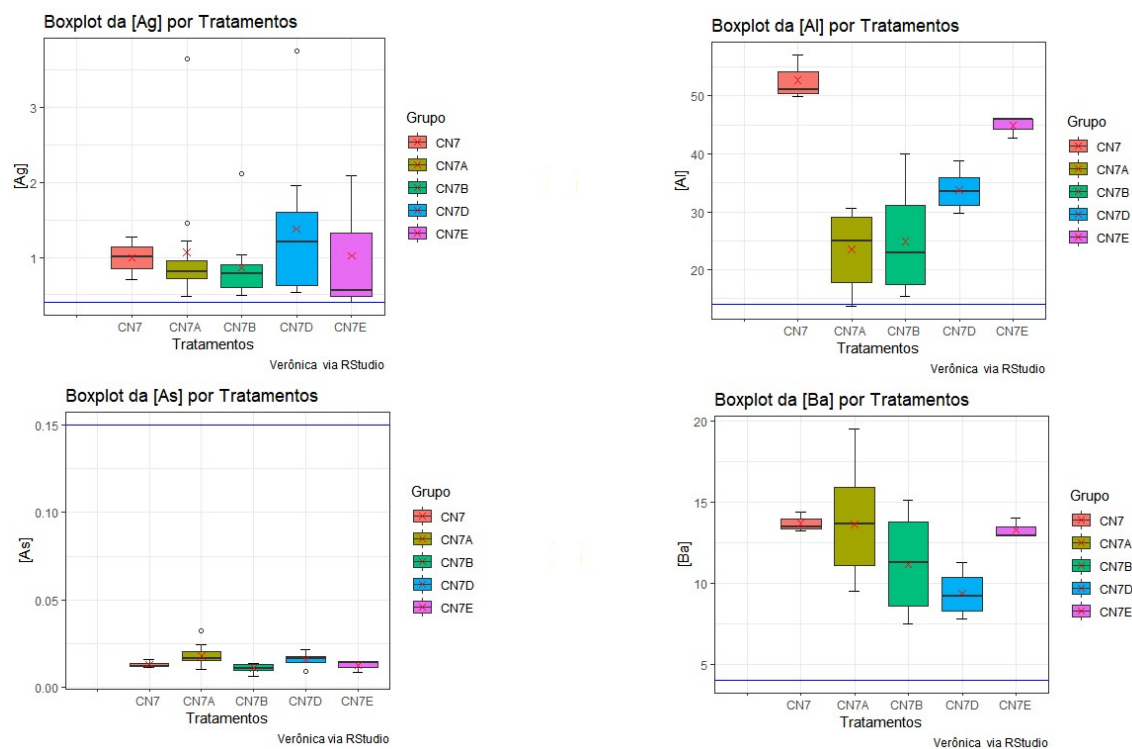
Verônica via RStudio

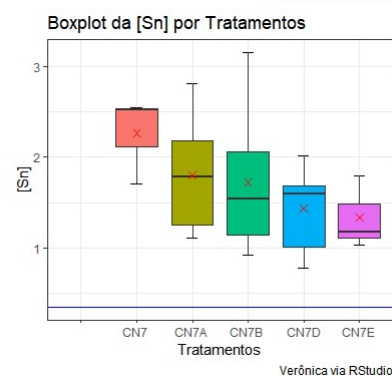
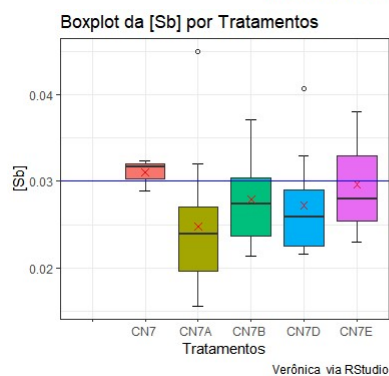
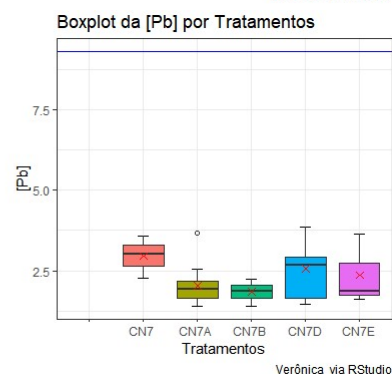
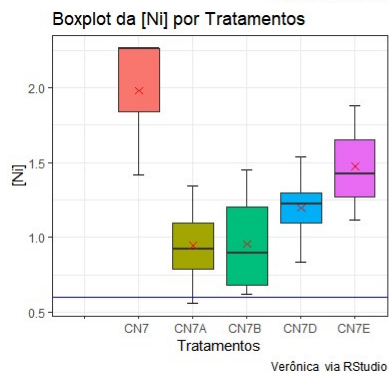
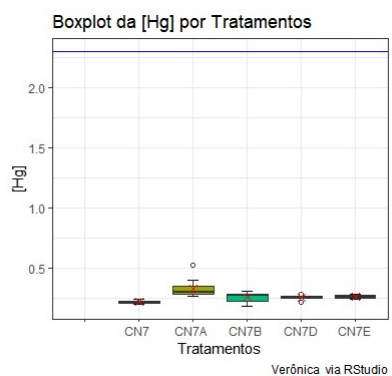
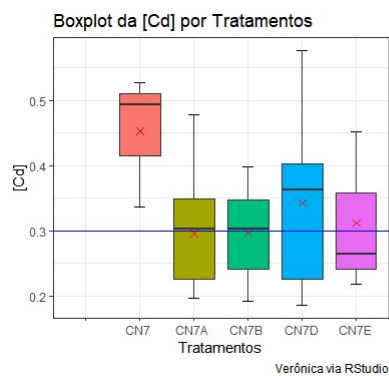
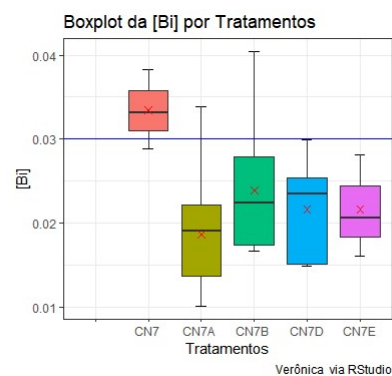
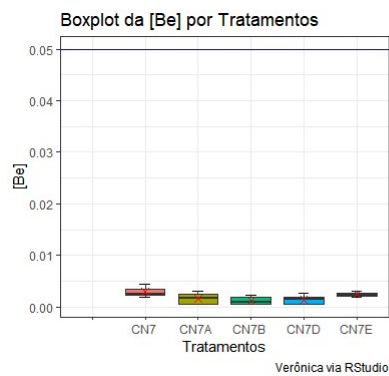


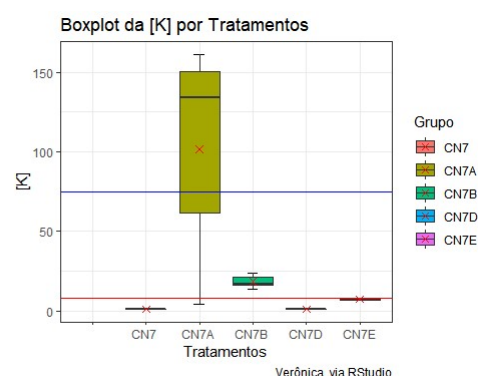
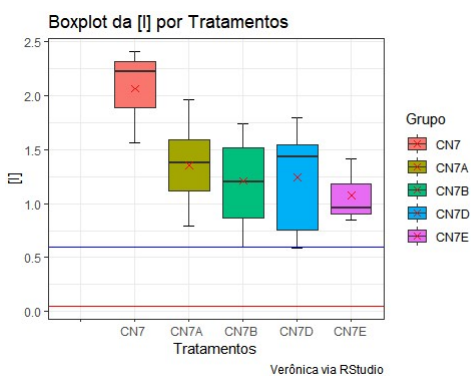
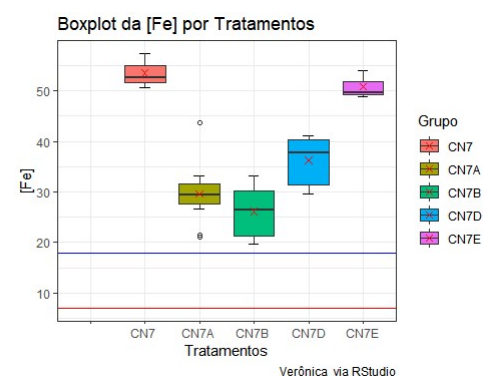
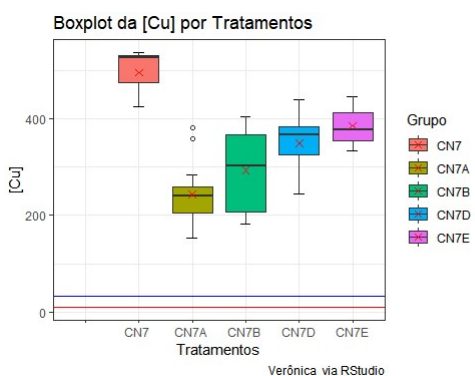
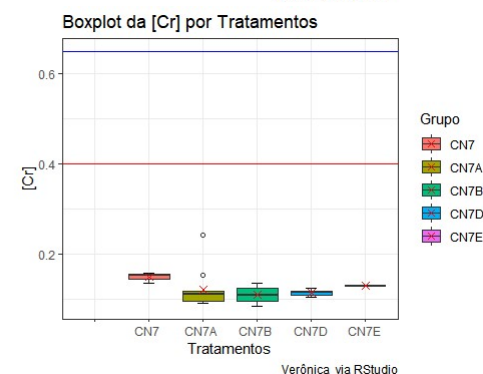
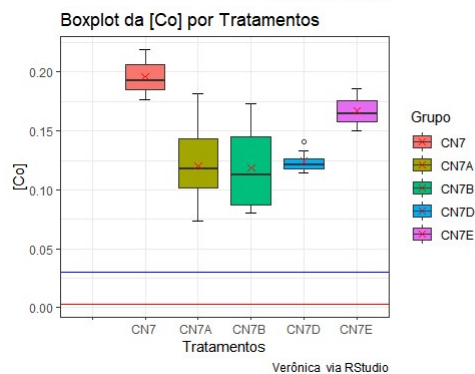
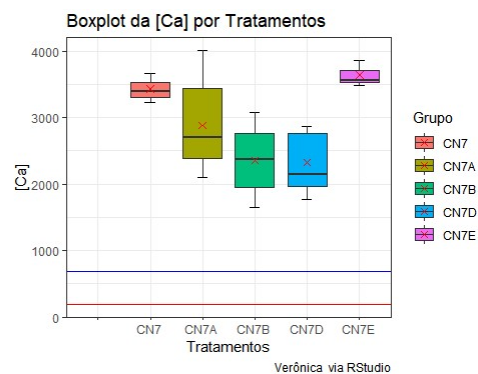
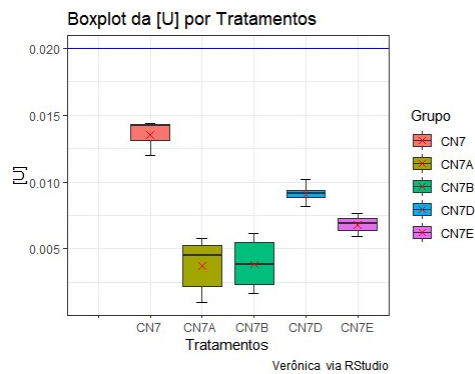


