

RAE – CEA – 9905
RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE O
PROJETO: “EFEITOS DA POLUIÇÃO SOBRE AS
TROCAS GASOSAS DE INDIVÍDUOS JOVENS DE
***Tibouchina pulchra* COGN. (MELASTOMATACEÆ)**
NA REGIÃO DE CUBATÃO, SP”.

Elisete da Conceição Quintaneiro Aubin
Sílvia Nagib Elia
Gizelson Pereira Alencar

CENTRO DE ESTATÍSTICA APLICADA**RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA – NÚMERO 9905
– CÓDIGO 99P05**

TÍTULO: Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Efeitos da poluição sobre as trocas gasosas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceæ) na região de Cubatão, SP”.

PESQUISADORA: Regina Maria de Moraes

ORIENTADOR: Welington Braz Carvalho Delitti

INSTITUIÇÃO: Instituto de Biociências (IB - USP)

FINALIDADE: Tese de doutorado

RESPONSÁVEIS PELA ANÁLISE

Elisete da Conceição Quintaneiro Aubin

Sílvia Nagib Elia

Gizelton Pereira Alencar

REFERÊNCIA DESTE TRABALHO

AUBIN, E. C. Q., ELIAN, S. N. e ALENCAR, G. P. **Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Efeitos da poluição sobre as trocas gasosas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceæ) na região de Cubatão, SP”**. São Paulo, IME-USP, 1999. (RAE-CEA-9905)

FICHA TÉCNICA

BIBLIOGRAFIA

BMDP Statistical Software Manual. Versão 7.0. Volume 1. (1992). Los Angeles: University Press of California & John Wiley and Sons. 678p.

BUSSAB, W. O. e MORETTIN, P. A. (1987). **Estatística Básica**. 4^a ed. São Paulo: Atual Editora, 321p.

CONOVER, W. J. (1980). **Practical Nonparametric Statistics**. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 493p.

CUNHA, A. M. S. (1978). **Não normalidade e testes de hipóteses sobre variâncias e médias**. São Paulo. 97p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Matemática e Estatística – USP.

JOHNSON, R. A. and WICHERN, D. W. (1992). **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall. 642p.

MINITAB for Windows ®: reference manual, versão 10.0 (1996). USA: Minitab Corporation. 940p.

MONTGOMERY, D. C. and PECK, E. A. (1992). **Introduction to Linear Regression Analysis**. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons. 527p.

NETER, J., KUTNER, M. H., NACHTSHEIM, C. J. and WASSERMAN, W. (1996). **Applied Linear Statistical Analysis**. 4th ed. Chicago: Irwin. 1408p.

PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

BMDP New System *for Windows*®, versão 1.1.

Microsoft Word *for Windows*®, versão 7.0.

Microsoft Excel *for Windows*®, versão 7.0.

MINITAB *for Windows*®, versão 11.12.

TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS [entre parênteses encontra-se a classificação ISI]

Análise Descritiva Unidimensional (03:010)

Análise de Componentes Principais (06:070)

Análise de Conglomerados (06:120)

Análise de Regressão Clássica (07:020)

Análise de Variância com efeitos fixos (08:010)

Análise de Variância Não Paramétrica (08:050)

Comparações Múltiplas (08:090)

Testes de Hipóteses Paramétricos (05:010)

Testes de Hipóteses Não Paramétricos (05:010)

ÁREA DE APLICAÇÃO

Ciências do Ambiente e Ecologia (14:060)

ÍNDICE

Resumo.....	6
1. Introdução	7
2. Objetivos	8
3. Descrição do Experimento	8
3.1 Processo de Obtenção dos Dados	8
3.2 Descrição das Variáveis	9
4. Análise Descritiva.....	11
4.1. Análise das Variáveis.....	11
4.2. Análise de Componentes Principais	14
4.3. Análise de Conglomerados.....	16
5. Análise Inferencial.....	17
5.1. Comparação de Médias.....	17
5.1.1. Análise para o Período 1.....	18
5.1.2. Análise para o Período 2.....	22
5.2. Análise de Regressão.....	26
5.2.1. Análise de Regressão para Peso Seco Total.....	26
5.2.2. Análise de Regressão para Fotossíntese	30
6. Conclusões	34
Apêndice A – Tabelas	36
Apêndice B – Gráficos	42
Apêndice C – Correlações	48
Apêndice D – Análise de Agrupamentos para Variáveis.....	51
Apêndice E – Análise de Componentes Principais	53
Apêndice F – Gráficos – Análise de Resíduos.....	56

Resumo

Este trabalho tem por objetivo analisar relações entre variáveis medidas na espécie *Tibouchina pulchra* (manacá-da-serra), da família Melastomataceæ, segundo áreas, caracterizadas por níveis diferentes de poluição do ar.

Em dois períodos, de três meses cada, foram colocadas seis mudas jovens de manacá-da-serra em um ponto de cada uma das três áreas: Vale do Rio Pilões, Via Caminho do Mar e Vale do Rio Mogi, localizados em Cubatão, SP. A primeira destas áreas é considerada área de referência por apresentar níveis aceitáveis de poluição, enquanto as outras apresentam níveis moderado e alto de poluição, respectivamente.

Detectaram-se diferenças entre as médias populacionais, segundo as áreas para Fotossíntese, Fluoreto, Nitrogênio, Ácido Ascórbico e Peso Seco Total.

Finalizando, estudamos a existência de relação entre algumas variáveis. O Peso Seco Total não apresentou relação linear com as variáveis relacionadas à poluição (Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre) e a Fotossíntese. Por sua vez, a Fotossíntese apresentou, em cada período, uma relação linear com o Nitrogênio.

1. Introdução

Acredita-se que a poluição do ar pode exercer influência sobre a fotossíntese. Como é sabido, o pólo industrial de Cubatão é uma região que possui níveis elevados de vários poluentes. Observa-se, também, que a Floresta Atlântica ao redor desta área apresenta degradação.

Uma maneira de estudar a influência da poluição do ar é através do monitoramento biológico, que é definido como qualquer método que faz uso de reações da vida para identificar ou caracterizar mudanças nas condições ambientais induzidas pela ação humana. O presente trabalho consiste em um monitoramento biológico na região citada.

Este estudo busca avaliar o impacto da poluição aérea sobre as trocas gasosas de CO₂ (fotossíntese) em regiões com excesso de poluição. A espécie escolhida para análise foi a *Tibouchina pulchra*, conhecida por manacá-da-serra, da família Melastomataceae, devido à abundância com que aparece na Serra do Mar. Três regiões de Cubatão, distintas quanto ao tipo e nível de poluição, foram escolhidas: Vale do Rio Mogi (VM), onde se localizam indústrias de fertilizantes e cimento e indústrias siderúrgicas, que é intensamente poluída por ácido fluorídrico, materiais particulados, amônia, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio; Via Caminho do Mar (CM), onde se encontram indústrias petroquímicas, e é afetada por poluentes orgânicos, ozônio, peroxiacetilnitrato, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio; e Vale do Rio Pilões (RP), área de referência, por ser considerada com poluição desprezível. Dentre as duas primeiras, a área VM é a mais poluída.

Dois períodos de estudo foram considerados:

Período 1: 1º de abril a 1º de julho de 1998;

Período 2: 15 de julho a 15 de outubro de 1998,

e em ambos foram realizados experimentos idênticos, com diferentes unidades experimentais (plantas).

2. Objetivos

Este trabalho tem dois objetivos principais.

Deseja-se inicialmente comparar as médias de algumas variáveis medidas nas plantas, para as três áreas descritas. Como as áreas diferem quanto ao nível de poluição, estaremos então analisando a existência de efeito desse fator nas médias das variáveis de interesse.

O segundo objetivo é verificar se algumas dessas variáveis estão associadas. Nesse caso, procuraremos construir relações entre variáveis através do ajuste de modelos adequados.

3. Descrição do Experimento

3.1 Processo de Obtenção dos Dados

Em cada uma das 3 áreas, VM, CM e RP, e em cada período de estudo, foram colocadas 6 mudas de plantas jovens de *Tibouchina pulchra*, com idade e tamanho semelhantes, adquiridas no viveiro da CESP - Companhia Energética de São Paulo, em Paraibuna, SP, sendo que as mudas foram obtidas a partir de sementes coletadas em matrizes identificadas. As plântulas¹ originadas por tais sementes foram transplantadas em tubetes com substrato artificial e padronizado da Eucatex. No Instituto de Botânica de São Paulo, as mudas provenientes dessas plântulas foram replantadas em vasos de 6 litros de capacidade, utilizando-se solo de floresta, coletado na sede do próprio instituto. No plantio das mudas, foi acrescentada uma mistura de vermiculita e substrato de casca de Pinus Plantmax da Eucatex, na proporção 3:1. Só então os vasos foram levados para as áreas definidas pelo estudo.

A exposição nas áreas era feita em viveiros construídos em alumínio e cobertos com sombrite de 50%² para evitar a luminosidade muito forte. Quinzenalmente, as plantas eram adubadas com 150 ml de solução nutriente e o suprimento de água era feito através de processos específicos e perfeitamente controlados. Este procedimento

¹ Plântula é a planta em seu estágio inicial, quando ainda está utilizando as reservas da semente.

² Sombrite de 50% é a tela que permite a passagem de somente 50% da luminosidade total do ambiente.

garantiu a uniformidade de condições de nutrientes, água, luz e solo para todas as plantas.

Após 3 semanas do plantio, as plantas receberam etiquetas de identificação e tiveram medidos a altura e o diâmetro. A altura da planta é medida da base da planta (a partir da parte que é visível acima do solo) até o ponto mais alto da planta. O diâmetro é medido na base do caule que está visível, logo acima do solo.

No final de cada período de exposição, as plantas foram levadas para a área de referência (RP), onde permaneceram 24h para aclimação. A fotossíntese foi medida por um aparelho (sistema portátil de análise de gases por infravermelhos) que determinava as trocas gasosas de gás carbônico e água nas folhas. Posteriormente, em laboratório, foram obtidas as seguintes medidas: conteúdo de clorofila A, clorofila B, de ácido ascórbico, fluoreto e nitrogênio, medidos a partir das folhas desidratadas. Foram obtidas, também, medidas de crescimento: incremento na altura e no diâmetro (diferença entre as medidas no início e no fim do período de observação). Mediram-se ainda as variáveis número de folhas, peso seco das folhas, peso seco do caule e peso seco da raiz, obtidos com as respectivas partes desidratadas das plantas, somente no fim de cada período.

As medidas das quantidades de fósforo, cálcio, magnésio, potássio e enxofre das plantas foram realizadas no CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP, em Piracicaba, SP.

Finalizando, com base em algumas medidas, a pesquisadora construiu um índice específico com o propósito de comparação com outros trabalhos da área.

3.2 Descrição das Variáveis

Neste estudo, foram observadas diversas variáveis, que se encontram divididas em grupos fornecidos pela pesquisadora. Os valores das variáveis químicas (exceto a clorofila A e a clorofila B), poluentes e nutrientes, descritas a seguir, são observados em cada grama de peso seco das folhas, enquanto que os valores das variáveis ácido ascórbico, clorofila A, clorofila B são medidos em cada grama de peso de folhas frescas (não desidratadas).

Variável que mede a intensidade das trocas gasosas de CO₂:

- Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 / (\text{m}^2 \text{ s})$).

Variáveis de crescimento e tamanho:

- Incremento na Altura (cm);
- Incremento no Diâmetro (cm);
- Número de Folhas;
- Peso Seco das Folhas (g);
- Peso Seco do Caule (g);
- Peso Seco da Parte Aérea (g): soma do Peso Seco das Folhas com o Peso Seco do Caule;
- Peso Seco da Raiz (g);
- Peso Seco Total (g): soma do Peso Seco da Parte Aérea com o Peso Seco da Raiz.

Variável bioquímica:

- Ácido Ascórbico (mg).

Variáveis químicas:

- Clorofila A (μg);
- Clorofila B (μg).

Variáveis poluentes:

- Fluoreto (μg);
- Nitrogênio (mg);
- Enxofre (mg).

Variáveis nutrientes:

- Fósforo (mg);
- Cálcio (mg);
- Magnésio (mg);
- Potássio (mg).

Índice:

- Peso Seco da Raiz / Peso Seco da Parte Aérea.