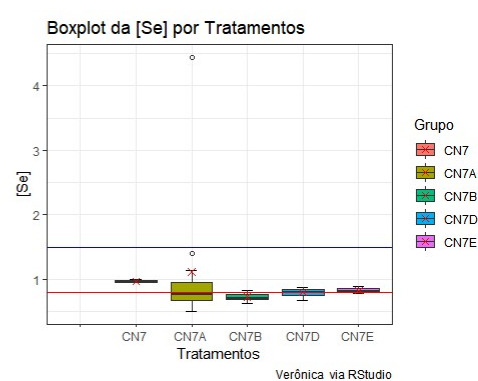
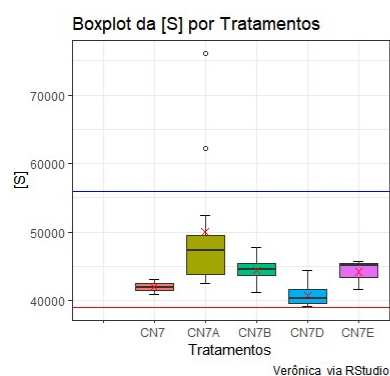
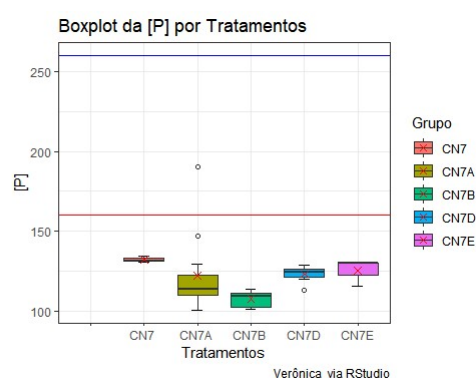
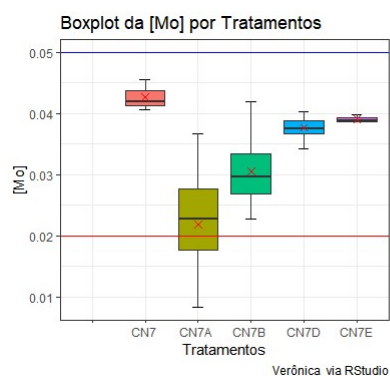
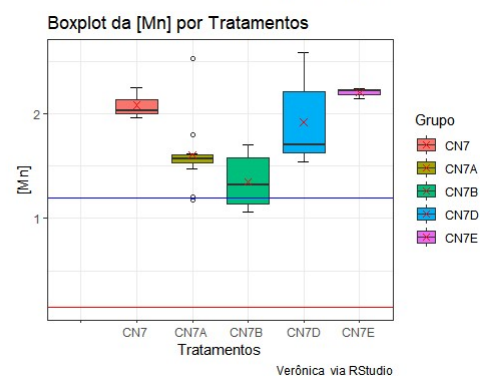
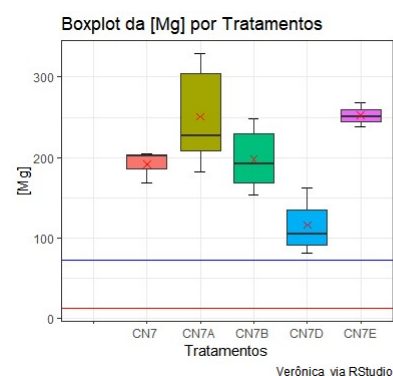
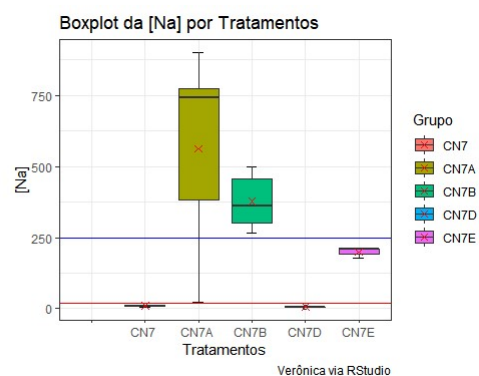
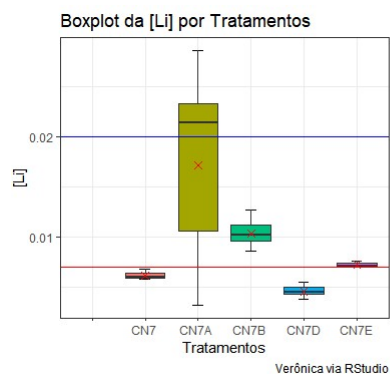
Boxplot da concentração dos elementos em mg kg^{-1} em relação aos tratamentos na amostra C6, onde temos: (-) valor máximo de referência; (-) valor mínimo de referência.

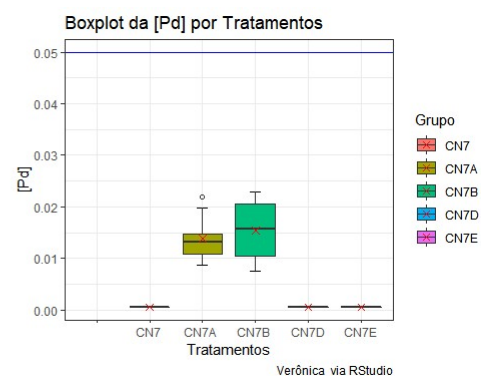
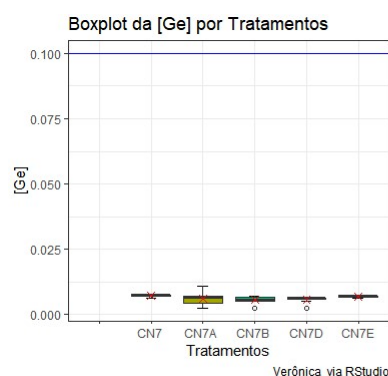
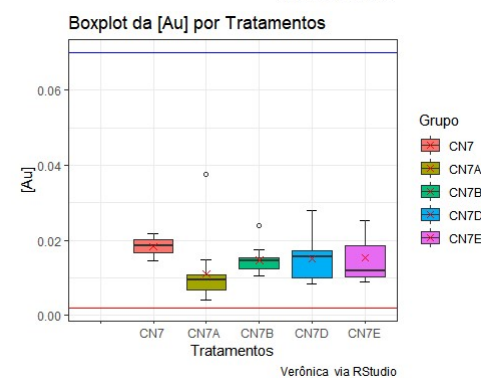
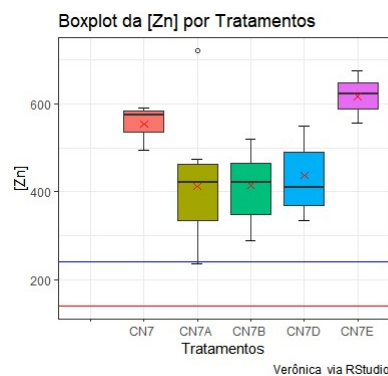
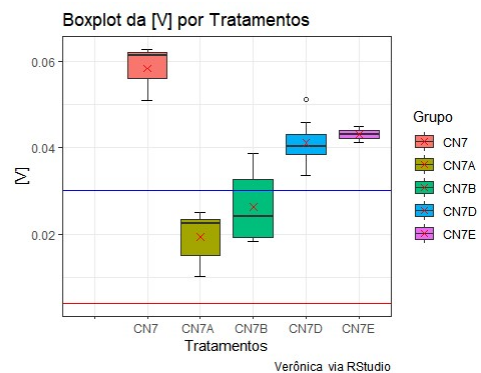
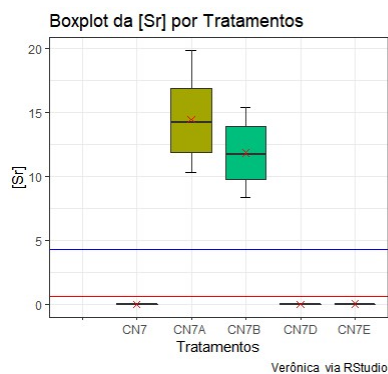
G. Amostra C7











Boxplot da concentração dos elementos em mg kg^{-1} em relação aos tratamentos na amostra C7, onde temos: (-) valor máximo de referência; (-) valor mínimo de referência.

III. Estrutura canônica total

A. Amostra C1

Componentes canônicas (CC) para 22 elementos obtidos por LDA para as concentrações da amostra C1.

CC	Li	Be	Na	Mg	P
1	0,0822642	-3,33227	0,4348723	0,4929247	-0,729881
2	0,5529051	0,2510907	0,1486716	0,6535439	0,0806099
3	-0,223052	-0,128894	-0,085453	-0,182477	0,4601756
4	-0,09797	0,1547101	-0,065075	0,0666229	-0,070879
5	-0,401361	-0,388698	-0,267718	-0,205452	-0,192267

	S	K	Ca	Mn	Fe
1	0,4449019	0,2082691	0,1941768	-0,280532	-0,636764
2	-0,230524	0,4511954	0,7941266	0,5100943	0,3028041
3	-0,171548	-0,006978	-0,166693	0,2848364	-0,072104
4	0,0509665	-0,035973	0,0437892	0,0725599	0,2354601
5	0,0537794	-0,161628	-0,295113	-0,339802	-0,395083

	Ge	As	Se	Sr	Pd
1	-0,594674	0,2092775	-0,325731	0,7761773	0,5446098
2	-0,184069	0,1284522	-0,028654	0,5169428	0,6105867
3	0,2051081	0,3276506	0,1445543	-0,164059	-0,080753
4	0,1552196	-0,099618	0,126436	0,0675872	-0,0239
5	-0,069107	-0,389072	0,5144951	-0,184385	-0,266108

	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg
1	0,0909176	0,2717339	0,1127143	0,2477969	0,5699484
2	0,6083056	0,5115748	0,4364418	0,7704785	0,51449
3	-0,219111	-0,130153	-0,148873	-0,107904	-0,098883
4	-0,186514	0,0024607	0,3041896	0,0653638	-0,130963
5	-0,330955	-0,463375	-0,463375	-0,359753	-0,258127

	Pb	Bi
1	-0,245831	0,1205175
2	0,3785966	0,0676731
3	-0,123708	-0,408164
4	-0,037428	-0,220058
5	-0,3212	-0,1103028

B. Amostra C2

Componentes canônicas (CC) para 10 elementos obtidos por LDA para as concentrações da amostra C2.

CC	Li	Na	Mg	Al	P
1	0,7386254	0,4842284	0,8136228	0,7225566	0,1723317
2	0,2196934	0,2807643	0,2447551	-0,337117	0,2821653
3	0,2801763	0,2690237	0,4289751	-0,228315	-0,797603

	Ca	Mn	Fe	Pd	Bi
1	0,8998044	0,6139024	0,7524737	0,4739028	0,2312939
2	0,0972096	0,2969371	-0,070476	0,224921	0,1301807
3	0,2487922	-0,053245	-0,161997	0,735861	0,1655137

C. Amostra C3

Componentes canônicas (CC) para 12 elementos obtidos por LDA para as concentrações da amostra C3.

CC	Li	Na	Mg	K	Ca
1	-0,539609	-0,55518	-0,532091	-0,641357	-0,2398690
2	-0,173814	-0,49146	-0,237408	0,1611055	-0,187367
3	0,5041205	0,2359066	0,6952119	0,514144	0,851635
4	-0,181379	-0,15208	0,015682	-0,136939	0,0277557
5	0,120899	0,2039046	0,0168634	-0,000515	0,0074587

	Ge	Sr	Cr	Se	Fe
1	0,7668053	-0,973423	-0,31678	0,4076886	-0,258799
2	-0,167588	-0,001341	0,4910602	-0,040404	0,4440774
3	-0,553943	0,1131452	0,0248417	0,1892668	0,3892187
4	-0,012269	-0,043494	0,2743818	0,0238371	0,0780814
5	-0,070448	0,016191	0,1584164	0,0532652	-0,153772

	Bi	V
1	-0,240243	0,5546075
2	-0,245346	0,5292287
3	0,6732861	-0,325666
4	-0,282636	0,2987397
5	0,1750777	0,0572822

D. Amostra C4

Componentes canônicas (CC) para 8 elementos obtidos por LDA para as concentrações da amostra C4.

CC	Li	Na	Mg	P	Ca
1	0,3260805	0,2647388	0,582394	-0,745186	0,3958256
2	0,361481	0,0233674	0,6992036	0,3043832	0,8599696
3	0,5528504	0,6680952	0,3631559	-0,296123	0,2244104
4	-0,128591	0,0200691	0,1318894	0,280979	0,1866714

	Fe	Ge	Sr
1	0,4013577	-0,82725	0,9751642
2	0,5278298	-0,462933	0,1630603
3	-0,452673	0,066091	0,11391
4	0,1037462	0,2330762	0,0623246

E. Amostra C5

Componentes canônicas (CC) para 20 elementos obtidos por LDA para as concentrações da amostra C5.

CC	Li	Be	Na	Mg	Al
1	-0,450445	0,2027156	-0,778852	-0,362939	0,7959
2	-0,456008	-0,096368	-0,013349	-0,725248	0,1628857
3	-0,294872	0,2317039	-0,070905	-0,086375	0-0,205162

	P	S	K	Ca	V
1	0,6702364	-0,356399	-0,316914	-0,045029	0,7756264
2	0,4756623	0,4883102	-0,717706	-0,710592	0,3729084
3	0,0152091	-0,053952	-0,000264	-0,158318	-0,094797

	Cr	Mn	Fe	Zn	Ge
1	0,1198637	0,4122493	0,0879227	0,7209477	0,3683614
2	0,1619788	-0,078719	-0,069464	0,2673177	0,7332436
3	0,0234415	0,3566431	-0,098164	-0,043527	0,0916796

	As	Se	Sr	Pd	Au
1	0,339914	0,5439801	-0,656421	-0,172448	0,0351733
2	-0,360998	0,44080804	-0,62607	-0,446208	-0,233059
3	0,1254367	0,0857652	-0,035257	0,0020985	0,0723635

F. Amostra C6

Componentes canônicas (CC) para 4 elementos obtidos por LDA para as concentrações da amostra C6.

CC	K	Fe	Mg	Pd
1	0,826319	0,2335287	0,8743135	0,8814533
2	0,253893	0,9100144	0,3167961	0,4707403

G. Amostra C7

Componentes canônicas (CC) para 14 elementos obtidos por LDA para as concentrações da amostra C7.

CC	Li	Be	Na	Mg	Al
1	0,6990072	-0,303752	0,8056055	0,4666812	-0,761824
2	0,3357019	0,0365765	0,1558344	0,0341305	-0,083004
3	0,3932149	0,37944874	0,3759863	0,7309186	0,2278359
4	-0,112081	-0,360536	-0,01591	-0,158147	-0,335589

	P	S	K	As	Sr
1	-0,268999	0,4596915	0,6257606	0,02100787	0,9471924
2	0,3859013	0,2466633	0,5499755	0,5864799	0,0271127
3	0,2430828	0,3451424	0,4051429	0,0723367	0,1308958
4	-0,133014	-0,048652	-0,060341	0,1076058	-0,117236

	Mo	Pd	Au	Hg
1	-0,767612	0,8620426	-0,392025	0,4413149
2	-0,332685	-0,190027	-0,462372	0,3872648
3	-0,198147	0,0029268	-0,145768	0,2974864
4	-0,070049	-0,107889	-0,226738	0,1426422

IV. Resultados do teste de heterocedasticidade

Resultados do teste de heterocedasticidade para o C1

Elemento	Teste	F Ratio	DF Num	DF Den	p-valor
⁷ Li	Levene	11,4506	5	44	<0,0001*
	Bartlett	10,7225	5	.	<0,0001*
⁹ Be	Levene	5,5557	5	44	0,0005*
	Bartlett	4,5394	5	.	0,0004*
²³ Na	Levene	20,7730	5	44	<0,0001*
	Bartlett	83,0662	5	.	<0,0001*
²⁴ Mg	Levene	4,6626	5	44	0,0017*
	Bartlett	8,8853	5	.	<0,0001*
³¹ P	Levene	1,9496	5	44	0,1053
	Bartlett	2,0886	5	.	0,0636
³⁴ S	Levene	2,2886	5	44	0,0621
	Bartlett	2,2015	5	.	0,0512
³⁹ K	Levene	30,4098	5	44	<0,0001*
	Bartlett	.	5	.	.
⁴⁴ Ca	Levene	3,9886	5	44	0,0045*
	Bartlett	4,3903	5	.	0,0005*
⁵⁵ Mn	Levene	4,2817	5	44	0,0029*
	Bartlett	3,9714	5	.	0,0013*
⁵⁷ Fe	Levene	2,2988	5	44	0,0611
	Bartlett	1,9311	5	.	0,0856
⁷⁴ Ge	Levene	2,0999	5	44	0,0833
	Bartlett	,	5	.	.
⁷⁵ As	Levene	1,2092	5	44	0,3207
	Bartlett	1,4970	5	.	0,1870
⁸² Se	Levene	0,5467	5	44	0,7399
	Bartlett	0,2939	5	.	0,9165
⁸⁸ Sr	Levene	4,6859	5	44	0,0016*
	Bartlett	.	5	.	.
¹⁰⁵ Pd	Levene	4,4791	5	44	0,0022*
	Bartlett	.	5	.	.
¹¹⁴ Cd	Levene	3,4258	5	44	0,0106*
	Bartlett	2,7441	5	.	0,0175*
¹¹⁸ Sn	Levene	10,4322	5	44	<0,0001*
	Bartlett	4,3619	5	.	0,0006*
¹²¹ Sb	Levene	12,5207	5	44	<0,0001*
	Bartlett	.	5	.	.
¹³⁷ Ba	Levene	2,4588	5	44	0,0476*
	Bartlett	2,3355	5	.	0,0395*

²⁰² Hg	Levene	1,8746	5	44	0,1182
	Bartlett	2,9699	5	.	0,0110*
²⁰⁸ Pb	Levene	7,8735	5	44	<0,0001*
	Bartlett	4,2840	5	.	0,0007*
²⁰⁹ Bi	Levene	30,8193	5	44	<0,0001*
	Bartlett	118,4305	5	.	<0,0001*

Resultados do teste de heterocedasticidade para o C2

Elemento	Teste	F Ratio	DF Num	DFDen	p-valor
⁷ Li	Levene	7,1390	3	32	0,0008*
	Bartlett	8,2718	3	.	<0,0001*
²³ Na	Levene	37,6007	3	32	<0,0001*
	Bartlett	95,5369	3	.	<0,0001*
²⁴ Mg	Levene	7,9183	3	32	0,0004*
	Bartlett	11,9362	3	.	<0,0001*
²⁷ Al	Levene	1,5690	3	32	0,2160
	Bartlett	0,8221	3	.	0,4814
³¹ P	Levene	0,3717	3	32	0,7739
	Bartlett	0,9353	3	.	0,4226
⁴⁴ Ca	Levene	19,7073	3	32	<0,0001*
	Bartlett	10,6310	3	.	<0,0001*
⁵⁵ Mn	Levene	10,7999	3	32	<0,0001*
	Bartlett	21,1394	3	.	<0,0001*
⁵⁷ Fe	Levene	9,2017	3	32	0,0002*
	Bartlett	15,4532	3	.	<0,0001*
¹⁰⁵ Pd	Levene	9,6251	3	32	0,0001*
	Bartlett	.	3	.	.
²⁰⁹ Bi	Levene	3,1846	3	32	0,0370*
	Bartlett	.	3	.	.

Resultados do teste de heterocedasticidade para o C3

Elemento	Teste	F Ratio	DF Num	DFDen	p-valor
⁷ Li	Levene	7,1329	5	45	<0,0001*
	Bartlett	10,9657	5	.	<0,0001*
²³ Na	Levene	5,2247	5	45	0,0007*
	Bartlett	164,8083	5	.	<0,0001*
²⁴ Mg	Levene	4,6941	5	45	0,0016*
	Bartlett	3,8743	5	.	0,0016*
²⁷ Al	Levene	3,3484	5	45	0,0118*
	Bartlett	2,4975	5	.	0,0287*
³¹ P	Levene	2,8211	5	45	0,0267*
	Bartlett	2,6631	5	.	0,0206*
³⁴ S	Levene	2,6617	5	45	0,0343*
	Bartlett	3,5903	5	.	0,0030*

³⁹ K	Levene	11,5207	5	45	<0,0001*
	Bartlett	.	5	.	.
⁴⁴ Ca	Levene	3,1263	5	45	0,0166*
	Bartlett	1,9561	5	.	0,0817
⁵¹ V	Levene	3,2216	5	45	0,0143*
	Bartlett	2,5829	5	.	0,0242*
⁵³ Cr	Levene	0,8955	5	45	0,4923
	Bartlett	2,2386	5	.	0,0477*
⁵⁷ Fe	Levene	10,5345	5	45	<0,0001*
	Bartlett	13,6565	5	.	<0,0001*
⁷⁴ Ge	Levene	5,0896	5	45	0,0009*
	Bartlett	140,5858	5	.	<0,0001*
⁸² Se	Levene	3,1026	5	45	0,0172*
	Bartlett	17,4243	5	.	<0,0001*
¹²⁷ I	Levene	12,4465	5	45	<0,0001*
	Bartlett	1,8693	5	45	0,1187
²⁰⁹ Bi	Levene	11,8583	5	45	<0,0001*
	Bartlett	.	5	.	.

Resultados do teste de heterocedasticidade para o C4

Elemento	Teste	F Ratio	DF Num	DF Den	p-valor
⁷ Li	Levene	21,1164	4	43	<0,0001*
	Bartlett	15,9568	4	.	<0,0001*
²³ Na	Levene	9,3261	4	43	<0,0001*
	Bartlett	208,2717	4	.	<0,0001*
²⁴ Mg	Levene	3,7645	4	43	0,0103*
	Bartlett	4,8943	4	.	0,0006*
³¹ P	Levene	0,1478	4	43	0,9630
	Bartlett	0,2143	4	.	0,9306
⁴⁴ Ca	Levene	1,6053	4	43	0,1903
	Bartlett	2,0645	4	.	0,0826
⁵⁷ Fe	Levene	14,3787	4	43	<0,0001*
	Bartlett	16,3246	4	.	<0,0001*
⁷⁴ Ge	Levene	7,0722	4	43	0,0002*
	Bartlett	178,6000	4	.	<0,0001*
⁸⁸ Sr	Levene	11,9235	4	43	<0,0001*
	Bartlett	.	4	.	.

Resultados do teste de heterocedasticidade para o C5

Elemento	Teste	F Ratio	DF Num	DFDen	p-valor
⁷ Li	Levene	9,2295	3	32	0,0002*
	Bartlett	9,3918	3	.	<0,0001*
⁹ Be	Levene	0,5614	3	32	0,6444
	Bartlett	0,3648	3	.	0,7784
²³ Na	Levene	7,6853	3	32	0,0005*
	Bartlett	35,8653	3	.	<0,0001*
²⁴ Mg	Levene	15,8262	3	32	<0,0001*
	Bartlett	22,1401	3	.	<0,0001*
²⁷ Al	Levene	2,9511	3	32	0,0474*
	Bartlett	2,1020	3	.	0,0976
³¹ P	Levene	0,4233	3	32	0,7376
	Bartlett	0,1977	3	.	0,8980
³⁴ S	Levene	14,7830	3	32	<0,0001*
	Bartlett	21,6931	3	.	<0,0001*
⁴⁴ Ca	Levene	12,1405	3	32	<0,0001*
	Bartlett	12,0092	3	.	<0,0001*
³⁹ K	Levene	12,9797	3	32	<0,0001*
	Bartlett	.	3	.	.
⁵¹ V	Levene	0,2929	3	32	0,8302
	Bartlett	0,4599	3	.	0,7103
⁵³ Cr	Levene	1,9389	3	32	0,1432
	Bartlett	10,5159	3	.	<0,0001*
⁵⁵ Mn	Levene	6,8465	3	32	0,0011*
	Bartlett	3,5915	3	.	0,0130*
⁵⁷ Fe	Levene	2,4091	3	32	0,0852
	Bartlett	0,4719	3	32	0,7040
⁶⁶ Zn	Levene	0,3719	3	.	0,7733
	Bartlett	1,7803	3	.	0,1485
⁷⁴ Ge	Levene	3,1657	3	32	0,0377*
	Bartlett	2,2643	3	.	0,0788
⁷⁵ As	Levene	0,3012	3	32	0,8243
	Bartlett	0,2153	3	.	0,8859
⁸² Se	Levene	2,1239	3	32	0,1166
	Bartlett	2,0876	3	.	0,0995
⁸⁸ Sr	Levene	13,0709	3	32	<0,0001*
	Bartlett	53,3504	3	.	<0,0001*
¹⁰⁵ Pd	Levene	3,9354	3	32	0,0169*
	Bartlett	14,2058	3	32	<0,0001*
¹⁹⁷ Au	Levene	14,7830	3	32	<0,0001*
	Bartlett	21,6931	3	.	<0,0001*

Resultados do teste de heterocedasticidade para o C6

Elemento	Teste	F Ratio	DF Num	DFDen	p-valor
²⁴ Mg	Levene	17,0888	2	24	<0,0001*
	Bartlett	14,4710	2	.	<0,0001*
³⁹ K	Levene	13,5366	2	24	0,0001*
	Bartlett	.	2	.	.
⁵⁷ Fe	Levene	11,9537	2	24	0,0002*
	Bartlett	2,0144	2	.	0,1334
¹⁰⁵ Pd	Levene	13,3658	2	24	0,0001*
	Bartlett	.	2	.	.