Utilizaremos ainda as seguintes variáveis que caracterizam as regiões e período de estudo:

- Área – RP: Vale do Rio Pilões;
CM: Via Caminho do Mar;
VM: Vale do Rio Mogi.
- Período – 1: 1º de abril a 1º de julho de 1998;
2: 15 de julho a 15 de outubro de 1998.

4. Análise Descritiva

Na área VM, com poluição mais intensa, algumas plantas apresentaram problemas na mensuração de algumas variáveis, devido ao mau estado das folhas. Assim, para algumas plantas, alguns valores estão ausentes para essa área, nos dois períodos estudados.

As medidas descritivas para cada uma das variáveis do estudo são apresentadas nas Tabelas A1 a A20 (Apêndice A), por área e por período considerados.

O comportamento das variáveis, por área e para cada período de observação, foi também analisado utilizando-se boxplots (Bussab e Morettin, 1987), apresentados no Apêndice B. Foram calculados, também, coeficientes de correlação linear de Pearson (Bussab e Morettin, 1987) entre pares de variáveis para verificar as correlações entre a Fotossíntese e as outras variáveis do estudo (Apêndice C).

Para as variáveis analisadas, somente a comparação entre as áreas é realizada. A comparação entre os períodos não era de interesse no estudo.

4.1. Análise das Variáveis

No período 1, a Fotossíntese apresenta uma diminuição à medida que a poluição aumenta, como mostra o Gráfico B1. Menos acentuadamente, podemos observar que para o período 2, ocorre a mesma tendência. Este comportamento pode também ser

observado através da análise da Tabela A1. Podemos observar ainda, através desta tabela, que o valor mínimo da Fotossíntese na área menos poluída (RP) é maior do que o valor máximo da área mais poluída (VM). Essa análise sugere que o aumento da poluição deve diminuir a Fotossíntese.

Comportamento semelhante ao verificado para a variável Fotossíntese ocorre com as variáveis de crescimento e tamanho: Incremento no Diâmetro (Tabela A3 e Gráfico B3), Número de Folhas (Tabela A4 e Gráfico B4), Peso Seco do Caule (Tabela A6 e Gráfico B6), Peso Seco da Parte Aérea (Tabela A7 e Gráfico B7), Peso Seco da Raiz (Tabela A8 e Gráfico B8).

Como se observa nas Tabelas A2 e A5 e também nos Gráficos B2 e B5, as variáveis Incremento na Altura e Peso Seco das Folhas apresentam médias maiores na área RP. A tendência observada é semelhante às demais variáveis de crescimento e tamanho descritas acima, diferenciando-se somente pelo fato de que o valor médio em VM é maior que em CM para o Incremento na Altura, no período 1, e para Peso Seco das Folhas, no período 2.

A Tabela A9 e o Gráfico B9 apresentam a variável Peso Seco Total. Podemos observar que a média desta variável parece decrescer quanto mais poluída é a área. Isto ocorre tanto para o período 1 como para o período 2, indicando que a poluição deve ser responsável pela diminuição de peso da planta.

Em cada período, a quantidade média de Ácido Ascórbico observada é menor quanto maior for a poluição da área (Tabela A10). Aparentemente, isso está relacionado ao fato de que ácido ascórbico, sendo uma variável de defesa, menores quantidades na planta podem indicar uma necessidade maior de defesa em um ambiente mais poluído.

Quanto às variáveis Clorofila A e Clorofila B, descritos nas Tabelas A11 e A12, respectivamente, observam-se também quantidades menores nas áreas mais poluídas. No entanto, no período 2, as quantidades médias de Clorofila A e B são maiores na área VM do que na área CM.

No Gráfico B13, verifica-se que o poluente Fluoreto apresenta valores muito maiores em VM, em relação às demais áreas, em ambos os períodos. A área VM é a mais poluída e a maior presença de Fluoreto nessa área é devido à concentração de indústrias de fertilizantes que liberam este tipo de poluente.

O Gráfico B14 mostra que a quantidade de Nitrogênio observada aumenta à medida que aumenta o nível de poluição. O Nitrogênio, nos níveis apresentados, pode ser considerado um poluente.

No período 1, a quantidade média de Enxofre apresenta crescimento da área RP para a CM e uma leve diminuição da área CM para a área VM. No período 2, a quantidade média de Enxofre foi sempre crescente com o aumento da poluição (Tabela A15 e Gráfico B15). O Enxofre, assim como o Nitrogênio, pode ser considerado um poluente.

A variável nutriente Fósforo, apresenta valores médios próximos nas regiões RP e CM e maiores na área VM (Tabela A16 e Gráfico B16).

Para os dois períodos, o Cálcio apresenta valores médios maiores para a área de referência RP que para as outras duas áreas. Na Tabela A17, observa-se que, no período 1, a média da variável Cálcio é pouco maior na área VM que na CM, ao contrário do período 2.

Analizando a Tabela A18 e o Gráfico B18, percebemos que o Magnésio não apresenta um padrão bem definido de comportamento, no período 1. Já, no período 2, podemos notar um decréscimo com o aumento da poluição.

O Gráfico B19 mostra que o Potássio apresenta uma tendência crescente com o aumento do nível de poluição. A Tabela A19 mostra que a média dessa variável é maior quanto maior a poluição na área. Isso ocorre nos 2 períodos de estudo.

A Tabela A20 e o Gráfico B20 apresentam a análise descritiva para o índice Peso Seco da Raiz / Peso Seco da Parte Aérea, que é de interesse da pesquisadora. Observamos através da Tabela A20 que o índice, em média, foi maior na região mais poluída.

Quanto aos desvios padrão presentes nas tabelas, somente alguns valores se mostram altos. Na Tabela A13, observamos que os desvios padrão dos valores de Fluoreto na área VM, em ambos os períodos, são bastante grandes, mostrando a existência de grande heterogeneidade nesta variável. Por outro lado, embora o desvio padrão seja grande, observamos o mesmo para a média, de modo que o coeficiente de variação (desvio padrão / média) desta variável nesta área é praticamente o mesmo das outras áreas.

Assim, a análise que acabamos de descrever sugere, de modo geral, a existência de efeito da poluição na média das variáveis analisadas.

Numa etapa seguinte, calculamos os coeficiente de correlação linear de Pearson entre pares de variáveis, apresentados nas Tabelas C1 e C2.

A Tabela C1 mostra que, no período 1, o Peso Seco Total é moderadamente correlacionado com a Fotossíntese (0,693), com o Fluoreto (-0,635), apresenta alta correlação com o Nitrogênio (-0,810) e uma correlação mais baixa com o Enxofre (-0,424). Ainda na Tabela C1, para o período 1, observamos que a variável Fotossíntese é moderadamente correlacionada com o Fluoreto (-0,688) e com o Nitrogênio (-0,598) e pouco correlacionada com Enxofre (-0,292). Observamos ainda que esta variável apresenta uma alta correlação (positiva) com todas as variáveis de crescimento e tamanho, com exceção da variável Incremento na Altura.

Estes fatos sugerem que, quanto maior o Peso Seco Total maiores os valores da Fotossíntese e, também, que a Fotossíntese diminui com o aumento das quantidades de Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre.

Quanto ao período 2, a análise da Tabela C2 mostra que a variável Peso Seco Total é altamente correlacionada com Fluoreto (-0,728) e Nitrogênio (-0,772) e apresenta correlações menores com a Fotossíntese (0,464) e Enxofre (-0,527). A Fotossíntese apresenta alta correlação com o Fluoreto (-0,695), com o Nitrogênio (-0,685) e correlação mais baixa com o Enxofre (-0,482). Além disso, neste período, observamos uma menor correlação entre a Fotossíntese e as variáveis de crescimento e tamanho.

Dado o interesse na análise de uma relação entre Fotossíntese e as variáveis Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre e entre Peso Seco Total e Fotossíntese, Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre, enfatizamos somente os resultados dessas correlações.

4.2. Análise de Componentes Principais

Para condensar o conjunto das variáveis de crescimento e tamanho (Incremento na Altura, Incremento no Diâmetro, Número de Folhas, Peso Seco das Folhas, Peso Seco do Caule e Peso Seco da Raiz) em uma única medida para cada planta, foi utilizada a técnica de Componentes Principais, aplicada a cada período. Este

procedimento consiste em construir combinações lineares das variáveis de interesse, com o intuito de reduzir a dimensão do problema (Johnson and Wichern, 1992).

Decidiu-se adotar apenas a primeira componente principal, que explicava 70,9% e 78,1% da variância total nos períodos 1 e 2, respectivamente. Assim, considerando que temos 6 variáveis de crescimento e tamanho, a explicação atingida por uma única componente mostrou-se bastante razoável.

De acordo com esta técnica, cada planta do período 1 recebeu um escore calculado por:

$$\text{Escore} = 0,254 z_1 + 0,381 z_2 + 0,407 z_3 + 0,463 z_4 + 0,458 z_5 + 0,447 z_6,$$

e no período 2, o escore para cada planta tem a expressão:

$$\text{Escore} = 0,413 z_1 + 0,382 z_2 + 0,437 z_3 + 0,386 z_4 + 0,450 z_5 + 0,376 z_6,$$

onde z_1 , z_2 , z_3 , z_4 , z_5 e z_6 são, respectivamente, os valores observados das variáveis Incremento na Altura, Incremento no Diâmetro, Número de Folhas, Peso Seco das Folhas, Peso Seco do Caule e Peso Seco da Raiz, padronizados.

Analisando estas expressões, notamos que plantas com grandes valores das variáveis de crescimento e tamanho terão um alto escore. Desta forma, esta nova variável pode ser interpretada como uma medida de tamanho da planta.

Foram obtidas, para cada período, as estatísticas descritivas dos escores de cada planta (Tabelas E1 e E2) e os correspondentes boxplots (Gráficos E1 e E2). Observa-se nos Gráficos E1 e E2 que, para os dois períodos, os maiores escores encontram-se em RP, a área de referência. Concluimos, então, que as plantas dessa área apresentam os maiores valores segundo a medida de tamanho construída. Da mesma forma, os escores menores ficaram para VM, a área mais poluída.

A correlação entre os valores da Fotossíntese e os correspondentes escores das plantas no período 1 é de 0,726 e no período 2, de 0,487. O baixo valor desta correlação no período 2, pode ser explicado pelas baixas correlações entre Fotossíntese e medidas de tamanho e crescimento, já destacadas na seção anterior.

Apesar da 1ª componente principal utilizada ter uma interpretação bastante satisfatória, ela será encarada apenas como um índice construído para cada planta e não será utilizada nas análises subseqüentes.

4.3. Análise de Conglomerados

Com o objetivo de agrupar variáveis altamente correlacionadas entre si, foi feita uma análise de conglomerados para variáveis, em cada período.

Dado o pequeno número de plantas, para a análise ser possível, excluíram-se as variáveis Fósforo, Magnésio e Potássio. A escolha destas variáveis foi motivada pelo fato de pertencerem ao mesmo grupo que o Cálcio (variável nutriente) e por serem de menor interesse para a análise futura.

Foi utilizado o método da centróide (Johnson and Wichern, 1992) para agrupar as variáveis com maior coeficiente de correlação linear de Pearson. Os gráficos D1 e D2, do Apêndice D, exibem os dendrogramas relativos aos períodos 1 e 2, respectivamente. Considerando a formação de cinco grupos, obtemos os resultados a seguir.

Grupo	Período 1	Período 2
1	Incremento no Diâmetro, Número de Folhas, Peso Seco das Folhas, Peso Seco do Caule, Peso Seco da Raiz, Ácido Ascórbico, Clorofila A, Clorofila B	Incremento na Altura, Incremento no Diâmetro, Número de Folhas, Peso Seco das Folhas, Peso Seco do Caule, Peso Seco da Raiz, Ácido Ascórbico
2	Incremento na Altura	Clorofila A, Clorofila B
3	Fluoreto, Nitrogênio	Fluoreto, Nitrogênio
4	Enxofre	Enxofre
5	Cálcio	Cálcio

Observando-se as variáveis dentro de cada grupo, o primeiro e segundo grupos agregam as variáveis de crescimento e tamanho, a Clorofila A, a Clorofila B e o Ácido Ascórbico; o terceiro grupo reúne os poluentes Fluoreto e Nitrogênio; o quarto grupo

contém somente o Enxofre, também poluente e, o último grupo é constituído pelo nutriente Cálcio.