Resultados do teste de heterocedasticidade para o C7

Elemento	Teste	F Ratio	DF Num	DFDen	p-valor
⁷ Li	Levene	9,8141	4	31	<0,0001*
	Bartlett	13,4283	4	.	<0,0001*
⁹ Be	Levene	1,8655	4	31	0,1416
	Bartlett	0,6118	4	.	0,6541
²³ Na	Levene	6,8067	4	31	0,0005*
	Bartlett	24,7978	4	.	<0,0001*
²⁴ Mg	Levene	6,8067	4	31	0,0005*
	Bartlett	24,7978	4	.	<0,0001*
²⁷ Al	Levene	7,8863	4	31	0,0002*
	Bartlett	2,4558	4	.	0,0435*
³¹ P	Levene	3,9775	4	31	0,0102*
	Bartlett	8,9398	4	.	<0,0001*
³⁴ S	Levene	4,6927	4	31	0,0045*
	Bartlett	9,4828	4	.	<0,0001*
³⁹ K	Levene	12,0671	4	31	<0,0001*
	Bartlett	.	4	.	.
⁷⁵ As	Levene	1,8889	4	31	0,1374
	Bartlett	2,7123	4	.	0,0283*
⁸⁸ Sr	Levene	13,3937	4	31	<0,0001*
	Bartlett	37,2078	4	.	<0,0001*
⁹⁸ Mo	Levene	13,3937	4	31	<0,0001*
	Bartlett	37,2078	4	.	<0,0001*
¹⁰⁵ Pd	Levene	14,3336	4	31	<0,0001*
	Bartlett	.	4	.	.
¹⁹⁷ Au	Levene	2,5479	4	31	0,0590
	Bartlett	1,1990	4	.	0,3089
²⁰² Hg	Levene	2,8477	4	31	0,0404*
	Bartlett	3,3806	4	.	0,0090*

V. Teste de Wilcoxon

A. Resultado do teste para a amostra C1

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento As na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1D	CN1C	4,76389	2,736076	1,74114	0,0817
CN1	CN1E	1,33333	1,505545	0,88561	0,3758
CN1B	CN1A	-0,43561	2,831104	-0,15386	0,8777
CN1D	CN1B	-0,68056	2,736076	-0,24873	0,8036
CN1D	CN1A	-1,81818	2,659080	-0,68376	0,4941
CN1	CN1C	-2,29167	2,886751	-0,79386	0,4273
CN1	CN1D	-3,11111	2,403701	-1,29430	0,1956
CN1E	CN1C	-3,12500	2,884173	-1,08350	0,2786
CN1E	CN1D	-4,00000	2,399495	-1,66702	0,0955
CN1E	CN1B	-6,04167	2,884173	-2,09477	0,0362*
CN1	CN1B	-6,04167	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN1	CN1A	-6,36364	2,724746	-2,33550	0,0195*
CN1E	CN1A	-6,78788	2,721750	-2,49394	0,0126*
CN1C	CN1A	-6,88258	2,831104	-2,43106	0,0151*
CN1C	CN1B	-6,91667	2,886751	-2,39600	0,0166*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ba na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1C	5,6250	2,886751	1,94856	0,0513
CN1	CN1D	5,3333	2,403701	2,21880	0,0265*
CN1	CN1B	3,9583	2,886751	1,37121	0,1703
CN1	CN1E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1C	CN1B	-0,9167	2,886751	-0,31754	0,7508
CN1E	CN1D	-1,3333	2,403701	-0,55470	0,5791
CN1D	CN1C	-4,1806	2,736076	-1,52794	0,1265
CN1D	CN1B	-5,3472	2,736076	-1,95434	0,0507
CN1	CN1A	-5,9394	2,724746	-2,17980	0,0293*
CN1E	CN1A	-6,7879	2,724746	-2,49120	0,0127*
CN1E	CN1B	-6,8750	2,886751	-2,38157	0,0172*
CN1E	CN1C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1D	CN1A	-9,8990	2,659080	-3,72271	0,0002*
CN1B	CN1A	-10,7159	2,831104	-3,78506	0,0002*
CN1C	CN1A	-11,0644	2,831104	-3,90815	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Be na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1C	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1D	5,77778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN1D	CN1C	4,37500	2,736076	1,59901	0,1098
CN1	CN1A	3,81818	2,724746	1,40130	0,1611
CN1E	CN1C	2,70833	2,884173	0,93903	0,3477
CN1	CN1E	2,66667	1,505545	1,77123	0,0765
CN1D	CN1B	2,43056	2,736076	0,88834	0,3744
CN1D	CN1A	0,00000	2,659080	0,00000	1,0000
CN1E	CN1B	0,00000	2,884173	0,00000	1,0000
CN1E	CN1A	-1,27273	2,721750	-0,46761	0,6401
CN1B	CN1A	-1,30682	2,831104	-0,46159	0,6444
CN1E	CN1D	-2,22222	2,399495	-0,92612	0,3544
CN1C	CN1A	-4,79167	2,831104	-1,69251	0,0905
CN1C	CN1B	-5,58333	2,886751	-1,93412	0,0531

Resultado do teste Wilcoxon para o element Bi na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1B	CN1A	2,1780	2,831104	0,76932	0,4417
CN1	CN1D	1,7778	1,154701	1,53960	0,1237
CN1	CN1E	0,6667	1,483240	0,44947	0,6531
CN1	CN1C	-1,0417	2,834734	-0,36747	0,7133
CN1E	CN1D	-1,7778	1,825742	-0,97373	0,3302
CN1E	CN1A	-2,1212	2,721750	-0,77936	0,4358
CN1	CN1A	-2,1212	2,721750	-0,77936	0,4358
CN1E	CN1B	-2,2917	2,884173	-0,79457	0,4269
CN1E	CN1C	-2,2917	2,873835	-0,79742	0,4252
CN1	CN1B	-2,2917	2,884173	-0,79457	0,4269
CN1C	CN1A	-4,0947	2,828305	-1,44776	0,1477
CN1C	CN1B	-5,9167	2,884240	-2,05138	0,0402*
CN1D	CN1C	-7,7778	2,468974	-3,15021	0,0016*
CN1D	CN1A	-9,8990	2,536286	-3,90295	<0,0001*
CN1D	CN1B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ca na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1C	6,0417	2,886751	2,09289	0,0364*
CN1	CN1D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN1	CN1B	4,7917	2,886751	1,65988	0,0969
CN1	CN1E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1C	CN1B	2,0833	2,886751	0,72169	0,4705
CN1E	CN1D	1,7778	2,403701	0,73960	0,4595
CN1E	CN1B	0,0000	2,886751	0,00000	1,0000
CN1E	CN1C	-4,3750	2,886751	-1,51554	0,1296
CN1	CN1A	-5,5152	2,724746	-2,02410	0,0430*
CN1D	CN1B	-5,5417	2,736076	-2,02541	0,0428*
CN1D	CN1C	-6,1250	2,736076	-2,23861	0,0252*
CN1E	CN1A	-6,7879	2,724746	-2,49120	0,0127*
CN1D	CN1A	-9,2929	2,659080	-3,49479	0,0005*
CN1C	CN1A	-10,0189	2,831104	-3,53888	0,0004*
CN1B	CN1A	-10,3674	2,831104	-3,66197	0,0003*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Cd na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1D	5,77778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN1	CN1C	4,79167	2,886751	1,65988	0,0969
CN1E	CN1C	4,37500	2,886751	1,51554	0,1296
CN1E	CN1D	3,55556	2,403701	1,47920	0,1391
CN1	CN1B	2,29167	2,886751	0,79386	0,4273
CN1	CN1E	0,66667	1,527525	0,43644	0,6625
CN1E	CN1B	0,62500	2,886751	0,21651	0,8286
CN1D	CN1C	-0,09722	2,736076	-0,03553	0,9717
CN1E	CN1A	-3,39394	2,724746	-1,24560	0,2129
CN1	CN1A	-4,66667	2,724746	-1,71270	0,0868
CN1C	CN1B	-5,75000	2,886751	-1,99186	0,0464*
CN1D	CN1B	-5,93056	2,736076	-2,16754	0,0302*
CN1B	CN1A	-8,62500	2,831104	-3,04651	0,0023*
CN1C	CN1A	-9,84470	2,831104	-3,47733	0,0005*
CN1D	CN1A	-9,89899	2,659080	-3,72271	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Fe na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1D	CN1C	9,23611	2,736076	3,37568	0,0007*
CN1D	CN1B	7,68056	2,736076	2,80714	0,0050*
CN1	CN1B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1C	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1A	6,78788	2,724746	2,49120	0,0127*
CN1	CN1D	5,77778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN1E	CN1C	5,62500	2,886751	1,94856	0,0513
CN1E	CN1B	3,95833	2,886751	1,37121	0,1703
CN1	CN1E	2,66667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1D	CN1A	-0,40404	2,659080	-0,15195	0,8792
CN1C	CN1B	-1,41667	2,886751	-0,49075	0,6236
CN1E	CN1D	-3,55556	2,403701	-1,47920	0,1391
CN1E	CN1A	-4,24242	2,724746	-1,55700	0,1195
CN1B	CN1A	-7,75379	2,831104	-2,73879	0,0062*
CN1C	CN1A	-9,67045	2,831104	-3,41579	0,0006*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ge na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1D	CN1B	7,68056	2,736076	2,80714	0,0050*
CN1D	CN1C	7,48611	2,736076	2,73608	0,0062*
CN1D	CN1A	7,47475	2,659080	2,81103	0,0049*
CN1	CN1B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1C	6,87500	2,886751	2,38157	0,0172*
CN1	CN1A	5,09091	2,724746	1,86840	0,0617
CN1E	CN1A	4,24242	2,712743	1,56389	0,1178
CN1B	CN1A	3,57197	2,831104	1,26169	0,2071
CN1E	CN1B	3,54167	2,876423	1,23127	0,2182
CN1E	CN1C	3,54167	2,876423	1,23127	0,2182
CN1C	CN1A	3,22348	2,831104	1,13860	0,2549
CN1	CN1E	2,66667	1,437591	1,85496	0,0636
CN1	CN1D	1,33333	2,403701	0,55470	0,5791
CN1C	CN1B	0,08333	2,886751	0,02887	0,9770
CN1E	CN1D	-3,11111	2,386833	-1,30345	0,1924