Este estudo alerta para a existência de grupos de variáveis altamente correlacionadas entre si, fato este que será considerado quando da construção de modelos de regressão, na análise inferencial.

5. Análise Inferencial

Na Seção 4.1, observamos através da análise descritiva, diferenças entre as médias amostrais segundo as áreas, para várias variáveis analisadas. Na presente seção, procederemos à correspondente comparação de médias utilizando técnicas inferenciais.

Devido ao pequeno número de plantas na amostra, nosso estudo incluirá apenas cinco variáveis, selecionadas pela pesquisadora. Desta forma, vamos comparar as médias populacionais entre as áreas somente para as variáveis Fotossíntese, Peso Seco Total, Fluoreto, Ácido Ascórbico e Nitrogênio.

Um segundo objetivo é analisar a existência de relação entre variáveis. Particularmente, deseja-se investigar a relação entre Peso Seco Total e as variáveis Fotossíntese, Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre. Outra relação analisada foi entre a variável Fotossíntese e as variáveis Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre. Para isto, utilizamos técnicas de análise de regressão.

5.1. Comparação de Médias

A comparação de médias consiste em verificar se existe diferença entre os valores médios populacionais das variáveis segundo as três áreas.

Assim, para cada variável, e em cada período, esta análise consiste em testar a hipótese nula

$$H_0: \mu_{RP} = \mu_{CM} = \mu_{VM},$$

onde μ_{RP} , μ_{CM} e μ_{VM} são as médias populacionais da variável na área RP, CM e VM, respectivamente.

Conforme comentado anteriormente, foram escolhidas cinco variáveis, a critério da pesquisadora, para realizar esta comparação de médias: Peso Seco Total, Ácido Ascórbico, Fluoreto, Fotossíntese e Nitrogênio.

A comparação de médias foi feita através de dois métodos, paramétrico e não paramétrico, e seus resultados foram posteriormente confrontados.

A análise paramétrica pressupõe algumas suposições, que precisam estar satisfeitas para os testes serem válidos. A análise não paramétrica, embora com menor poder, necessita de suposições mais fracas, e deve reforçar o resultado obtido na análise paramétrica, ou substituí-la quando alguma condição para sua aplicação não estiver satisfeita.

5.1.1. Análise para o Período 1

Para a utilização da técnica de análise de variância paramétrica (Neter et al., 1996), verificamos, primeiramente, se as variâncias das três áreas são iguais, para cada uma das variáveis. A verificação desta suposição foi feita utilizando o teste de Levene (Neter et al., 1996) e os resultados obtidos para o período 1 encontram-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Teste de Levene - Período 1	
Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,370
Fluoreto	0,006
Fotossíntese	0,603
Nitrogênio	0,723
Peso Seco Total	0,425

Da Tabela 5.1, concluímos que, para o período 1, existe igualdade de variâncias entre as áreas para as variáveis Ácido Ascórbico, Fotossíntese, Nitrogênio e Peso Seco Total. Assim, para estas variáveis, utilizamos o teste F da análise de variância usual para comparar as médias populacionais das três áreas (Neter et al., 1996). Para a variável Fluoreto, que apresentou variâncias diferentes entre as áreas, utilizamos o

teste de igualdade de médias proposto por Brown-Forsythe (Cunha, 1978). Os resultados desta análise, para o período 1, estão apresentados na Tabela 5.2.

Da Tabela 5.2, concluímos que existe diferença entre as médias populacionais das três áreas, para todas as variáveis.

Tabela 5.2 – Análise de Variância Paramétrica – Período 1

Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,000
Fluoreto	0,001
Fotossíntese	0,000
Nitrogênio	0,000
Peso Seco Total	0,000

Através do método de Scheffé para comparações múltiplas (Cunha, 1978), procuramos verificar quais as áreas que apresentavam diferenças entre as médias. A Tabela 5.3 apresenta as comparações entre áreas para cada variável.

Tabela 5.3 – Comparações Múltiplas – Análise Paramétrica – Período 1

Variável	Comparação	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	RP x CM	0,001
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,167
Fluoreto *	RP x CM	0,175
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,000
Fotossíntese	RP x CM	0,027
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,019
Nitrogênio	RP x CM	0,000
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,000
Peso Seco Total	RP x CM	0,000
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,006

* análise para variâncias desiguais

Através dos resultados apresentados na Tabela 5.3, podemos concluir que:

- Para o Ácido Ascórbico, as médias são estatisticamente diferentes entre as áreas RP e CM e entre RP e VM. Entretanto, não há evidência experimental de diferença entre as médias das áreas CM e VM, ou seja, concluímos que existe diferença entre as médias de Ácido Ascórbico da área não poluída (RP) com cada uma das poluídas (CM e VM), mas não existe diferença entre as médias das duas áreas poluídas;
- Para a variável Fluoreto, não detectamos diferença entre as médias de RP e CM, observando diferenças estatisticamente significantes entre as médias de RP e VM e entre CM e VM. O Fluoreto apresenta média amostral muito maior para a região VM (Tabela A13), em relação às outras duas áreas;
- As variáveis Fotossíntese e Peso Seco Total apresentam diferenças entre as médias para todas as comparações. Analisando as correspondentes médias amostrais (Tabelas A1 e A9), observamos valores maiores quanto menos poluída é a área;
- Diferenças altamente significantes ocorrem também para as médias da variável Nitrogênio sendo que, neste caso, ao contrário das duas últimas variáveis, maiores valores das médias amostrais encontram-se nas regiões mais poluídas (Tabela A14).

Na análise não paramétrica, testamos inicialmente a igualdade de variâncias entre as áreas, para cada variável, através do “Teste dos postos ao quadrado para variâncias” (Conover, 1980). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – “Teste dos postos ao quadrado para variâncias” –
Período 1

Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,629
Fluoreto	0,361
Fotossíntese	0,997
Nitrogênio	0,960
Peso Seco Total	0,953

De acordo com os resultados desta tabela, são aceitas as hipóteses de igualdade de variâncias segundo as áreas para todas as variáveis consideradas.

Com esta conclusão, a análise de variância não paramétrica é realizada através do Teste de Kruskal-Wallis (Conover, 1980). A Tabela 5.5 apresenta os resultados

dessa análise e indica que existe diferença entre os valores médios de cada variável, segundo as áreas.

Tabela 5.5 – Análise de Variância Não Paramétrica – Período 1

Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,004
Fluoreto	0,002
Fotossíntese	0,003
Nitrogênio	0,002
Peso Seco Total	0,001

Detectadas diferenças entre as médias segundo as áreas, foi feito o teste de comparações múltiplas não paramétrico (Conover, 1980), obtendo-se os resultados da Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Comparações Múltiplas – Análise Não Paramétrica – Período 1

Variável	Comparação	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	RP x CM	0,000
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,035
Fluoreto	RP x CM	0,160
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,000
Fotossíntese	RP x CM	0,009
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,016
Nitrogênio	RP x CM	0,000
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,000
Peso Seco Total	RP x CM	0,000
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,006

A análise pelo método não paramétrico apresentou resultados muito semelhantes àquela realizada pelo método paramétrico (Tabela 5.3). Somente na

comparação entre as médias do Ácido Ascórbico para as áreas CM e VM obtivemos resultado diferente do encontrado na análise paramétrica.

Uma última suposição a ser testada para a validade do método paramétrico de análise é a de normalidade dos resíduos. A análise de resíduos não indicou grandes desvios da suposição de normalidade (Gráficos F1 a F5, do Apêndice F).

Além disso, através dos Gráficos F6 e F8 a F10, observamos que os resíduos se distribuem de forma aleatória segundo as áreas. Somente para a variável Fluoreto, detectamos através do gráfico de resíduos (Gráfico F7), desigualdade de variâncias, problema este já resolvido com a utilização do teste de Brown-Forsythe.

Desta forma, estão satisfeitas todas as suposições da análise de variância paramétrica e seus resultados podem ser considerados.

Sugerimos então que, no único caso em que as conclusões entre as análises não coincidiram, o resultado da análise paramétrica seja utilizado.

5.1.2. Análise para o Período 2

Para o período 2, foi feita uma análise semelhante a do período 1. Foi utilizado inicialmente o teste de Levene para igualdade de variâncias segundo as áreas, para as cinco variáveis de interesse. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Teste de Levene – Período 2

Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,578
Fluoreto	0,000
Fotossíntese	0,461
Nitrogênio	0,008
Peso Seco Total	0,779

Observamos desta tabela que, para o período 2, existe igualdade de variâncias, segundo as áreas, para as variáveis Ácido Ascórbico, Fotossíntese e Peso Seco Total. Assim, na comparação de médias entre as áreas, para essas três variáveis, utilizamos a análise de variância usual. Para as variáveis Fluoreto e Nitrogênio, que apresentaram variâncias desiguais, foi aplicado o teste de Brown-Forsythe. Os resultados dos testes de comparação de médias encontram-se na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Análise de Variância Paramétrica – Período 2

Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,001
Fluoreto	0,000
Fotossíntese	0,021
Nitrogênio	0,003
Peso Seco Total	0,000

Da Tabela 5.8, verificamos que existem diferenças entre as médias das áreas para todas as variáveis.

Verificamos então, através do método de Scheffé para comparações múltiplas, quais áreas apresentam diferenças entre suas médias. A Tabela 5.9 apresenta as comparações para cada combinação das áreas.

Tabela 5.9 – Comparações Múltiplas – Análise Paramétrica – Período 2

Variável	Comparação	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	RP x CM	0,011
	RP x VM	0,002
	CM x VM	0,395
Fluoreto *	RP x CM	0,007
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,000
Fotossíntese	RP x CM	0,828
	RP x VM	0,026
	CM x VM	0,068
Nitrogênio *	RP x CM	0,008
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,000
Peso Seco Total	RP x CM	0,001
	RP x VM	0,000
	CM x VM	0,070

* análise para variâncias desiguais

Observando os resultados na Tabela 5.9 concluímos que:

- A variável Ácido Ascórbico apresenta médias significativamente diferentes entre RP e CM e entre RP e VM. Não se observou diferença significativa entre as médias de CM e VM;
- As médias da variável Fluoreto são estatisticamente diferentes em todas as comparações: RP e CM, RP e VM, e CM e VM;
- As médias da variável Fotossíntese são estatisticamente desiguais somente entre as áreas RP e VM. Analisando-se as médias amostrais (Tabela A1), concluímos que os maiores valores da variável encontram-se na área RP;
- A variável Nitrogênio apresenta diferenças entre as médias das três áreas, porém para esta variável, valores maiores encontram-se nas regiões com maior poluição (Tabela A14).
- Peso Seco Total apresenta diferenças significativas entre as áreas RP e CM e entre RP e VM. Novamente aqui, uma análise das médias amostrais (Tabela A9) mostra que os valores dessa variável são maiores para a área menos poluída;

Para a análise não paramétrica, testamos inicialmente a igualdade de variâncias entre as áreas para cada variável. Da Tabela 5.10, concluímos que não existem diferenças entre as variâncias nas três áreas, para todas as variáveis.

Tabela 5.10 – “Teste dos postos ao quadrado para variâncias” –
Período 2

Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,984
Fluoreto	0,686
Fotossíntese	0,997
Nitrogênio	0,738
Peso Seco Total	0,953

Com esta conclusão, a análise de variância não paramétrica é feita através do Teste de Kruskal-Wallis (Conover, 1980). A Tabela 5.11 apresenta os resultados dessa análise e indica que existe diferença entre as médias das áreas para as variáveis Ácido Ascórbico, Fluoreto, Nitrogênio e Peso Seco Total. Para a variável Fotossíntese, somente detectamos diferença de médias a níveis de significância maiores ou iguais a 0,064.

Tabela 5.11 – Análise de Variância Não Paramétrica – Período 2

Variável	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	0,004
Fluoreto	0,001
Fotossíntese	0,064
Nitrogênio	0,002
Peso Seco Total	0,001

Assim, como para o período 1, realizamos comparações múltiplas através da técnica não paramétrica, com o objetivo de confirmar ou não os resultados encontrados pela análise paramétrica equivalente. Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Comparações Múltiplas – Análise Não Paramétrica – Período 2

Variável	Comparação	Nível Descritivo
Ácido Ascórbico	RP x CM	< 0,001
	RP x VM	< 0,001
	CM x VM	0,114
Fluoreto	RP x CM	0,006
	RP x VM	< 0,001
	CM x VM	< 0,001
Fotossíntese	RP x CM	0,339
	RP x VM	0,009
	CM x VM	0,060
Nitrogênio	RP x CM	0,001
	RP x VM	< 0,001
	CM x VM	0,001
Peso Seco Total	RP x CM	< 0,001
	RP x VM	< 0,001
	CM x VM	0,006

Podemos observar, então, que a análise pelo método não paramétrico apresentou praticamente os mesmos resultados daquela obtida pelo método paramétrico (Tabela 5.9). Somente na comparação entre as médias do Peso Seco Total para as áreas CM e VM obtivemos resultado diferente daquele encontrado na análise paramétrica.