Resultado do teste Wilcoxon para o element Hg na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1E	CN1D	3,55556	2,399495	1,48179	0,1384
CN1	CN1D	-2,22222	2,403701	-0,92450	0,3552
CN1	CN1E	-2,66667	1,505545	-1,77123	0,0765
CN1C	CN1B	-4,75000	2,886751	-1,64545	0,0999
CN1E	CN1C	-5,62500	2,884173	-1,95030	0,0511
CN1	CN1C	-6,45833	2,886751	-2,23723	0,0253*
CN1E	CN1A	-6,78788	2,721750	-2,49394	0,0126*
CN1	CN1A	-6,78788	2,724746	-2,49120	0,0127*
CN1E	CN1B	-6,87500	2,884173	-2,38370	0,0171*
CN1	CN1B	-7,29167	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1D	CN1C	-8,06944	2,736076	-2,94928	0,0032*
CN1B	CN1A	-8,62500	2,831104	-3,04651	0,0023*
CN1C	CN1A	-9,49621	2,831104	-3,35424	0,0008*
CN1D	CN1B	-9,62500	2,736076	-3,51781	0,0004*
CN1D	CN1A	-9,89899	2,659080	-3,72271	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento K na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1B	CN1A	0,60985	2,791664	0,21845	0,8271
CN1E	CN1D	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN1	CN1D	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN1	CN1E	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN1C	CN1B	-1,08333	2,851392	-0,37993	0,7040
CN1C	CN1A	-1,48106	2,623466	-0,56454	0,5724
CN1E	CN1A	-2,96970	2,337991	-1,27019	0,2040
CN1	CN1A	-2,96970	2,337991	-1,27019	0,2040
CN1E	CN1C	-3,54167	2,558832	-1,38410	0,1663
CN1	CN1C	-3,54167	2,558832	-1,38410	0,1663
CN1D	CN1A	-4,44444	2,023257	-2,19668	0,0280*
CN1D	CN1C	-5,15278	2,182633	-2,36081	0,0182*
CN1E	CN1B	-6,66667	2,860861	-2,33030	0,0198*
CN1	CN1B	-6,66667	2,860861	-2,33030	0,0198*
CN1D	CN1B	-9,52778	2,585349	-3,68530	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Li na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1C	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1B	6,4583	2,886751	2,23723	0,0253*
CN1	CN1D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN1E	CN1C	5,6250	2,884173	1,95030	0,0511
CN1E	CN1D	5,3333	2,399495	2,22269	0,0262*
CN1	CN1E	2,6667	1,505545	1,77123	0,0765
CN1E	CN1B	0,0000	2,884173	0,00000	1,0000
CN1	CN1A	0,0000	2,724746	0,00000	1,0000
CN1D	CN1C	-3,7917	2,736076	-1,38580	0,1658
CN1E	CN1A	-4,6667	2,721750	-1,71458	0,0864
CN1B	CN1A	-7,0568	2,831104	-2,49260	0,0127*
CN1D	CN1A	-9,6970	2,659080	-3,64674	0,0003*
CN1D	CN1B	-9,8194	2,736076	-3,58888	0,0003*
CN1C	CN1B	-10,0833	2,886751	-3,49297	0,0005*
CN1C	CN1A	-10,7159	2,831104	-3,78506	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mn na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1C	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1D	CN1C	6,5139	2,736076	2,38074	0,0173*
CN1	CN1B	6,4583	2,886751	2,23723	0,0253*
CN1D	CN1B	6,1250	2,736076	2,23861	0,0252*
CN1	CN1E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1E	CN1C	2,2917	2,886751	0,79386	0,4273
CN1E	CN1B	0,0000	2,886751	0,00000	1,0000
CN1	CN1D	0,0000	2,403701	0,00000	1,0000
CN1	CN1A	-1,2727	2,724746	-0,46710	0,6404
CN1C	CN1B	-1,4167	2,886751	-0,49075	0,6236
CN1D	CN1A	-2,2222	2,659080	-0,83571	0,4033
CN1E	CN1D	-2,6667	2,403701	-1,10940	0,2673
CN1E	CN1A	-6,7879	2,724746	-2,49120	0,0127*
CN1B	CN1A	-9,8447	2,831104	-3,47733	0,0005*
CN1C	CN1A	-10,8902	2,831104	-3,84661	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mg na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN1C	CN1B	3,5833	2,886751	1,24130	0,2145
CN1E	CN1D	3,1111	2,403701	1,29430	0,1956
CN1	CN1E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1	CN1A	-5,5152	2,724746	-2,02410	0,0430*
CN1E	CN1A	-6,7879	2,724746	-2,49120	0,0127*
CN1	CN1B	-6,8750	2,886751	-2,38157	0,0172*
CN1E	CN1B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1E	CN1C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1	CN1C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1B	CN1A	-9,1477	2,831104	-3,23115	0,0012*
CN1C	CN1A	-9,1477	2,831104	-3,23115	0,0012*
CN1D	CN1A	-9,8990	2,659080	-3,72271	0,0002*
CN1D	CN1B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN1D	CN1C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Na na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1B	CN1A	2,8750	2,831104	1,01550	0,3099
CN1C	CN1A	0,4356	2,831104	0,15386	0,8777
CN1	CN1E	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN1E	CN1D	-5,7778	2,386833	-2,42069	0,0155*
CN1	CN1D	-5,7778	2,386833	-2,42069	0,0155*
CN1C	CN1B	-6,7500	2,886751	-2,33827	0,0194*
CN1E	CN1A	-6,7879	2,712743	-2,50222	0,0123*
CN1	CN1A	-6,7879	2,712743	-2,50222	0,0123*
CN1E	CN1B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1E	CN1C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1	CN1B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1	CN1C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1D	CN1A	-8,8889	2,659080	-3,34284	0,0008*
CN1D	CN1C	-10,2083	2,736076	-3,73101	0,0002*
CN1D	CN1B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento P na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1D	CN1B	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN1D	CN1C	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN1D	CN1A	9,6970	2,659080	3,64674	0,0003*
CN1E	CN1C	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1C	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1A	6,7879	2,724746	2,49120	0,0127*
CN1E	CN1B	6,4583	2,886751	2,23723	0,0253*
CN1E	CN1A	2,9697	2,724746	1,08990	0,2758
CN1	CN1E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1	CN1D	-2,2222	2,403701	-0,92450	0,3552
CN1C	CN1B	-5,2500	2,886751	-1,81865	0,0690
CN1E	CN1D	-5,3333	2,403701	-2,21880	0,0265*
CN1B	CN1A	-7,4053	2,831104	-2,61569	0,0089*
CN1C	CN1A	-10,7159	2,831104	-3,78506	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o element Pb no cabelo C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1	CN1C	6,87500	2,886751	2,38157	0,0172*
CN1E	CN1C	6,04167	2,886751	2,09289	0,0364*
CN1	CN1D	5,33333	2,403701	2,21880	0,0265*
CN1D	CN1C	4,95833	2,736076	1,81221	0,0700
CN1E	CN1B	3,95833	2,886751	1,37121	0,1703
CN1	CN1E	2,66667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1	CN1A	2,12121	2,724746	0,77850	0,4363
CN1E	CN1D	0,88889	2,403701	0,36980	0,7115
CN1D	CN1B	0,68056	2,736076	0,24873	0,8036
CN1E	CN1A	0,00000	2,724746	0,00000	1,0000
CN1D	CN1A	-1,81818	2,659080	-0,68376	0,4941
CN1B	CN1A	-3,04924	2,831104	-1,07705	0,2815
CN1C	CN1B	-7,75000	2,886751	-2,68468	0,0073*
CN1C	CN1A	-8,62500	2,831104	-3,04651	0,0023*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Pd na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1E	CN1D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN1	CN1D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN1	CN1E	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN1C	CN1B	-5,0833	2,886124	-1,76130	0,0782
CN1E	CN1B	-6,0417	2,834734	-2,13130	0,0331*
CN1	CN1B	-6,0417	2,834734	-2,13130	0,0331*
CN1E	CN1A	-6,7879	2,712743	-2,50222	0,0123*
CN1	CN1A	-6,7879	2,712743	-2,50222	0,0123*
CN1E	CN1C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1	CN1C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1D	CN1B	-8,6528	2,533114	-3,41587	0,0006*
CN1B	CN1A	-9,6705	2,830405	-3,41663	0,0006*
CN1D	CN1A	-9,8990	2,536286	-3,90295	<0,0001*
CN1D	CN1C	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN1C	CN1A	-10,7159	2,831104	-3,78506	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento S na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1B	CN1A	6,53409	2,831104	2,30797	0,0210*
CN1C	CN1A	5,66288	2,831104	2,00024	0,0455*
CN1E	CN1D	1,33333	2,403701	0,55470	0,5791
CN1	CN1D	0,00000	2,403701	0,00000	1,0000
CN1	CN1E	-0,66667	1,527525	-0,43644	0,6625
CN1E	CN1A	-1,69697	2,724746	-0,62280	0,5334
CN1C	CN1B	-1,75000	2,886751	-0,60622	0,5444
CN1D	CN1A	-2,82828	2,659080	-1,06363	0,2875
CN1	CN1A	-2,96970	2,724746	-1,08990	0,2758
CN1E	CN1C	-5,62500	2,886751	-1,94856	0,0513
CN1D	CN1B	-5,73611	2,736076	-2,09647	0,0360*
CN1D	CN1C	-5,93056	2,736076	-2,16754	0,0302*
CN1E	CN1B	-6,04167	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN1	CN1B	-6,45833	2,886751	-2,23723	0,0253*
CN1	CN1C	-6,45833	2,886751	-2,23723	0,0253*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Sb na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
Neat	CN1B	7,29167	2,795085	2,60875	0,0091*
Neat	CN1C	6,87500	2,558832	2,68677	0,0072*
Neat	CN1D	5,77778	1,831266	3,15507	0,0016*
Neat	CN1E	2,66667	1,437591	1,85496	0,0636
Neat	CN1A	1,69697	2,712743	0,62555	0,5316
CN1C	CN1B	-2,41667	2,510846	-0,96249	0,3358
CN1D	CN1C	-2,52778	1,666042	-1,51724	0,1292
CN1D	CN1B	-5,15278	2,182633	-2,36081	0,0182*
CN1B	CN1A	-5,31439	2,745896	-1,93540	0,0529
CN1E	CN1D	-5,77778	1,809068	-3,19379	0,0014*
CN1C	CN1A	-6,27273	2,623466	-2,39101	0,0168*
CN1E	CN1A	-6,78788	2,700686	-2,51339	0,0120*
CN1D	CN1A	-7,17172	2,355895	-3,04416	0,0023*
CN1E	CN1B	-7,29167	2,784417	-2,61874	0,0088*
CN1E	CN1C	-7,29167	2,547174	-2,86265	0,0042*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Se na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1E	CN1B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN1D	CN1B	6,90278	2,736076	2,52288	0,0116*
CN1E	CN1A	6,78788	2,724746	2,49120	0,0127*
CN1C	CN1B	6,25000	2,886751	2,16506	0,0304*
CN1D	CN1A	5,65657	2,659080	2,12726	0,0334*
CN1E	CN1C	5,62500	2,886751	1,94856	0,0513
CN1C	CN1A	4,79167	2,831104	1,69251	0,0905
CN1D	CN1C	3,20833	2,736076	1,17260	0,2410
CN1E	CN1D	2,22222	2,403701	0,92450	0,3552
CN1	CN1B	1,45833	2,886751	0,50518	0,6134
CN1	CN1A	0,00000	2,724746	0,00000	1,0000
CN1B	CN1A	-1,48106	2,831104	-0,52314	0,6009
CN1	CN1E	-2,66667	1,527525	-1,74574	0,0809
CN1	CN1C	-3,12500	2,886751	-1,08253	0,2790
CN1	CN1D	-3,55556	2,403701	-1,47920	0,1391

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Sn na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1D	5,33333	2,403701	2,21880	0,0265*
CN1	CN1E	2,66667	1,527525	1,74574	0,0809
CN1	CN1C	1,45833	2,886751	0,50518	0,6134
CN1	CN1B	0,20833	2,886751	0,07217	0,9425
CN1E	CN1C	0,00000	2,886751	0,00000	1,0000
CN1E	CN1D	-1,77778	2,403701	-0,73960	0,4595
CN1D	CN1C	-2,04167	2,736076	-0,74620	0,4555
CN1C	CN1B	-4,08333	2,886751	-1,41451	0,1572
CN1	CN1A	-5,09091	2,724746	-1,86840	0,0617
CN1E	CN1A	-6,78788	2,724746	-2,49120	0,0127*
CN1E	CN1B	-7,29167	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1B	CN1A	-8,27652	2,831104	-2,92342	0,0035*
CN1C	CN1A	-8,45076	2,831104	-2,98497	0,0028*
CN1D	CN1B	-9,23611	2,736076	-3,37568	0,0007*
CN1D	CN1A	-9,89899	2,659080	-3,72271	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Sr na amostra C1

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN1	CN1D	4,8889	2,403701	2,03390	0,0420*
CN1	CN1E	2,6667	1,437591	1,85496	0,0636
CN1C	CN1B	1,2500	2,886751	0,43301	0,6650
CN1E	CN1D	-5,7778	2,386833	-2,42069	0,0155*
CN1E	CN1A	-6,7879	2,712743	-2,50222	0,0123*
CN1	CN1A	-6,7879	2,724746	-2,49120	0,0127*
CN1E	CN1B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1E	CN1C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN1	CN1B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1	CN1C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN1C	CN1A	-9,1477	2,831104	-3,23115	0,0012*
CN1B	CN1A	-9,3220	2,831104	-3,29270	0,0010*
CN1D	CN1A	-9,8990	2,659080	-3,72271	0,0002*
CN1D	CN1B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN1D	CN1C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