Novamente aqui, para se validar o método paramétrico, a suposição de normalidade dos resíduos deve ser testada. A análise de resíduos não indicou grandes desvios da suposição de normalidade (Gráficos F11 a F15) e, através dos Gráficos F16 e F18 a F20, observamos que os resíduos se distribuem de forma aleatória segundo as áreas. O Gráfico F17, dos resíduos associados à análise de variância para a variável Fluoreto, exibiu uma tendência, devido à desigualdade de variâncias já detectada. Como tal problema foi corrigido com o uso do teste de Brown-Forsythe, estão satisfeitas as condições necessárias para o uso da análise de variância paramétrica. Assim, todas as conclusões obtidas por este método podem ser adotadas.

5.2. Análise de Regressão

Inicialmente, analisamos a existência de uma relação da variável resposta Peso Seco Total com as variáveis independentes (ou variáveis preditoras) Fotossíntese, Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre. O Peso Seco Total representa uma medida de crescimento da planta e procura-se então uma explicação de sua variabilidade através das outras variáveis, utilizando a técnica de Análise de Regressão (Montgomery and Peck, 1992).

Realizamos, também, uma análise de regressão entre Fotossíntese, agora considerada como variável resposta, e Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre, como variáveis independentes, uma vez que os valores destas variáveis estão relacionados à poluição.

Finalizando, destacamos que, como todas as variáveis consideradas são variáveis aleatórias, admitiremos regressões condicionais aos valores observados das variáveis independentes.

Todas as análises foram executadas através do pacote computacional MINITAB *for Windows*, versão 11.12.

5.2.1. Análise de Regressão para Peso Seco Total

Inicialmente, ajustamos um modelo de regressão linear múltipla, com variável resposta Peso Seco Total e variáveis preditoras Fotossíntese, Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre. A análise foi feita juntando-se os dados dos 2 períodos. Foram consideradas

também no modelo as diferentes áreas, que foram introduzidas como variáveis “dummy” (Neter et al., 1996), A_1 e A_2 , tais que:

$$(A_1, A_2) = \begin{cases} (0,0) & \text{para a área RP;} \\ (1,0) & \text{para a área CM;} \\ (0,1) & \text{para a área VM.} \end{cases}$$

Desta forma, o modelo de regressão utilizado foi:

$$\text{Peso Seco Total} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Fotossíntese} + \beta_2 \text{ Fluoreto} + \beta_3 \text{ Nitrogênio} + \beta_4 \text{ Enxofre} + \beta_5 A_1 + \beta_6 A_2 + \varepsilon \quad (1)$$

com as suposições que $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ e de independência entre as observações.

A Tabela 5.13 apresenta as estimativas dos coeficientes de regressão e respectivos desvios-padrão estimados necessários para se verificar a significância das variáveis no modelo (1).

Tabela 5.13 – Estatísticas associadas à análise do modelo (1)

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo	VIF
Constante	15,17	16,31	0,93	0,379	
Fotossíntese	0,11	0,43	-0,27	0,797	2,3
Fluoreto	-0,05	0,16	-0,31	0,762	44,2
Nitrogênio	0,36	0,71	0,51	0,622	20,2
Enxofre	0,27	0,80	0,33	0,748	1,9
A_1	-13,33	5,02	-2,66	0,029	9,4
A_2	-15,97	19,18	-0,83	0,429	91,6
$R^2 = 87,4\%$					

Apresentamos na Tabela 5.13, além das estatísticas usuais, valores de “variance inflation factor” (VIF) (Montgomery and Peck, 1992), para verificar a possível existência de relações entre as variáveis preditoras. Se algum valor desta medida for maior que 5, podemos concluir que existe multicolinearidade, ou seja, uma variável independente pode estar explicando a variável resposta (neste caso o Peso Seco Total) da mesma forma que outra independente. Pelos resultados de VIF na Tabela 5.13, verificamos a existência de séria multicolinearidade, o que nos levou a considerar um novo modelo.

A desigualdade de médias segundo as áreas, detectada para as variáveis Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre na Seção 5.1, sugere a existência de relação entre essas variáveis e as áreas. Dessa forma, optamos pelo ajuste de um modelo que não inclui as variáveis referentes às áreas.

Com isso, passamos a considerar o seguinte modelo:

$$\text{Peso Seco Total} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Fotossíntese} + \beta_2 \text{ Fluoreto} + \beta_3 \text{ Nitrogênio} + \beta_4 \text{ Enxofre} + \varepsilon. (2)$$

A Tabela 5.14 apresenta os resultados da análise de regressão para o modelo (2).

Tabela 5.14 – Estatísticas associadas à análise do modelo (2)

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo	VIF
Constante	38,39	7,96	4,82	< 0,001	
Fotossíntese	0,23	0,28	0,80	0,433	1,4
Fluoreto	-0,01	0,05	-0,18	0,860	2,8
Nitrogênio	-0,99	0,39	-2,54	0,018	4,2
Enxofre	-0,23	0,96	-0,24	0,815	1,7
$R^2 = 58,9\%$					

Como podemos observar, todos os valores dos VIFs são menores que 5, indicando que o grau de multicolinearidade está em níveis aceitáveis.

Através dos níveis descritivos, observamos que a variável Fluoreto não apresenta contribuição significativa, dadas as demais variáveis presentes no modelo. O mesmo ocorre com Fotossíntese e Enxofre. Retiramos, então, do modelo a variável com o maior valor do nível descritivo p, pois é a menos importante. Tal procedimento foi repetido sempre que pelo menos uma variável se mostrou não significativa. O modelo resultante deste procedimento foi:

$$\text{Peso Seco Total} = 41,99 - 1,15 \text{ Nitrogênio}, \quad (3)$$

cujas análise de regressão correspondente está apresentada na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Estatísticas associadas à análise do modelo (3)

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo
Constante	41,99	4,20	10,01	< 0,001
Nitrogênio	-1,15	0,17	-6,74	< 0,001
$R^2 = 61,1\%$				

Observando a Tabela 5.15, parece que o modelo (3) é razoável, mas a conclusão final vai depender de uma análise de resíduos satisfatória. Os gráficos desta análise encontram-se no Apêndice F.

O Gráfico F21, que apresenta os resíduos do modelo (3) em função dos valores de Nitrogênio, não exibe nenhuma tendência, indicando aleatoriedade da distribuição dos resíduos segundo Nitrogênio.

No Gráfico F22, observamos que a aleatoriedade dos resíduos em função dos períodos também parece estar satisfeita.

O Gráfico F23 apresenta a distribuição dos resíduos do modelo (3) em função das áreas. Verificamos uma tendência de valores positivos dos resíduos na área RP (8 positivos e 3 negativos), e negativos na área CM (3 positivos e 9 negativos). Isto estaria indicando que as áreas são importantes e devem ser reconsideradas no modelo.

Finalizando, concluímos pela normalidade dos resíduos, através da análise do Gráfico F24, onde apresenta-se também o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Dado que, na análise de resíduos do modelo, detectamos influência das áreas, optamos por construir, para cada área, todos os possíveis modelos de regressão linear simples.

As Tabelas 5.16, 5.17 e 5.18 apresentam as estatísticas associadas ao melhor modelo de regressão linear simples para o Peso Seco Total, para as áreas RP, CM e VM, respectivamente. Esse modelo é aquele no qual a variável independente mostrou-se mais correlacionada com o Peso Seco Total.

Tabela 5.16 – Estatísticas da regressão de Peso Seco Total em função do Enxofre – área RP

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo
Constante	36,90	11,99	3,08	0,012
Enxofre	-2,18	1,71	-1,27	0,233
$R^2 = 13,9\%$				

Tabela 5.17 – Estatísticas da regressão de Peso Seco Total em função do Fotossíntese – área CM

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo
Constante	14,38	3,33	4,32	0,002
Fotossíntese	-0,34	0,36	-0,94	0,367
$R^2 = 8,2\%$				

Tabela 5.18 – Estatísticas da regressão de Peso Seco Total em função do Fotossíntese – área VM

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo
Constante	5,36	2,21	2,42	0,042
Fotossíntese	0,36	0,34	1,09	0,309
$R^2 = 12,9\%$				

Verificamos que, para cada uma das áreas, nenhum dos modelos de regressão apresentou significância, ou seja, não encontramos uma variável independente que se relacionasse com o Peso Seco Total.

Destacamos que, embora a variável Nitrogênio tenha apresentado correlação significativa com o Peso Seco Total no modelo (3), na análise por área esta relação não se mantém.

5.2.2. Análise de Regressão para Fotossíntese

Nesta etapa realizamos uma análise de regressão similar a da Seção 5.2.1, considerando agora a Fotossíntese como variável resposta e as variáveis Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre como variáveis independentes.

Inicialmente, consideramos o seguinte modelo:

$$\text{Fotossíntese} = \beta_0 + \beta_1 \text{Fluoreto} + \beta_2 \text{Nitrogênio} + \beta_3 \text{Enxofre} + \beta_4 A_1 + \beta_5 A_2 + \varepsilon \quad (4)$$

sendo A_1 e A_2 e as suposições como para o modelo (1).

A Tabela 5.19 apresenta o resultado da análise de regressão considerando o modelo (4).

Tabela 5.19 – Estatísticas associadas à análise do modelo (4)

Variável Independente	Coefficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo	VIF
Constante	5,06	6,20	0,82	0,423	
Fluoreto	0,11	0,06	1,93	0,065	10,1
Nitrogênio	-0,15	0,33	-0,45	0,654	7,0
Enxofre	1,03	0,60	1,73	0,097	1,6
A_1	-12,42	5,35	-2,32	0,029	14,4
A_2	-2,66	1,88	-1,41	0,171	2,7
$R^2 = 42,0\%$					

Os valores de VIF apresentados nesta tabela indicam a presença de multicolinearidade. Novamente aqui, a desigualdade de médias entre as áreas, para as variáveis Fluoreto, Nitrogênio e Enxofre, indica que existe uma relação entre essas variáveis e as áreas. Assim, retiramos do modelo as variáveis A_1 e A_2 , obtendo:

$$\text{Fotossíntese} = \beta_0 + \beta_1 \text{Fluoreto} + \beta_2 \text{Nitrogênio} + \beta_3 \text{Enxofre} + \varepsilon \quad (5)$$

com as mesmas suposições anteriores.

Os resultados do ajuste do modelo (5) estão apresentados na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Estatísticas associadas à análise do modelo (5)

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo	VIF
Constante	12,53	4,92	2,55	0,017	
Fluoreto	0,03	0,03	0,76	0,455	2,7
Nitrogênio	-0,61	0,24	-2,51	0,018	3,4
Enxofre	1,38	0,60	2,29	0,030	1,4
$R^2 = 28,8\%$					

Retirando-se do modelo o Fluoreto por não apresentar significância, obtemos a análise apresentada na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Estatísticas associadas à análise do modelo (6)

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo	VIF
Constante	10,57	4,15	2,55	0,017	
Nitrogênio	-0,47	0,15	-3,08	0,005	1,3
Enxofre	1,28	0,58	2,19	0,037	1,3
$R^2 = 27,2\%$					

Da Tabela 5.21, podemos considerar o seguinte modelo:

$$\text{Fotossíntese} = 10,57 - 0,47 \text{ Nitrogênio} + 1,28 \text{ Enxofre.} \quad (6)$$

Para validação do modelo (6), realizamos uma análise de resíduos, tal como para o modelo (3), cujos gráficos encontram-se no Apêndice F.

O Gráfico F25, que apresenta resíduos do modelo (6) em função dos valores do Nitrogênio, e o Gráfico F26, que apresenta os resíduos do mesmo modelo em função dos valores do Enxofre, não exibem nenhuma tendência, indicando aleatoriedade da distribuição dos resíduos segundo Nitrogênio e Enxofre.

Já no Gráfico F27, notamos que os resíduos apresentam uma concentração de valores positivos no período 1 (13 positivos e 2 negativos) e uma concentração de valores negativos no período 2 (1 positivo e 14 negativos). Existe, portanto, a indicação de que os períodos são importantes e devem ser considerados no modelo.

Quanto às demais suposições, pelo Gráfico F28, observamos que os resíduos se distribuem aleatoriamente segundo as áreas, e pelo Gráfico F29 e resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, concluímos pela normalidade dos resíduos.

Como foi observado acima, os períodos devem ser levados em conta no modelo que relaciona a Fotossíntese com as outras variáveis. Foi construído, então, um novo modelo que inclui uma variável “dummy” P para representar o período. Assim, o modelo considerando também o período da observação é escrito por:

$$\text{Fotossíntese} = \beta_0 + \beta_1 \text{Nitrogênio} + \beta_2 \text{Enxofre} + \beta_3 P + \varepsilon, \quad (7)$$

com as mesmas suposições anteriores, sendo $P = \begin{cases} 1, & \text{para o período 1;} \\ 2, & \text{para o período 2.} \end{cases}$

Na Tabela 5.22, apresentamos as estatísticas resultantes do ajuste do modelo (7).

Tabela 5.22 – Estatísticas associadas à análise do modelo (7)

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo	VIF
Constante	25,51	3,49	7,30	< 0,001	
Nitrogênio	-0,34	0,10	-3,53	0,002	1,4
Enxofre	0,02	0,42	0,04	0,969	1,7
P	-5,51	0,85	-6,63	< 0,001	1,3
$R^2 = 74,2\%$					

Procedendo a análise como para o modelo (1), obtemos o seguinte modelo ajustado:

$$\text{Fotossíntese} = 25,61 - 0,34 \text{ Nitrogênio} - 5,53 P. \quad (8)$$

O modelo (8) admite paralelismo entre as retas para os períodos 1 e 2, suposição que se mostra bastante razoável através da análise do Gráfico F30.

A Tabela 5.23 apresenta as estatísticas da análise do modelo (8).

Tabela 5.23 – Estatísticas associadas à análise do modelo (8)

Variável Independente	Coeficiente	Desvio-padrão	T	Nível Descritivo	VIF
Constante	25,61	2,34	10,93	< 0,001	
Nitrogênio	-0,34	0,08	-4,20	< 0,001	1,0
P	-5,53	0,74	-7,48	< 0,001	1,0
$R^2 = 72,1\%$					

Para a aceitação do modelo (8), realizamos uma análise de resíduos para verificar a validade das suposições e os gráficos correspondentes a esta análise estão no Apêndice F.

O Gráfico F31, que exibe os resíduos do modelo (8) em função dos valores de Nitrogênio, não apresenta nenhuma tendência. Foi verificada a aleatoriedade entre os resíduos pelas áreas através do Gráfico F32. Finalizando, a suposição de normalidade dos resíduos pode ser aceita observando-se o Gráfico F33, juntamente com o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Como as suposições foram satisfeitas, os modelos adotados, para os períodos 1 e 2, são respectivamente:

$$\text{Fotossíntese} = 20,08 - 0,34 \text{ Nitrogênio}, \quad (9)$$

$$\text{Fotossíntese} = 14,55 - 0,34 \text{ Nitrogênio}. \quad (10)$$

Para o período 1, segundo o modelo (9), estima-se um acréscimo médio de -0,34 na Fotossíntese quando aumentamos uma unidade no Nitrogênio. Neste caso, como o valor da estimativa é negativo, obteremos menos Fotossíntese para cada unidade de acréscimo de Nitrogênio. Interpretação semelhante vale para o período 2.

6. Conclusões

Através dos resultados obtidos, podemos observar que existe, de fato, uma dependência das variáveis estudadas em função das áreas, que foi detectada na comparação de médias e também na análise de regressão.

A poluição é a possível responsável pelas diferenças encontradas entre as médias de Peso Seco Total, Fotossíntese, Fluoreto, Nitrogênio e Ácido Ascórbico, segundo as áreas.

A análise de regressão para o Peso Seco Total não forneceu nenhuma relação linear com as variáveis sugeridas pela pesquisadora. Entretanto, na análise de regressão para a Fotossíntese, selecionamos um modelo de regressão linear simples para cada período. Em ambos os períodos, o modelo adotado é o que relaciona Fotossíntese com Nitrogênio.

Um número pequeno de unidades amostrais e um número excessivo de variáveis medidas na mesma unidade amostral (planta), provoca dificuldades na análise estatística. Algumas relações testadas podem não ter sido detectadas devido ao pequeno número de plantas. Para outros estudos, sugere-se a obtenção de um número maior de plantas, caso seja importante considerar na análise todas as variáveis aqui apresentadas.

Apêndice A – Tabelas

Tabela A1 – Estatísticas Descritivas da Variável Fotossíntese

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	14,06	2,90	10,44	18,99	12,13	16,30
RP	2	6	7,49	0,92	6,05	8,49	6,74	8,32
CM	1	6	10,84	1,68	8,91	13,36	9,71	12,63
CM	2	6	6,92	1,95	4,12	9,94	5,82	8,56
VM	1	6	7,37	2,11	5,39	10,37	5,64	9,76
VM	2	4	4,24	1,87	2,36	6,77	2,65	6,16

Tabela A2 – Estatísticas Descritivas da Variável Incremento na Altura

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	17,58	2,82	14,00	21,50	15,13	20,37
RP	2	6	14,75	3,83	7,50	18,50	12,37	17,00
CM	1	6	11,25	5,07	6,00	19,50	7,50	16,13
CM	2	6	7,25	2,62	4,00	10,00	4,38	9,62
VM	1	6	13,08	4,66	9,50	22,00	9,87	15,62
VM	2	6	3,58	0,67	2,50	4,50	3,25	4,13

Tabela A3 – Estatísticas Descritivas da Variável Incremento no Diâmetro

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	0,44	0,08	0,31	0,53	0,36	0,50
RP	2	6	0,38	0,09	0,24	0,49	0,32	0,46
CM	1	6	0,25	0,11	0,11	0,40	0,14	0,32
CM	2	6	0,24	0,04	0,19	0,32	0,22	0,27
VM	1	6	0,15	0,09	0,02	0,26	0,06	0,22
VM	2	6	0,14	0,15	0,00	0,34	0,03	0,33

Tabela A4 – Estatísticas Descritivas da Variável Número de Folhas

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	68,17	6,94	62,00	81,00	63,50	72,75
RP	2	6	91,83	11,72	77,00	112,00	83,00	99,25
CM	1	6	51,00	21,73	17,00	78,00	35,75	67,50
CM	2	6	57,67	22,00	31,00	81,00	31,75	78,00
VM	1	6	21,33	8,07	7,00	28,00	14,50	27,25
VM	2	6	35,00	19,18	17,00	67,00	20,00	53,50

Tabela A5 – Estatísticas Descritivas da Variável Peso Seco das Folhas

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	6,80	0,82	5,89	8,29	6,15	7,26
RP	2	6	8,37	1,78	6,18	11,18	6,96	10,00
CM	1	6	3,55	1,28	2,16	5,78	2,41	4,40
CM	2	6	4,33	2,05	1,78	6,87	2,64	6,73
VM	1	6	0,98	0,45	0,41	1,78	0,70	1,20
VM	2	6	4,77	2,57	1,36	8,68	2,39	6,60

Tabela A6 – Estatísticas Descritivas da Variável Peso Seco do Caule

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	8,35	1,05	7,08	10,01	7,63	9,32
RP	2	6	8,89	1,58	6,97	11,02	7,56	10,26
CM	1	6	4,55	1,36	3,45	7,21	3,74	5,19
CM	2	6	4,52	1,71	2,18	6,63	3,11	6,38
VM	1	6	4,02	0,98	2,73	5,00	2,92	4,99
VM	2	6	2,76	1,10	1,78	4,25	1,88	4,10

Tabela A7 – Estatísticas Descritivas da Variável Peso Seco da Parte Aérea

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	15,14	1,67	13,32	17,37	13,61	17,03
RP	2	6	17,49	3,16	13,44	21,47	14,86	20,83
CM	1	6	8,09	2,55	6,00	12,99	6,35	9,58
CM	2	6	9,06	3,25	5,35	12,97	5,42	12,08
VM	1	6	4,99	1,19	3,13	5,98	3,70	5,82
VM	2	6	4,76	2,88	2,34	8,55	2,50	8,36

Tabela A8 – Estatísticas Descritivas da Variável Peso Seco da Raiz

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	6,43	1,45	4,78	8,24	5,15	7,77
RP	2	6	4,53	1,98	2,66	7,85	3,10	6,45
CM	1	6	3,04	0,54	2,20	3,79	2,63	3,45
CM	2	6	2,52	0,70	1,67	3,34	1,97	3,31
VM	1	6	2,87	0,87	2,03	4,15	2,14	3,62
VM	2	6	1,34	0,44	0,91	2,03	0,93	1,76

Tabela A9 – Estatísticas Descritivas da Variável Peso Seco Total

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	21,58	2,85	18,59	24,65	18,98	24,56
RP	2	6	21,85	4,16	17,38	28,32	18,28	25,23
CM	1	6	11,13	2,85	9,11	16,78	9,63	12,61
CM	2	6	11,58	3,76	7,11	16,27	7,35	14,57
VM	1	6	7,86	1,93	5,16	9,92	5,84	9,55
VM	2	6	6,09	3,29	3,25	10,32	3,62	10,25

Tabela A10 – Estatísticas Descritivas da Variável Ácido Ascórbico

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	1,03	0,22	0,77	1,40	0,87	1,18
RP	2	6	1,04	0,17	0,92	1,36	0,93	1,17
CM	1	6	0,65	0,09	0,54	0,78	0,56	0,72
CM	2	6	0,72	0,11	0,57	0,90	0,63	0,81
VM	1	4	0,49	0,15	0,28	0,61	0,34	0,60
VM	2	4	0,58	0,17	0,44	0,81	0,45	0,76

Tabela A11 – Estatísticas Descritivas da Variável Clorofila A

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	2,43	0,27	2,01	2,74	2,18	2,63
RP	2	6	2,09	0,39	1,59	2,58	1,66	2,40
CM	1	6	1,99	0,30	1,66	2,42	1,67	2,20
CM	2	6	1,76	0,32	1,33	2,17	1,50	2,08
VM	1	4	1,92	0,53	1,15	2,34	1,37	2,30
VM	2	4	2,10	0,11	2,02	2,26	2,02	2,22

Tabela A12 – Estatísticas Descritivas da Variável Clorofila B

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	0,79	0,22	0,52	1,12	0,62	0,99
RP	2	6	0,56	0,15	0,39	0,77	0,41	0,68
CM	1	6	0,54	0,10	0,44	0,71	0,45	0,61
CM	2	6	0,47	0,10	0,35	0,63	0,40	0,56
VM	1	4	0,53	0,15	0,31	0,63	0,37	0,62
VM	2	4	0,58	0,05	0,53	0,64	0,54	0,63

Tabela A13 – Estatísticas Descritivas da Variável Fluoreto

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	18,34	2,70	13,61	21,36	16,29	20,39
RP	2	6	8,65	1,37	7,50	11,11	7,56	9,58
CM	1	6	20,52	2,44	17,95	25,00	18,74	22,02
CM	2	6	12,64	2,35	9,88	15,64	10,34	15,15
VM	1	6	96,43	17,26	69,80	118,88	80,67	109,15
VM	2	6	75,03	15,59	51,57	90,34	61,76	88,21

Tabela A14 – Estatísticas Descritivas da Variável Nitrogênio

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	19,20	1,28	18,11	21,11	18,11	20,36
RP	2	6	20,46	1,91	18,11	22,15	18,11	22,15
CM	1	6	25,24	1,75	23,15	27,15	23,15	26,79
CM	2	6	23,81	1,58	21,63	25,67	22,38	25,28
VM	1	3	32,35	1,77	30,67	34,19	30,67	34,19
VM	2	4	30,54	3,37	27,15	33,70	27,40	33,56