B. Resultado do teste para a amostra C2

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Al na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN2	CN2D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN2	CN2A	5,2083	2,886751	1,80422	0,0712
CN2D	CN2B	-1,2639	2,736076	-0,46193	0,6441
CN2D	CN2A	-9,6250	2,736076	-3,51781	0,0004*
CN2B	CN2A	-10,5833	2,886751	-3,66617	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Bi na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2B	CN2A	4,2500	2,886124	1,47256	0,1409
CN2	CN2D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN2	CN2A	-6,0417	2,834734	-2,13130	0,0331*
CN2	CN2B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN2D	CN2A	-8,6528	2,533114	-3,41587	0,0006*
CN2D	CN2B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ca na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2B	6,4583	2,886751	2,23723	0,0253*
CN2	CN2D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN2	CN2A	-5,6250	2,886751	-1,94856	0,0513
CN2D	CN2A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN2D	CN2B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN2B	CN2A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Fe na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN2	CN2D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN2	CN2A	2,2917	2,886751	0,79386	0,4273
CN2D	CN2B	-2,2361	2,736076	-0,81727	0,4138
CN2D	CN2A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN2B	CN2A	-11,4167	2,886751	-3,95485	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento P na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2D	CN2B	9,43056	2,736076	3,44674	0,0006*
CN2	CN2B	6,87500	2,886751	2,38157	0,0172*
CN2D	CN2A	5,73611	2,736076	2,09647	0,0360*
CN2	CN2A	2,29167	2,886751	0,79386	0,4273
CN2	CN2D	-1,33333	2,403701	-0,55470	0,5791
CN2B	CN2A	-9,91667	2,886751	-3,43523	0,0006*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Pd no na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN2B	CN2A	-3,7500	2,886751	-1,29904	0,1939
CN2	CN2A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN2	CN2B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN2D	CN2A	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN2D	CN2B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Li na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN2	CN2B	1,4583	2,886751	0,50518	0,6134
CN2	CN2A	-4,7917	2,886751	-1,65988	0,0969
CN2B	CN2A	-8,2500	2,886751	-2,85788	0,0043*
CN2D	CN2B	-9,8194	2,736076	-3,58888	0,0003*
CN2D	CN2A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mn no cabelo C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN2D	CN2B	5,3472	2,736076	1,95434	0,0507
CN2	CN2D	4,8889	2,403701	2,03390	0,0420*
CN2	CN2A	-4,3750	2,886751	-1,51554	0,1296
CN2D	CN2A	-10,2083	2,736076	-3,73101	0,0002*
CN2B	CN2A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mg na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN2	CN2B	-2,7083	2,886751	-0,93819	0,3481
CN2	CN2A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN2D	CN2A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN2D	CN2B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN2B	CN2A	-11,4167	2,886751	-3,95485	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Na na amostra C2

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN2	CN2D	-1,7778	1,831266	-0,97079	0,3317
CN2B	CN2A	-3,4167	2,886751	-1,18357	0,2366
CN2	CN2A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN2	CN2B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN2D	CN2A	-10,4028	2,704805	-3,84604	0,0001*
CN2D	CN2B	-10,4028	2,704805	-3,84604	0,0001*

C. Resultado do teste para a amostra C3

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Al na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3B	10,2500	2,886751	3,55070	0,0004*
CN3D	CN3B	9,8194	2,736076	3,58888	0,0003*
CN3E	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3C	6,0417	2,886751	2,09289	0,0364*
CN3D	CN3C	2,8194	2,736076	1,03047	0,3028
CN3	CN3E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN3	CN3D	1,3333	2,403701	0,55470	0,5791
CN3	CN3A	0,2083	2,886751	0,07217	0,9425
CN3E	CN3C	-0,2083	2,886751	-0,07217	0,9425
CN3D	CN3A	-0,2917	2,736076	-0,10660	0,9151
CN3E	CN3D	-1,3333	2,403701	-0,55470	0,5791
CN3E	CN3A	-2,2917	2,886751	-0,79386	0,4273
CN3C	CN3A	-4,0833	2,886751	-1,41451	0,1572
CN3B	CN3A	-10,5833	2,886751	-3,66617	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Bi na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3B	5,9167	2,864703	2,06537	0,0389*
CN3C	CN3A	0,0833	2,886751	0,02887	0,9770
CN3	CN3E	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3E	CN3D	-0,4444	1,154701	-0,38490	0,7003
CN3	CN3D	-0,4444	1,154701	-0,38490	0,7003
CN3E	CN3B	-3,5417	2,558832	-1,38410	0,1663
CN3	CN3B	-3,5417	2,558832	-1,38410	0,1663
CN3D	CN3B	-4,5694	2,296586	-1,98967	0,0466*
CN3B	CN3A	-5,7500	2,864703	-2,00719	0,0447*
CN3E	CN3A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3E	CN3C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3D	CN3A	-9,6250	2,660409	-3,61786	0,0003*
CN3D	CN3C	-10,4028	2,660409	-3,91022	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ca na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3B	11,7500	2,886751	4,07032	<0,0001*
CN3E	CN3D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN3	CN3D	5,3333	2,403701	2,21880	0,0265*
CN3E	CN3B	0,6250	2,886751	0,21651	0,8286
CN3	CN3B	0,2083	2,886751	0,07217	0,9425
CN3	CN3E	-0,6667	1,527525	-0,43644	0,6625
CN3C	CN3A	-1,2500	2,886751	-0,43301	0,6650
CN3	CN3C	-6,8750	2,886751	-2,38157	0,0172*
CN3E	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3E	CN3C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3D	CN3B	-9,8194	2,736076	-3,58888	0,0003*
CN3D	CN3A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN3D	CN3C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN3B	CN3A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Cr na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3D	CN3C	8,45833	2,736076	3,09141	0,0020*
CN3	CN3B	6,87500	2,886751	2,38157	0,0172*
CN3	CN3C	6,04167	2,886751	2,09289	0,0364*
CN3E	CN3C	5,62500	2,886751	1,94856	0,0513
CN3D	CN3B	4,95833	2,736076	1,81221	0,0700
CN3	CN3D	4,44444	2,403701	1,84900	0,0645
CN3	CN3E	2,00000	1,527525	1,30931	0,1904
CN3	CN3A	1,87500	2,886751	0,64952	0,5160
CN3E	CN3B	0,62500	2,886751	0,21651	0,8286
CN3E	CN3D	-1,33333	2,403701	-0,55470	0,5791
CN3D	CN3A	-4,37500	2,736076	-1,59901	0,1098
CN3E	CN3A	-4,79167	2,886751	-1,65988	0,0969
CN3C	CN3B	-6,58333	2,886751	-2,28053	0,0226*
CN3B	CN3A	-8,08333	2,886751	-2,80015	0,0051*
CN3C	CN3A	-9,91667	2,886751	-3,43523	0,0006*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Fe na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3B	11,0833	2,886751	3,83938	0,0001*
CN3D	CN3B	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN3E	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3C	6,8750	2,886751	2,38157	0,0172*
CN3E	CN3C	6,4583	2,886751	2,23723	0,0253*
CN3	CN3D	4,0000	2,403701	1,66410	0,0961
CN3E	CN3D	3,5556	2,403701	1,47920	0,1391
CN3	CN3E	0,0000	1,527525	0,00000	1,0000
CN3E	CN3A	-0,6250	2,886751	-0,21651	0,8286
CN3	CN3A	-0,6250	2,886751	-0,21651	0,8286
CN3D	CN3C	-0,6806	2,736076	-0,24873	0,8036
CN3D	CN3A	-5,7361	2,736076	-2,09647	0,0360*
CN3C	CN3A	-6,7500	2,886751	-2,33827	0,0194*
CN3B	CN3A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ge na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3B	CN3A	11,9167	2,701315	4,41143	<0,0001*
CN3C	CN3A	11,9167	2,701315	4,41143	<0,0001*
CN3D	CN3A	10,4028	2,468974	4,21340	<0,0001*
CN3D	CN3B	9,2361	2,736076	3,37568	0,0007*
CN3D	CN3C	8,2639	2,736076	3,02034	0,0025*
CN3E	CN3A	7,2917	2,019253	3,61107	0,0003*
CN3	CN3A	7,2917	2,019253	3,61107	0,0003*
CN3E	CN3B	5,2083	2,886751	1,80422	0,0712
CN3	CN3B	5,2083	2,886751	1,80422	0,0712
CN3E	CN3C	3,9583	2,886751	1,37121	0,1703
CN3C	CN3B	2,7500	2,886751	0,95263	0,3408
CN3	CN3C	1,4583	2,886751	0,50518	0,6134
CN3	CN3E	-0,6667	1,527525	-0,43644	0,6625
CN3E	CN3D	-1,3333	2,403701	-0,55470	0,5791
CN3	CN3D	-4,4444	2,403701	-1,84900	0,0645

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento I na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3	CN3C	4,7917	2,886751	1,65988	0,0969
CN3	CN3D	4,4444	2,403701	1,84900	0,0645
CN3	CN3B	4,3750	2,886751	1,51554	0,1296
CN3	CN3E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN3C	CN3B	1,4167	2,886751	0,49075	0,6236
CN3D	CN3C	-0,6806	2,736076	-0,24873	0,8036
CN3D	CN3B	-1,4583	2,736076	-0,53300	0,5940
CN3E	CN3D	-2,2222	2,403701	-0,92450	0,3552
CN3E	CN3B	-3,1250	2,886751	-1,08253	0,2790
CN3E	CN3C	-3,9583	2,886751	-1,37121	0,1703
CN3	CN3A	-3,9583	2,886751	-1,37121	0,1703
CN3E	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3D	CN3A	-8,8472	2,736076	-3,23354	0,0012*
CN3B	CN3A	-9,9167	2,886751	-3,43523	0,0006*
CN3C	CN3A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento K na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3B	2,5833	2,886751	0,89489	0,3708
CN3E	CN3D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3	CN3D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3	CN3E	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3E	CN3A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3E	CN3B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3E	CN3C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3D	CN3A	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3D	CN3B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3D	CN3C	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3C	CN3A	-10,7500	2,886751	-3,72391	0,0002*
CN3B	CN3A	-10,9167	2,886751	-3,78164	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Li na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3B	1,0833	2,886751	0,37528	0,7075
CN3E	CN3D	0,0000	2,403701	0,00000	1,0000
CN3	CN3D	0,0000	2,403701	0,00000	1,0000
CN3	CN3E	0,0000	1,527525	0,00000	1,0000
CN3C	CN3A	-5,2500	2,886751	-1,81865	0,0690
CN3B	CN3A	-6,0833	2,886751	-2,10733	0,0351*
CN3E	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3E	CN3B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3E	CN3C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3	CN3B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3	CN3C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3D	CN3A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN3D	CN3B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN3D	CN3C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mg na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3E	CN3D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN3	CN3D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN3C	CN3B	4,7500	2,886751	1,64545	0,0999
CN3	CN3E	-1,3333	1,527525	-0,87287	0,3827
CN3E	CN3B	-5,6250	2,886751	-1,94856	0,0513
CN3	CN3B	-6,0417	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN3C	CN3A	-6,2500	2,886751	-2,16506	0,0304*
CN3E	CN3C	-6,8750	2,886751	-2,38157	0,0172*
CN3	CN3C	-6,8750	2,886751	-2,38157	0,0172*
CN3E	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3D	CN3A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN3D	CN3B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN3D	CN3C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN3B	CN3A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Na na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3E	CN3D	5,7778	1,831266	3,15507	0,0016*
CN3B	CN3A	3,2500	2,886751	1,12583	0,2602
CN3	CN3D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3	CN3E	-2,6667	1,437591	-1,85496	0,0636
CN3C	CN3A	-2,7500	2,886751	-0,95263	0,3408
CN3C	CN3B	-5,9167	2,886751	-2,04959	0,0404*
CN3E	CN3A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3E	CN3B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3E	CN3C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN3	CN3A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3D	CN3A	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3D	CN3B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3D	CN3C	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento P na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3D	CN3B	10,0139	2,736076	3,65995	0,0003*
CN3C	CN3B	9,9167	2,886751	3,43523	0,0006*
CN3D	CN3A	8,4583	2,736076	3,09141	0,0020*
CN3C	CN3A	7,7500	2,886751	2,68468	0,0073*
CN3E	CN3A	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3E	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3A	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3C	6,8750	2,886751	2,38157	0,0172*
CN3E	CN3C	3,5417	2,886751	1,22687	0,2199
CN3	CN3D	3,1111	2,403701	1,29430	0,1956
CN3	CN3E	2,6667	1,527525	1,74574	0,0809
CN3D	CN3C	2,6250	2,736076	0,95940	0,3374
CN3E	CN3D	1,3333	2,403701	0,55470	0,5791
CN3B	CN3A	-5,9167	2,886751	-2,04959	0,0404*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento S na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3A	8,41667	2,886751	2,91562	0,0035*
CN3E	CN3A	4,79167	2,886751	1,65988	0,0969
CN3B	CN3A	4,75000	2,886751	1,64545	0,0999
CN3	CN3A	4,37500	2,886751	1,51554	0,1296
CN3	CN3D	3,55556	2,403701	1,47920	0,1391
CN3E	CN3D	3,11111	2,403701	1,29430	0,1956
CN3C	CN3B	1,91667	2,886751	0,66395	0,5067
CN3E	CN3B	0,62500	2,886751	0,21651	0,8286
CN3	CN3B	-0,20833	2,886751	-0,07217	0,9425
CN3	CN3C	-0,62500	2,886751	-0,21651	0,8286
CN3	CN3E	-0,66667	1,527525	-0,43644	0,6625
CN3E	CN3C	-1,04167	2,886751	-0,36084	0,7182
CN3D	CN3A	-5,73611	2,736076	-2,09647	0,0360*
CN3D	CN3C	-6,12500	2,736076	-2,23861	0,0252*
CN3D	CN3B	-6,51389	2,736076	-2,38074	0,0173*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Se na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3C	CN3A	11,0833	2,886751	3,83938	0,0001*
CN3D	CN3A	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN3D	CN3B	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN3C	CN3B	10,2500	2,886751	3,55070	0,0004*
CN3E	CN3A	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3E	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3A	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3D	2,6667	2,403701	1,10940	0,2673
CN3E	CN3D	2,2222	2,403701	0,92450	0,3552
CN3E	CN3C	1,4583	2,886751	0,50518	0,6134
CN3	CN3C	1,4583	2,886751	0,50518	0,6134
CN3	CN3E	0,0000	1,527525	0,00000	1,0000
CN3D	CN3C	-0,4861	2,736076	-0,17767	0,8590
CN3B	CN3A	-0,7500	2,886751	-0,25981	0,7950