Tabela A15 – Estatísticas Descritivas da Variável Enxofre

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	7,18	0,64	6,00	7,80	6,75	7,58
RP	2	6	6,75	0,48	6,20	7,50	6,35	7,13
CM	1	6	8,80	1,59	7,20	11,10	7,35	10,13
CM	2	6	7,32	0,40	6,70	7,70	6,93	7,70
VM	1	3	8,77	1,60	7,70	10,60	7,70	10,60
VM	2	4	7,43	0,66	6,70	8,30	6,85	8,08

Tabela A16 – Estatísticas Descritivas da Variável Fósforo

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	2,93	0,59	2,20	3,60	2,35	3,60
RP	2	6	3,50	0,41	3,00	4,20	3,15	3,75
CM	1	6	2,75	0,47	2,50	3,70	2,50	2,95
CM	2	6	3,23	0,51	2,80	4,20	2,95	3,60
VM	1	3	3,83	0,38	3,40	4,10	3,40	4,10
VM	2	4	3,98	0,63	3,10	4,60	3,35	4,48

Tabela A17 – Estatísticas Descritivas da Variável Cálcio

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	21,77	4,15	17,50	27,40	17,58	25,15
RP	2	6	15,40	1,97	13,60	19,00	13,90	16,83
CM	1	6	18,15	2,47	16,10	22,30	16,10	20,28
CM	2	6	13,18	2,01	10,30	14,90	10,98	14,90
VM	1	3	18,57	1,14	17,30	19,50	17,30	19,50
VM	2	4	12,03	0,70	11,10	12,80	11,33	12,65

Tabela A18 – Estatísticas Descritivas da Variável Magnésio

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	8,32	0,48	7,80	8,90	7,88	8,90
RP	2	6	7,43	1,13	6,40	9,40	6,48	8,35
CM	1	6	8,97	0,76	7,90	10,10	8,50	9,65
CM	2	6	7,00	0,80	5,90	8,10	6,43	7,80
VM	1	3	8,00	1,25	7,00	9,40	7,00	9,40
VM	2	4	6,68	1,16	5,10	7,90	5,53	7,65

Tabela A19 – Estatísticas Descritivas da Variável Potássio

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	11,62	2,83	8,90	16,90	9,50	13,15
RP	2	6	11,25	1,73	10,10	14,70	10,18	11,93
CM	1	6	11,85	1,06	10,30	13,00	10,75	12,78
CM	2	6	14,18	2,34	11,70	18,30	12,23	15,75
VM	1	3	15,23	1,86	13,30	17,00	13,30	17,00
VM	2	4	14,82	4,53	8,20	18,40	10,15	17,97

Tabela A20 – Estatísticas Descritivas do Índice Peso Seco da Raiz / Peso Seco da Parte Aérea

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	0,42	0,07	0,33	0,55	0,38	0,48
RP	2	6	0,26	0,09	0,13	0,37	0,19	0,34
CM	1	6	0,40	0,11	0,29	0,52	0,29	0,52
CM	2	6	0,29	0,07	0,18	0,39	0,23	0,34
VM	1	6	0,58	0,11	0,40	0,72	0,52	0,67
VM	2	6	0,33	0,10	0,20	0,47	0,24	0,41