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Sr na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3E	CN3D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3	CN3D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3	CN3E	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN3E	CN3A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3E	CN3B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3E	CN3C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3	CN3C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN3D	CN3A	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3D	CN3B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3D	CN3C	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN3B	CN3A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*
CN3C	CN3A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*
CN3C	CN3B	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento V na amostra C3

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN3D	CN3A	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN3D	CN3B	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN3D	CN3C	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN3E	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3E	CN3C	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3A	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3	CN3C	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN3C	CN3B	6,9167	2,886751	2,39600	0,0166*
CN3E	CN3A	6,8750	2,886751	2,38157	0,0172*
CN3C	CN3A	3,5833	2,886751	1,24130	0,2145
CN3	CN3D	3,1111	2,403701	1,29430	0,1956
CN3	CN3E	2,0000	1,527525	1,30931	0,1904
CN3B	CN3A	-0,7500	2,886751	-0,25981	0,7950
CN3E	CN3D	-1,3333	2,403701	-0,55470	0,5791

D. Resultado do teste para a amostra C4

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ca na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4C	CN4B	11,9167	2,886751	4,12805	<0,0001*
CN4	CN4B	6,8750	2,886751	2,38157	0,0172*
CN4	CN4D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN4	CN4C	-6,0417	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN4	CN4A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN4D	CN4B	-10,0139	2,736076	-3,65995	0,0003*
CN4C	CN4A	-10,0833	2,886751	-3,49297	0,0005*
CN4D	CN4A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4B	CN4A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Fe na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4C	CN4B	11,2500	2,886751	3,89711	<0,0001*
CN4D	CN4B	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN4	CN4B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN4	CN4C	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN4D	CN4C	7,0972	2,736076	2,59394	0,0095*
CN4	CN4D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN4	CN4A	-1,4583	2,886751	-0,50518	0,6134
CN4D	CN4A	-10,0139	2,736076	-3,65995	0,0003*
CN4B	CN4A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*
CN4C	CN4A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ge na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4B	CN4A	11,91667	2,701315	4,411432	<0,0001*
CN4C	CN4A	11,91667	2,701315	4,411432	<0,0001*
CN4D	CN4A	10,40278	2,468974	4,213401	<0,0001*
CN4	CN4A	7,29167	2,019253	3,611072	0,0003*
CN4	CN4B	6,04167	2,886751	2,092895	0,0364*
CN4D	CN4B	5,73611	2,736076	2,096474	0,0360*
CN4	CN4C	3,95833	2,886751	1,371207	0,1703
CN4C	CN4B	3,75000	2,886751	1,299038	0,1939
CN4D	CN4C	2,04167	2,736076	0,746203	0,4555
CN4	CN4D	1,77778	2,403701	0,739600	0,4595

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Li na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4C	CN4B	3,5833	2,886751	1,24130	0,2145
CN4C	CN4A	-1,4167	2,886751	-0,49075	0,6236
CN4	CN4D	-1,7778	2,403701	-0,73960	0,4595
CN4B	CN4A	-2,0833	2,886751	-0,72169	0,4705
CN4	CN4A	-6,4583	2,886751	-2,23723	0,0253*
CN4	CN4B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN4	CN4C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN4D	CN4A	-8,4583	2,736076	-3,09141	0,0020*
CN4D	CN4B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mg na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4C	CN4B	10,0833	2,886751	3,49297	0,0005*
CN4	CN4D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN4	CN4B	-6,0417	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN4	CN4A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN4	CN4C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN4D	CN4A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4C	CN4A	-11,4167	2,886751	-3,95485	<0,0001*
CN4B	CN4A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Na na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4B	CN4A	3,5833	2,886751	1,24130	0,2145
CN4C	CN4A	1,5833	2,886751	0,54848	0,5834
CN4	CN4D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN4C	CN4B	-4,7500	2,886751	-1,64545	0,0999
CN4	CN4A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN4	CN4B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN4	CN4C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN4D	CN4A	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN4D	CN4B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN4D	CN4C	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento P na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4C	CN4B	10,0833	2,886751	3,49297	0,0005*
CN4	CN4D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN4	CN4B	-6,0417	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN4	CN4A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN4	CN4C	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN4D	CN4A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4C	CN4A	-11,4167	2,886751	-3,95485	<0,0001*
CN4B	CN4A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Sr na amostra C4

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN4	CN4D	-5,7778	2,386833	-2,42069	0,0155*
CN4	CN4A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN4	CN4B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN4	CN4C	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN4D	CN4A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4D	CN4C	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN4B	CN4A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*
CN4C	CN4A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*
CN4C	CN4B	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

E. Resultado do teste para a amostra C5

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Al na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	9,43056	2,736076	3,44674	0,0006*
CN5D	CN5A	9,23611	2,736076	3,37568	0,0007*
CN5	CN5A	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN5	CN5B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN5	CN5D	2,66667	2,403701	1,10940	0,2673
CN5B	CN5A	-4,91667	2,886751	-1,70318	0,0885

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento As na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	6,51389	2,735187	2,38151	0,0172*
CN5	CN5B	4,79167	2,884173	1,66137	0,0966
CN5D	CN5A	-0,29167	2,736076	-0,10660	0,9151
CN5	CN5D	-0,44444	2,403701	-0,18490	0,8533
CN5	CN5A	-1,87500	2,886751	-0,64952	0,5160
CN5B	CN5A	-7,75000	2,886124	-2,68526	0,0072*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Au na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	6,51389	2,736076	2,38074	0,0173*
CN5B	CN5A	5,91667	2,810436	2,10525	0,0353*
CN5D	CN5A	5,15278	2,627314	1,96123	0,0499*
CN5	CN5A	3,54167	2,558832	1,38410	0,1663
CN5	CN5B	1,45833	2,886751	0,50518	0,6134
CN5	CN5D	-2,22222	2,403701	-0,92450	0,3552

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Be na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	4,37500	2,736076	1,59901	0,1098
CN5D	CN5A	1,45833	2,736076	0,53300	0,5940
CN5	CN5B	0,20833	2,886751	0,07217	0,9425
CN5	CN5A	-1,87500	2,886751	-0,64952	0,5160
CN5	CN5D	-2,22222	2,403701	-0,92450	0,3552
CN5B	CN5A	-2,91667	2,886751	-1,01036	0,3123

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ca na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5B	5,62500	2,886751	1,94856	0,0513
CN5	CN5D	5,33333	2,403701	2,21880	0,0265*
CN5D	CN5B	2,81944	2,736076	1,03047	0,3028
CN5	CN5A	-3,12500	2,886751	-1,08253	0,2790
CN5D	CN5A	-5,93056	2,736076	-2,16754	0,0302*
CN5B	CN5A	-7,91667	2,886751	-2,74241	0,0061*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Cr na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5A	7,68056	2,736076	2,80714	0,0050*
CN5D	CN5B	5,93056	2,736076	2,16754	0,0302*
CN5	CN5A	4,79167	2,886751	1,65988	0,0969
CN5	CN5B	3,54167	2,886751	1,22687	0,2199
CN5	CN5D	-0,88889	2,403701	-0,36980	0,7115
CN5B	CN5A	-1,75000	2,886751	-0,60622	0,5444

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Fe na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	10,4028	2,736076	3,80208	0,0001*
CN5D	CN5A	9,2361	2,736076	3,37568	0,0007*
CN5	CN5A	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN5	CN5B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN5	CN5D	4,0000	2,403701	1,66410	0,0961
CN5B	CN5A	-8,9167	2,886751	-3,08882	0,0020*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Ge na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5A	9,62500	2,627314	3,66344	0,0002*
CN5B	CN5A	8,41667	2,810436	2,99479	0,0027*
CN5D	CN5B	7,29167	2,736076	2,66501	0,0077*
CN5	CN5A	6,04167	2,558832	2,36110	0,0182*
CN5	CN5B	3,54167	2,886751	1,22687	0,2199

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5D	-2,66667	2,403701	-1,10940	0,2673

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento K na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5D	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN5	CN5A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN5	CN5B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN5B	CN5A	-7,5833	2,886751	-2,62694	0,0086*
CN5D	CN5A	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*
CN5D	CN5B	-10,4028	2,627314	-3,95947	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Li na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN5	CN5B	-2,2917	2,886751	-0,79386	0,4273
CN5	CN5A	-3,5417	2,886751	-1,22687	0,2199
CN5B	CN5A	-5,5833	2,886751	-1,93412	0,0531
CN5D	CN5A	-7,0972	2,736076	-2,59394	0,0095*
CN5D	CN5B	-10,2083	2,736076	-3,73101	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mn na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	7,48611	2,736076	2,73608	0,0062*
CN5D	CN5A	3,79167	2,736076	1,38580	0,1658
CN5	CN5B	3,12500	2,886751	1,08253	0,2790
CN5	CN5A	-1,87500	2,886751	-0,64952	0,5160
CN5	CN5D	-3,55556	2,403701	-1,47920	0,1391
CN5B	CN5A	-3,91667	2,886751	-1,35677	0,1749

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mg na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5D	5,7778	2,403701	2,40370	0,0162*
CN5	CN5A	-6,0417	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN5	CN5B	-6,0417	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN5B	CN5A	-6,4167	2,886751	-2,22280	0,0262*
CN5D	CN5A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN5D	CN5B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Na na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5B	CN5A	4,9167	2,886751	1,70318	0,0885
CN5	CN5D	-2,8889	2,399495	-1,20396	0,2286
CN5	CN5A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN5	CN5B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN5D	CN5A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN5D	CN5B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento P na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5A	10,01389	2,736076	3,659946	0,0003*
CN5D	CN5B	9,62500	2,736076	3,517812	0,0004*
CN5	CN5A	7,29167	2,886751	2,525907	0,0115*
CN5	CN5B	6,87500	2,886751	2,381570	0,0172*
CN5B	CN5A	5,41667	2,886751	1,876388	0,0606
CN5	CN5D	0,88889	2,403701	0,369800	0,7115

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Pd na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5D	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN5B	CN5A	-2,91667	2,701315	-1,07972	0,2803
CN5	CN5A	-3,54167	2,558832	-1,38410	0,1663
CN5	CN5B	-3,54167	2,558832	-1,38410	0,1663
CN5D	CN5A	-5,15278	2,182633	-2,36081	0,0182*
CN5D	CN5B	-5,15278	2,182633	-2,36081	0,0182*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento S na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5B	CN5A	7,58333	2,886751	2,62694	0,0086*
CN5D	CN5A	3,79167	2,736076	1,38580	0,1658
CN5	CN5A	2,29167	2,886751	0,79386	0,4273
CN5	CN5D	0,00000	2,403701	0,00000	1,0000
CN5	CN5B	-5,62500	2,886751	-1,94856	0,0513
CN5D	CN5B	-8,84722	2,736076	-3,23354	0,0012*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Se na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	10,0139	2,736076	3,65995	0,0003*
CN5D	CN5A	9,2361	2,736076	3,37568	0,0007*
CN5	CN5B	5,6250	2,886751	1,94856	0,0513
CN5	CN5A	5,2083	2,886751	1,80422	0,0712
CN5B	CN5A	3,9167	2,886751	1,35677	0,1749