Apêndice B – Gráficos

Gráfico B1 – Boxplot da Variável Fotossíntese por área e período

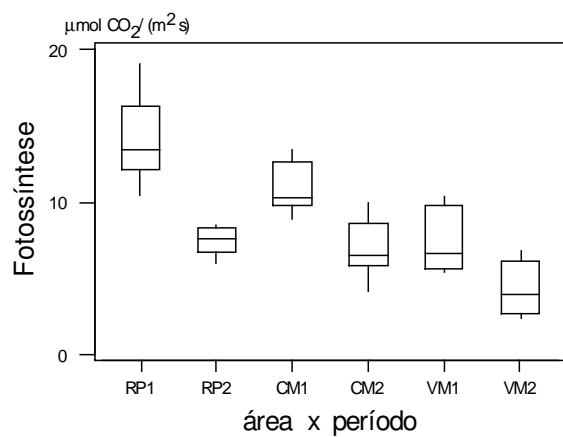


Gráfico B2 – Boxplot da Variável Incremento na Altura por área e período

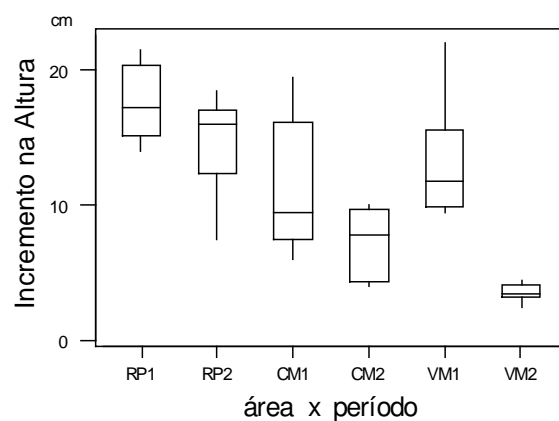


Gráfico B3 – Boxplot da Variável Incremento no Diâmetro por área e período

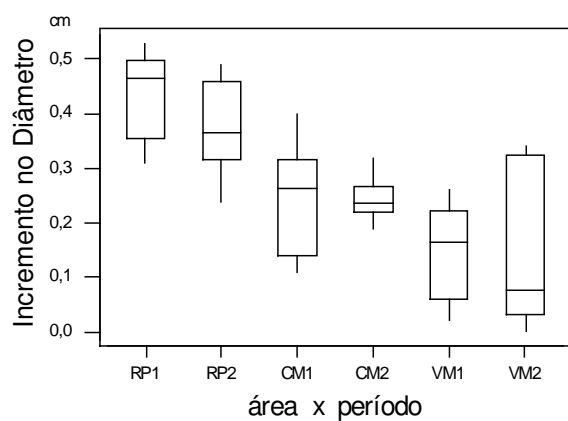


Gráfico B4 – Boxplot da Variável Número de Folhas por área e período

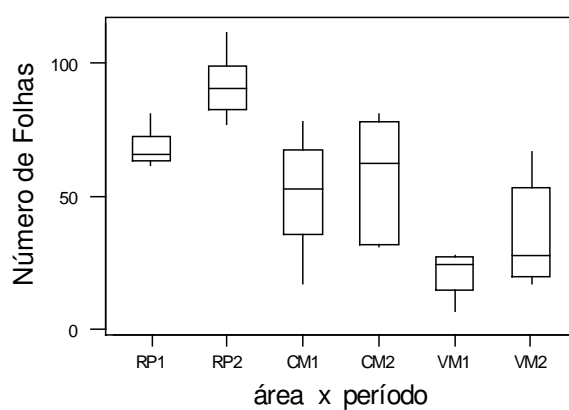


Gráfico B5 – Boxplot da Variável Peso Seco das Folhas por área e período

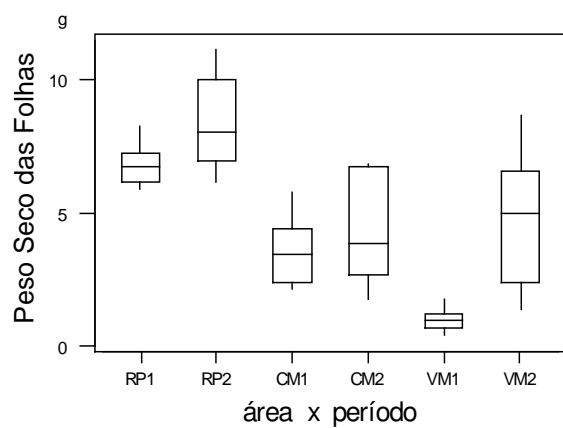


Gráfico B6 – Boxplot da Variável Peso Seco do Caule por área e período

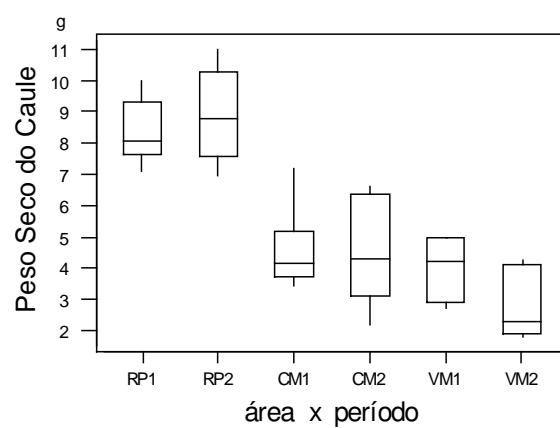


Gráfico B7 – Boxplot da Variável Peso Seco da Parte Aérea por área e período

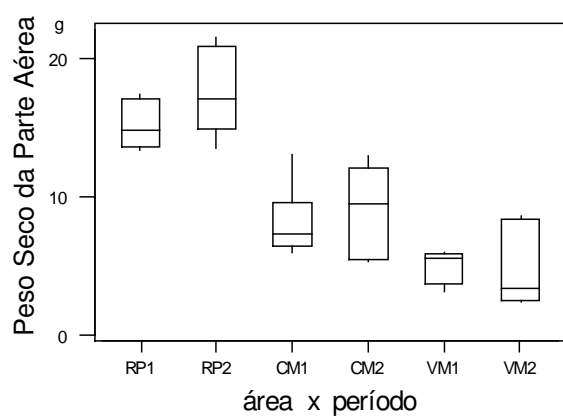


Gráfico B8 – Boxplot da Variável Peso Seco da Raiz por área e período

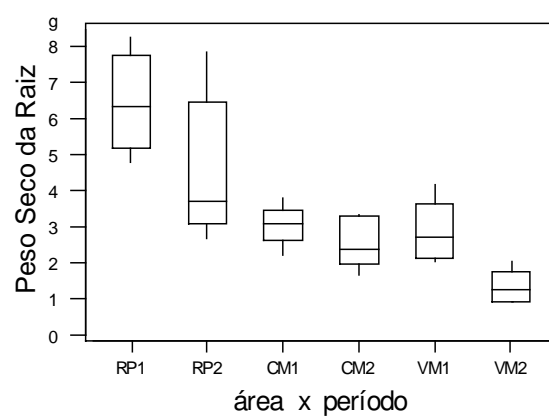


Gráfico B9 – Boxplot da Variável Peso Seco Total por área e período

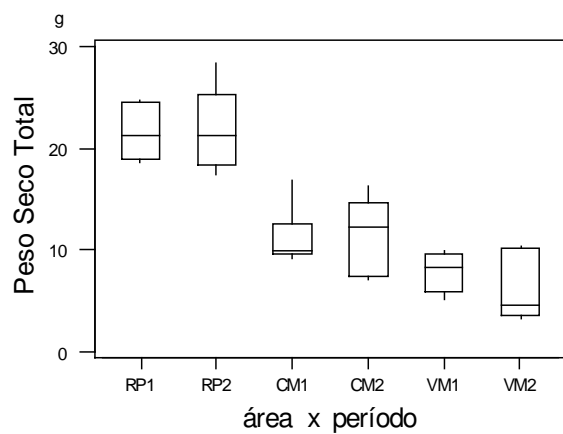


Gráfico B10 – Boxplot da Variável Ácido Ascórbico por área e período

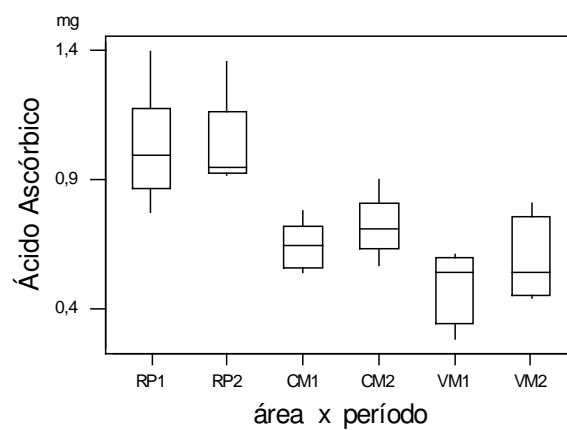


Gráfico B11 – Boxplot da Variável Clorofila A por área e período

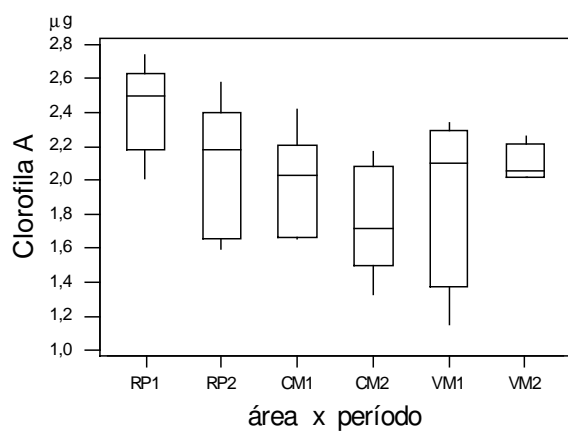


Gráfico B12 – Boxplot da Variável Clorofila B por área e período

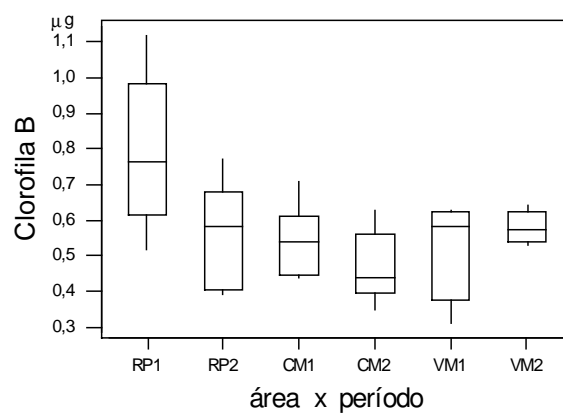


Gráfico B13 – Boxplot da Variável Fluoreto por área e período

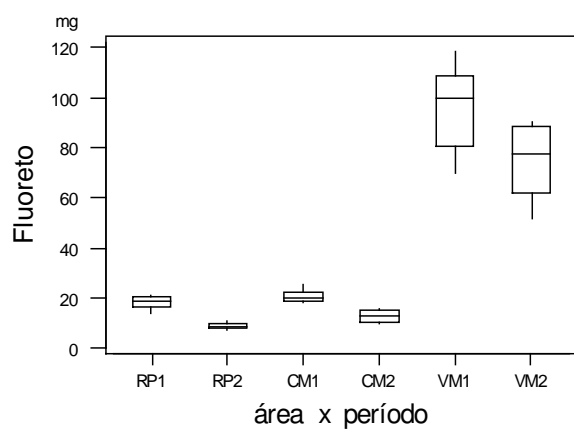


Gráfico B14 – Boxplot da Variável Nitrogênio por área e período

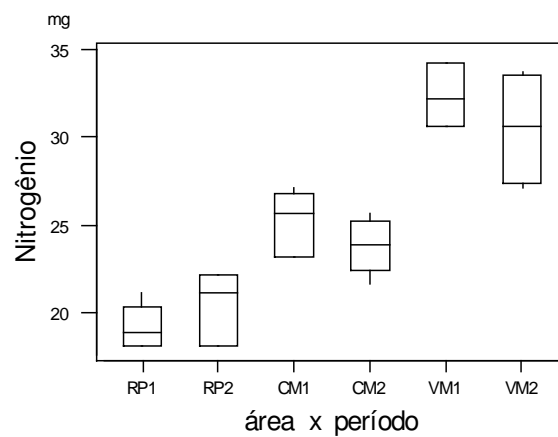


Gráfico B15 – Boxplot da Variável Enxofre por área e período

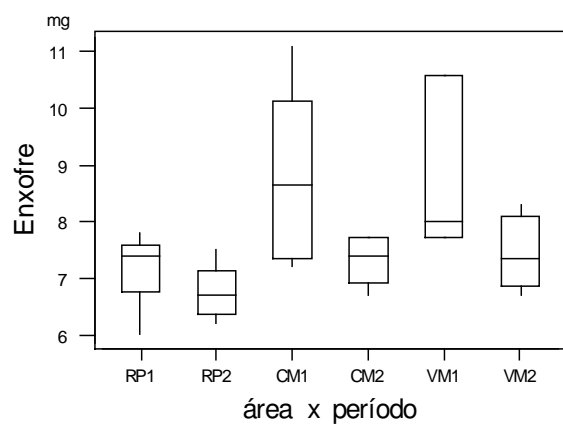


Gráfico B16 – Boxplot da Variável Fósforo por área e período

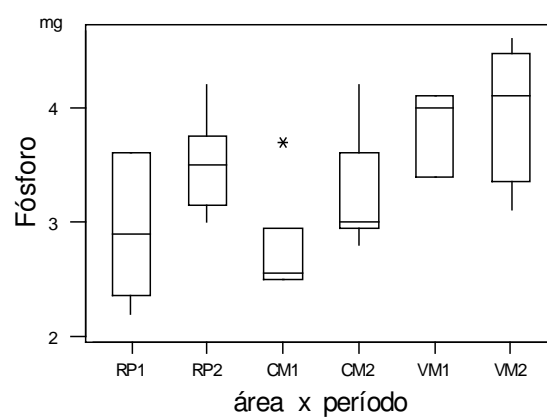


Gráfico B17 – Boxplot da Variável Cálcio por área e período

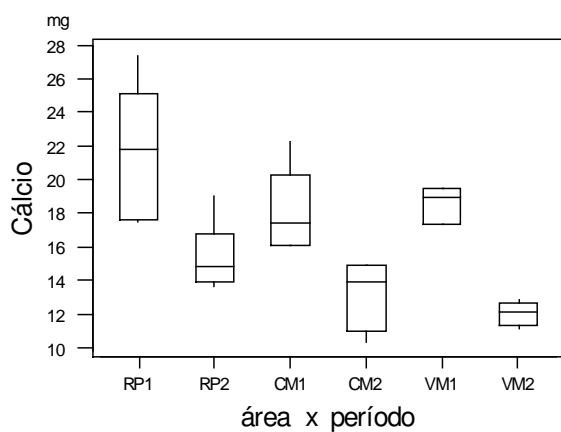


Gráfico B18 – Boxplot da Variável Magnésio por área e período

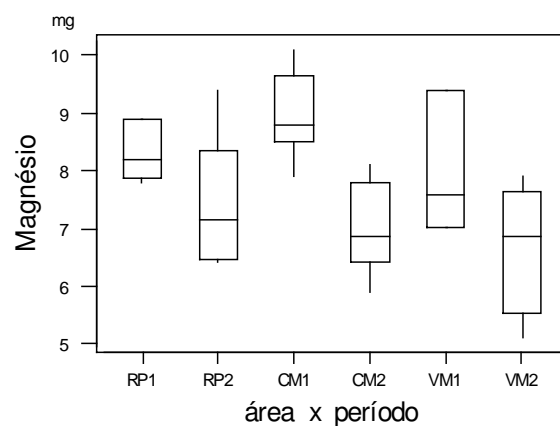


Gráfico B19 – Boxplot da Variável Potássio por área e período

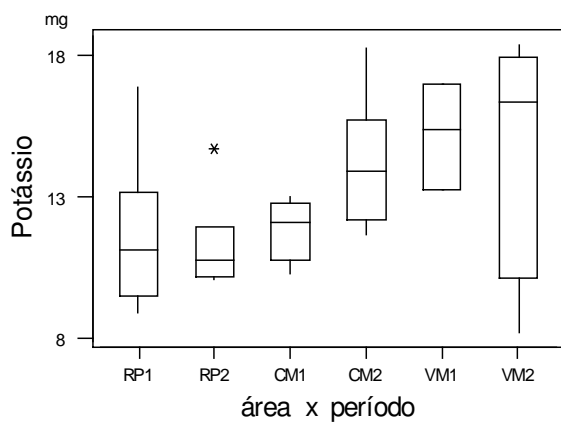
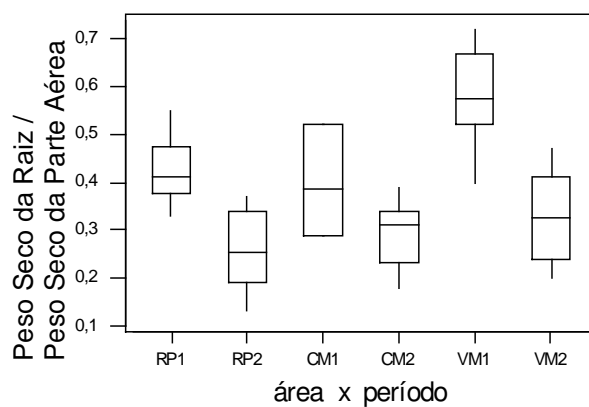


Gráfico B20 – Boxplot do Índice Peso Seco da Raiz / Peso Seco da Parte Aérea por área e período



Apêndice C – Correlações

Tabela C1 – Matriz de Correlações – Período 1

	Fotossíntese	Incremento na Altura	Incremento no Diâmetro	Número de Folhas	Peso Seco das Folhas	Peso Seco do Caule	Peso Seco da Parte Aérea	Peso Seco da Raiz	Peso Seco Total
Incremento na Altura	0,235								
Incremento no Diâmetro	0,751	0,154							
Número de Folhas	0,639	0,312	0,575						
Peso Seco das Folhas	0,792	0,406	0,719	0,890					
Peso Seco do Caule	0,587	0,487	0,651	0,742	0,890				
Peso Seco da Parte Aérea	0,717	0,457	0,707	0,845	0,976	0,968			
Peso Seco da Raiz	0,573	0,516	0,748	0,612	0,805	0,906	0,876		
Peso Seco Total	0,693	0,486	0,738	0,798	0,951	0,975	0,990	0,937	
Ácido Ascórbico	0,491	0,429	0,513	0,660	0,775	0,765	0,790	0,644	0,765
Clorofila A	0,302	0,549	0,401	0,217	0,509	0,501	0,519	0,646	0,571
Clorofila B	0,249	0,554	0,521	0,275	0,544	0,557	0,565	0,722	0,627
Fluoreto	-0,688	-0,240	-0,593	-0,787	-0,784	-0,514	-0,677	-0,476	-0,635
Nitrogênio	-0,598	-0,527	-0,732	-0,758	-0,860	-0,758	-0,826	-0,711	-0,810
Enxofre	-0,292	-0,437	-0,519	-0,006	-0,308	-0,446	-0,383	-0,487	-0,424
Fósforo	0,015	-0,247	-0,105	-0,338	-0,359	-0,351	-0,362	-0,380	-0,376
Cálcio	0,327	0,337	0,394	0,360	0,434	0,354	0,402	0,364	0,400
Magnésio	0,013	-0,193	0,050	0,191	-0,065	-0,302	-0,184	-0,192	-0,191
Potássio	-0,219	-0,156	-0,539	-0,376	-0,401	-0,394	-0,405	-0,424	-0,421
Peso Seco da Raiz/ Peso Seco da Parte Aérea	-0,480	0,045	-0,263	-0,688	-0,584	-0,357	-0,493	-0,050	-0,374

Tabela C1 (continuação) – Matriz de Correlações – Período 1

	Ácido Ascórbico	Clorofila A	Clorofila B	Fluoreto	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Cálcio	Magnésio	Potássio
Clorofila A	0,373									
Clorofila B	0,497	0,903								
Fluoreto	-0,541	-0,422	-0,380							
Nitrogênio	-0,823	-0,554	-0,584	0,768						
Enxofre	-0,556	-0,507	-0,536	0,161	0,549					
Fósforo	-0,240	-0,349	-0,311	0,608	0,385	0,294				
Cálcio	0,621	0,168	0,397	-0,180	-0,465	-0,053	0,339			
Magnésio	-0,402	0,001	-0,145	-0,395	-0,049	0,481	0,031	-0,003		
Potássio	-0,058	-0,232	-0,227	0,569	0,495	0,469	0,666	0,366	-0,038	
Peso Seco da Raiz/ Peso Seco da Parte Aérea	-0,418	0,224	0,185	0,651	0,390	-0,142	0,118	-0,149	-0,059	0,221