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5D	-1,7778	2,403701	-0,73960	0,4595

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Sr na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5	CN5D	4,8889	2,403701	2,03390	0,0420*
CN5	CN5A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN5	CN5B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN5B	CN5A	-7,4167	2,886751	-2,56921	0,0102*
CN5D	CN5A	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*
CN5D	CN5B	-10,4028	2,736076	-3,80208	0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento V na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5B	10,20833	2,736076	3,731013	0,0002*
CN5D	CN5A	9,81944	2,736076	3,588879	0,0003*
CN5	CN5A	7,29167	2,886751	2,525907	0,0115*
CN5	CN5B	7,29167	2,886751	2,525907	0,0115*
CN5B	CN5A	3,08333	2,886751	1,068098	0,2855
CN5	CN5D	2,22222	2,403701	0,924500	0,3552

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Zn na amostra C5

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN5D	CN5A	9,430556	2,736076	3,446745	0,0006*
CN5D	CN5B	9,236111	2,736076	3,375678	0,0007*
CN5	CN5A	7,291667	2,886751	2,525907	0,0115*
CN5	CN5B	7,291667	2,886751	2,525907	0,0115*
CN5	CN5D	1,777778	2,403701	0,739600	0,4595
CN5B	CN5A	1,250000	2,886751	0,433013	0,6650

F. Resultado do teste para a amostra C6

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Fe na amostra C6

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN6	CN6B	7,2917	2,886751	2,52591	0,0115*
CN6	CN6A	4,7917	2,886751	1,65988	0,0969
CN6B	CN6A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento K no cabelo C6

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN6	CN6A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN6	CN6B	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN6B	CN6A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mg no cabelo C6

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN6	CN6A	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN6	CN6B	-7,2917	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN6B	CN6A	-11,9167	2,886751	-4,12805	<0,0001*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Pd no cabelo C6

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN6	CN6B	0,0000	0,000000	0,00000	1,0000
CN6	CN6A	-7,2917	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN6B	CN6A	-11,9167	2,701315	-4,41143	<0,0001*

G. Resultado do teste para a amostra C7

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Al na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7D	CN7A	8,212500	2,532291	3,243110	0,0012*
CN7E	CN7B	7,291667	2,886751	2,525907	0,0115*
CN7	CN7B	7,291667	2,886751	2,525907	0,0115*
CN7E	CN7A	6,283333	2,563635	2,450947	0,0142*
CN7	CN7A	6,283333	2,563635	2,450947	0,0142*
CN7D	CN7B	6,145833	2,700309	2,275974	0,0228*
CN7E	CN7D	5,270833	2,245366	2,347428	0,0189*
CN7	CN7D	5,270833	2,245366	2,347428	0,0189*
CN7	CN7E	2,666667	1,527525	1,745743	0,0809
CN7B	CN7A	1,741667	2,780388	0,626411	0,5310

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento As na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7D	CN7B	7,60417	2,700309	2,81604	0,0049*
CN7	CN7B	3,54167	2,886751	1,22687	0,2199
CN7E	CN7B	2,70833	2,886751	0,93819	0,3481
CN7D	CN7A	0,00000	2,532291	0,00000	1,0000
CN7	CN7E	0,00000	1,527525	0,00000	1,0000
CN7	CN7A	-2,38333	2,563635	-0,92967	0,3525
CN7E	CN7D	-2,97917	2,245366	-1,32681	0,1846
CN7	CN7D	-2,97917	2,245366	-1,32681	0,1846
CN7E	CN7A	-3,68333	2,563635	-1,43676	0,1508
CN7B	CN7A	-8,70833	2,780388	-3,13206	0,0017*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Au na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7B	CN7A	9,44167	2,780388	3,39581	0,0007*
CN7	CN7A	5,85000	2,563635	2,28192	0,0225*
CN7D	CN7A	5,73750	2,532291	2,26573	0,0235*
CN7	CN7B	3,95833	2,886751	1,37121	0,1703
CN7E	CN7A	3,68333	2,563635	1,43676	0,1508
CN7	CN7D	3,43750	2,245366	1,53093	0,1258
CN7	CN7E	0,66667	1,527525	0,43644	0,6625
CN7E	CN7D	0,00000	2,245366	0,00000	1,0000
CN7D	CN7B	-0,52083	2,700309	-0,19288	0,8471
CN7E	CN7B	-1,04167	2,886751	-0,36084	0,7182

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Be na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7E	CN7B	6,04167	2,795085	2,16153	0,0307*
CN7	CN7B	6,04167	2,795085	2,16153	0,0307*
CN7E	CN7D	3,89583	2,224860	1,75105	0,0799
CN7	CN7D	3,89583	2,224860	1,75105	0,0799
CN7	CN7A	3,25000	2,528175	1,28551	0,1986
CN7E	CN7A	2,81667	2,528175	1,11411	0,2652
CN7D	CN7B	0,72917	2,575611	0,28310	0,7771
CN7	CN7E	0,66667	1,527525	0,43644	0,6625
CN7D	CN7A	-1,46250	2,458030	-0,59499	0,5519
CN7B	CN7A	-2,47500	2,647700	-0,93477	0,3499

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Hg na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7B	CN7A	9,44167	2,780388	3,39581	0,0007*
CN7	CN7A	5,85000	2,563635	2,28192	0,0225*
CN7D	CN7A	5,73750	2,532291	2,26573	0,0235*
CN7	CN7B	3,95833	2,886751	1,37121	0,1703
CN7E	CN7A	3,68333	2,563635	1,43676	0,1508
CN7	CN7D	3,43750	2,245366	1,53093	0,1258
CN7	CN7E	0,66667	1,527525	0,43644	0,6625
CN7E	CN7D	0,00000	2,245366	0,00000	1,0000
CN7D	CN7B	-0,52083	2,700309	-0,19288	0,8471
CN7E	CN7B	-1,04167	2,886751	-0,36084	0,7182

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento K na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7E	CN7D	5,27083	1,765408	2,98562	0,0028*
CN7	CN7D	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN7	CN7E	-2,66667	1,437591	-1,85496	0,0636
CN7E	CN7A	-6,28333	2,563635	-2,45095	0,0142*
CN7	CN7A	-6,28333	2,549510	-2,46453	0,0137*
CN7E	CN7B	-7,29167	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN7	CN7B	-7,29167	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN7D	CN7A	-8,88750	2,420045	-3,67245	0,0002*
CN7D	CN7B	-9,89583	2,613645	-3,78622	0,0002*
CN7B	CN7A	-9,99167	2,780388	-3,59362	0,0003*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Li na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7E	CN7D	5,27083	2,245366	2,34743	0,0189*
CN7	CN7D	5,27083	2,245366	2,34743	0,0189*
CN7	CN7E	-2,66667	1,527525	-1,74574	0,0809
CN7E	CN7A	-4,98333	2,563635	-1,94385	0,0519
CN7	CN7A	-5,41667	2,563635	-2,11289	0,0346*
CN7E	CN7B	-7,29167	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN7	CN7B	-7,29167	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN7B	CN7A	-8,52500	2,780388	-3,06612	0,0022*
CN7D	CN7A	-8,88750	2,532291	-3,50967	0,0004*
CN7D	CN7B	-9,89583	2,700309	-3,66470	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mg na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7E	CN7B	6,87500	2,886751	2,38157	0,0172*
CN7E	CN7D	5,27083	2,245366	2,34743	0,0189*
CN7	CN7D	5,27083	2,245366	2,34743	0,0189*
CN7	CN7B	-0,20833	2,886751	-0,07217	0,9425
CN7E	CN7A	-0,21667	2,563635	-0,08452	0,9326
CN7	CN7E	-2,66667	1,527525	-1,74574	0,0809
CN7	CN7A	-5,85000	2,563635	-2,28192	0,0225*
CN7B	CN7A	-7,05833	2,780388	-2,53861	0,0111*
CN7D	CN7A	-8,88750	2,532291	-3,50967	0,0004*
CN7D	CN7B	-9,06250	2,700309	-3,35610	0,0008*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Mo na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7B	CN7A	8,891667	2,780388	3,197995	0,0014*
CN7D	CN7A	8,887500	2,532291	3,509667	0,0004*
CN7D	CN7B	8,020833	2,700309	2,970339	0,0030*
CN7	CN7B	6,875000	2,886751	2,381570	0,0172*
CN7E	CN7A	6,283333	2,563635	2,450947	0,0142*
CN7	CN7A	6,283333	2,563635	2,450947	0,0142*
CN7E	CN7B	6,041667	2,886751	2,092895	0,0364*
CN7	CN7D	5,270833	2,245366	2,347428	0,0189*
CN7E	CN7D	2,979167	2,245366	1,326807	0,1846
CN7	CN7E	2,666667	1,527525	1,745743	0,0809

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Na na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7E	CN7B	6,04167	2,795085	2,16153	0,0307*
CN7	CN7B	6,04167	2,795085	2,16153	0,0307*
CN7E	CN7D	3,89583	2,224860	1,75105	0,0799
CN7	CN7D	3,89583	2,224860	1,75105	0,0799
CN7	CN7A	3,25000	2,528175	1,28551	0,1986
CN7E	CN7A	2,81667	2,528175	1,11411	0,2652
CN7D	CN7B	0,72917	2,575611	0,28310	0,7771
CN7	CN7E	0,66667	1,527525	0,43644	0,6625
CN7D	CN7A	-1,46250	2,458030	-0,59499	0,5519
CN7B	CN7A	-2,47500	2,647700	-0,93477	0,3499

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento P na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7D	CN7B	9,47917	2,700309	3,51040	0,0004*
CN7E	CN7B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN7	CN7B	7,29167	2,886751	2,52591	0,0115*
CN7	CN7D	5,27083	2,245366	2,34743	0,0189*
CN7	CN7A	3,68333	2,563635	1,43676	0,1508
CN7	CN7E	2,66667	1,527525	1,74574	0,0809
CN7D	CN7A	2,58750	2,532291	1,02180	0,3069
CN7E	CN7D	2,06250	2,245366	0,91856	0,3583
CN7E	CN7A	1,95000	2,563635	0,76064	0,4469
CN7B	CN7A	-5,77500	2,780388	-2,07705	0,0378*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Pd na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7B	CN7A	0,27500	2,780388	0,09891	0,9212
CN7E	CN7D	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN7	CN7D	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN7	CN7E	0,00000	0,000000	0,00000	1,0000
CN7E	CN7A	-6,28333	2,549510	-2,46453	0,0137*
CN7	CN7A	-6,28333	2,549510	-2,46453	0,0137*
CN7E	CN7B	-7,29167	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN7	CN7B	-7,29167	2,876423	-2,53498	0,0112*
CN7D	CN7A	-8,88750	2,420045	-3,67245	0,0002*
CN7D	CN7B	-9,89583	2,613645	-3,78622	0,0002*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento S na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7E	CN7D	4,35417	2,245366	1,93918	0,0525
CN7	CN7D	2,97917	2,245366	1,32681	0,1846
CN7E	CN7B	0,20833	2,886751	0,07217	0,9425
CN7	CN7E	-1,33333	1,527525	-0,87287	0,3827
CN7E	CN7A	-4,11667	2,563635	-1,60579	0,1083
CN7	CN7B	-6,04167	2,886751	-2,09289	0,0364*
CN7	CN7A	-6,28333	2,563635	-2,45095	0,0142*
CN7B	CN7A	-6,87500	2,780388	-2,47268	0,0134*
CN7D	CN7A	-8,43750	2,532291	-3,33196	0,0009*
CN7D	CN7B	-8,43750	2,700309	-3,12464	0,0018*

Resultado do teste Wilcoxon para o elemento Sr na amostra C7

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value
CN7E	CN7D	5,27083	2,245366	2,34743	0,0189*
CN7	CN7D	5,27083	2,245366	2,34743	0,0189*
CN7	CN7E	-2,66667	1,527525	-1,74574	0,0809
CN7E	CN7A	-6,28333	2,563635	-2,45095	0,0142*
CN7	CN7A	-6,28333	2,563635	-2,45095	0,0142*
CN7B	CN7A	-6,69167	2,780388	-2,40674	0,0161*
CN7E	CN7B	-7,29167	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN7	CN7B	-7,29167	2,886751	-2,52591	0,0115*
CN7D	CN7A	-8,88750	2,532291	-3,50967	0,0004*
CN7D	CN7B	-9,89583	2,700309	-3,66470	0,0002*