Tabela C2 – Matriz de Correlações – Período 2

	Fotossíntese	Incremento na Altura	Incremento no Diâmetro	Número de Folhas	Peso Seco das Folhas	Peso Seco do Caule	Peso Seco da Parte Aérea	Peso Seco da Raiz	Peso Seco Total
Incremento na Altura	0,420								
Incremento no Diâmetro	0,548	0,644							
Número de Folhas	0,551	0,806	0,855						
Peso Seco das Folhas	0,269	0,657	0,598	0,759					
Peso Seco do Caule	0,429	0,886	0,787	0,905	0,763				
Peso Seco da Parte Aérea	0,477	0,885	0,802	0,945	0,818	0,979			
Peso Seco da Raiz	0,328	0,720	0,488	0,661	0,658	0,798	0,822		
Peso Seco Total	0,464	0,879	0,768	0,916	0,805	0,972	0,993	0,882	
Ácido Ascórbico	0,535	0,665	0,759	0,666	0,460	0,761	0,733	0,418	0,693
Clorofila A	0,081	0,385	0,076	0,247	0,543	0,234	0,282	0,264	0,284
Clorofila B	0,047	0,353	0,004	0,177	0,498	0,147	0,205	0,212	0,209
Fluoreto	-0,695	-0,655	-0,709	-0,728	-0,353	-0,684	-0,725	-0,612	-0,728
Nitrogênio	-0,685	-0,756	-0,756	-0,705	-0,533	-0,749	-0,764	-0,656	-0,772
Enxofre	-0,482	-0,404	-0,434	-0,489	-0,358	-0,467	-0,508	-0,536	-0,527
Fósforo	-0,116	-0,143	-0,520	-0,304	0,000	-0,244	-0,252	-0,068	-0,232
Cálcio	0,385	0,619	0,600	0,654	0,523	0,630	0,631	0,284	0,583
Magnésio	0,614	0,379	0,250	0,342	0,122	0,165	0,218	-0,010	0,176
Potássio	-0,647	-0,455	-0,359	-0,330	-0,261	-0,429	-0,415	-0,381	-0,422
Peso Seco da Raiz/ Peso Seco da Parte Aérea	-0,283	-0,363	-0,718	-0,682	-0,513	-0,464	-0,509	-0,007	-0,423

Tabela C2 (continuação) – Matriz de Correlações – Período 2

	Ácido Ascórbico	Clorofila A	Clorofila B	Fluoreto	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Cálcio	Magnésio	Potássio
Clorofila A	-0,086									
Clorofila B	-0,172	0,979								
Fluoreto	-0,622	0,210	0,247							
Nitrogênio	-0,654	-0,315	-0,271	0,868						
Enxofre	-0,373	-0,136	-0,118	0,420	0,516					
Fósforo	-0,092	0,144	0,208	0,580	0,495	0,041				
Cálcio	0,659	0,345	0,226	-0,505	-0,568	-0,041	-0,479			
Magnésio	0,366	0,393	0,416	-0,244	-0,434	-0,453	0,031	0,320		
Potássio	-0,606	-0,363	-0,291	0,291	0,359	0,508	0,134	-0,316	-0,285	
Peso Seco da Raiz/ Peso Seco da Parte Aérea	-0,367	-0,216	-0,167	0,423	0,459	0,100	0,485	-0,632	-0,340	-0,036

Apêndice D – Análise de Conglomerados

Gráfico D1 – Dendrograma da Análise de Conglomerados – Período 1

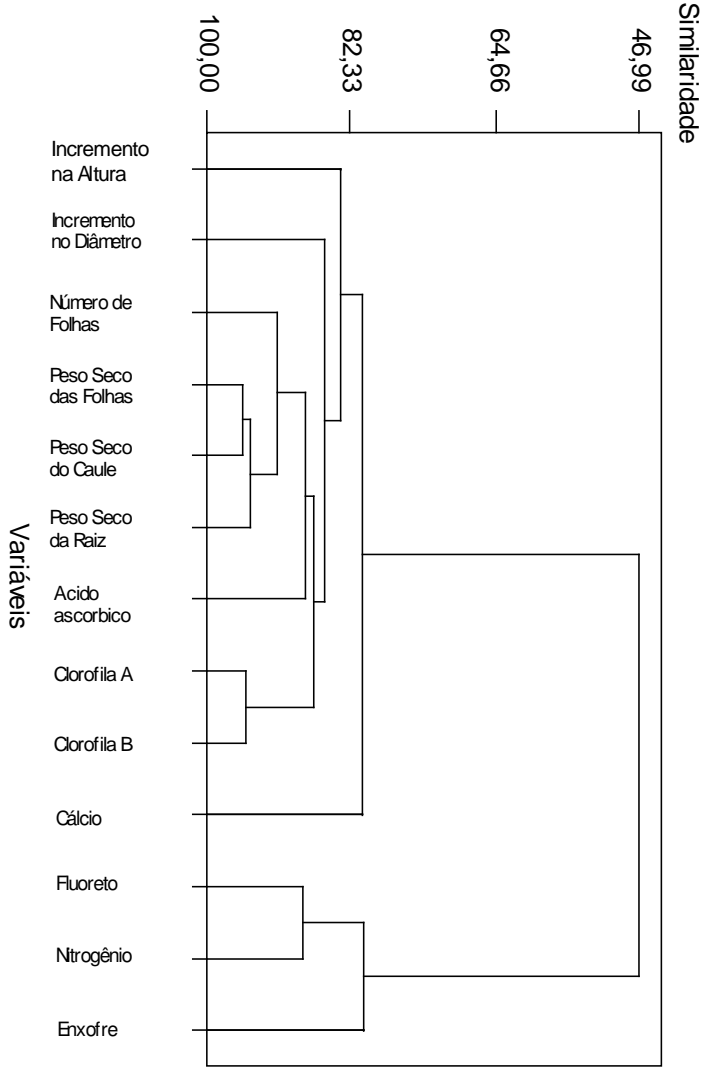
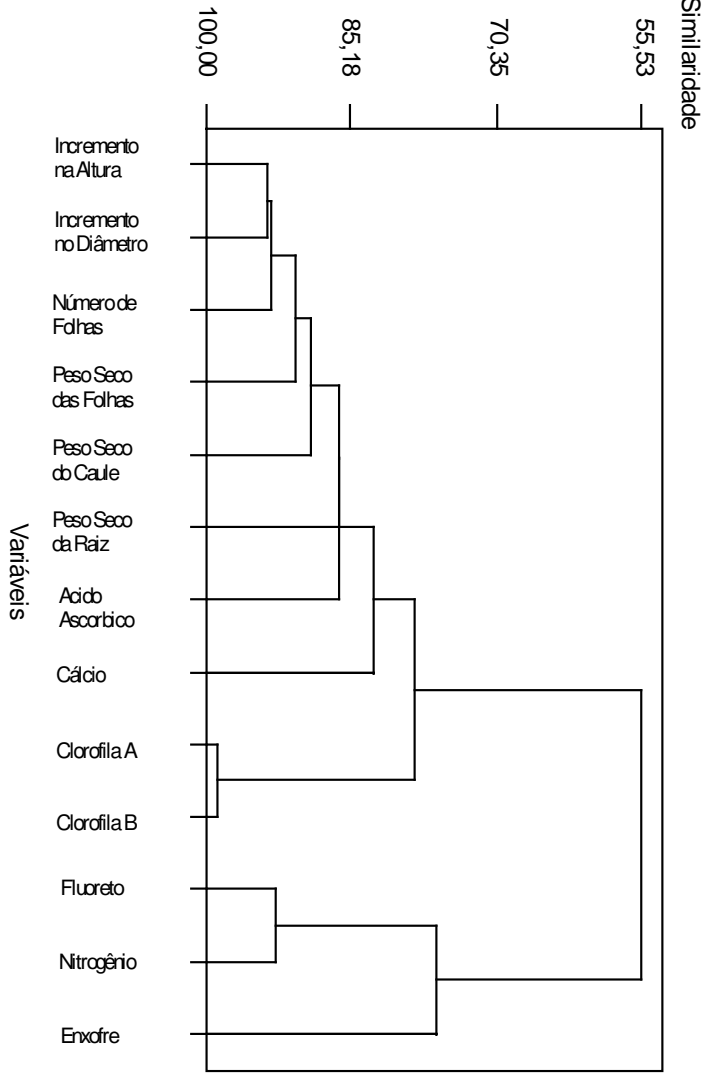


Gráfico D2 – Dendrograma da Análise de Conglomerados – Período 2



Apêndice E – Análise de Componentes Principais

Tabela E1 – Estatísticas Descritivas dos Escores da 1ª Componente Principal –
Período 1

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º quartil	3º quartil
RP	1	6	2,580	0,686	1,637	3,211	2,011	3,199
CM	1	6	-0,658	0,808	-1,649	0,766	-1,271	-0,223
VM	1	3	-1,922	0,630	-3,107	-1,362	-2,325	-1,514

Gráfico E1 – Boxplot dos Escores da 1ª Componente Principal por área – Período 1

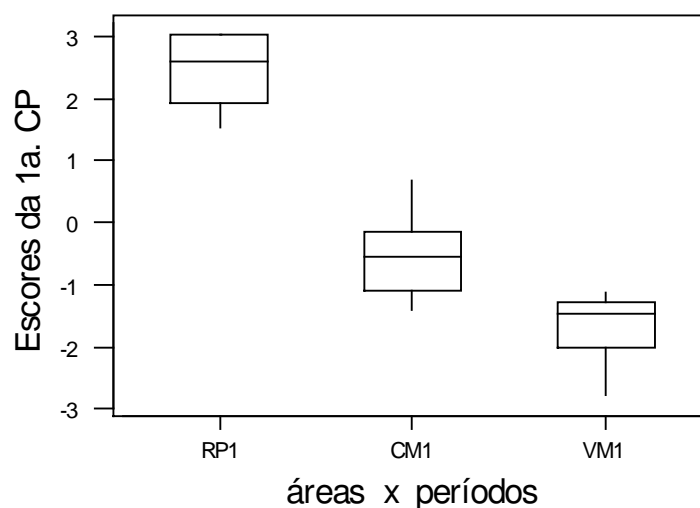
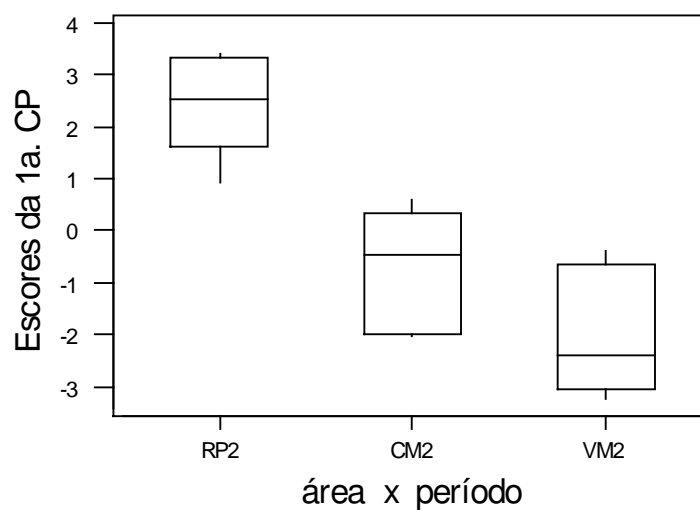


Tabela E2 – Estatísticas Descritivas dos Escores da 1ª Componente Principal – Período 2

Área	Período	Número de Plantas	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	1º Quartil	3º quartil
RP	2	6	2,509	0,992	0,947	3,494	1,690	3,365
CM	2	6	-0,581	-0,390	-1,962	0,649	-1,845	0,470
VM	2	3	-1,928	-2,272	-3,079	-0,391	-2,920	-0,612

Gráfico E2 – Boxplot dos Escores da 1ª Componente Principal por área – Período 2



Apêndice F – Gráficos – Análise de Resíduos

Gráfico F1 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância – Ácido
Ascórbico – Período 1

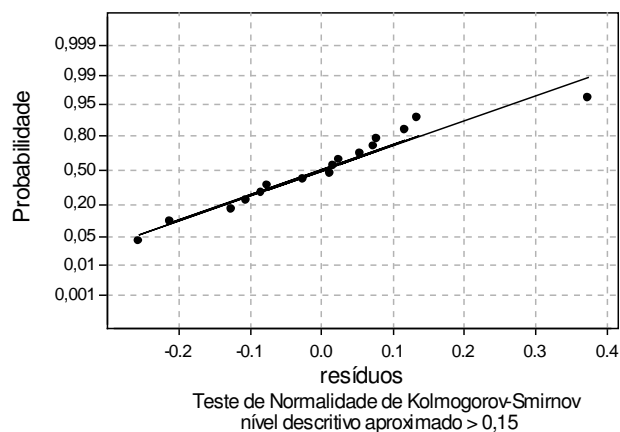


Gráfico F2 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância – Fluoreto –
Período 1

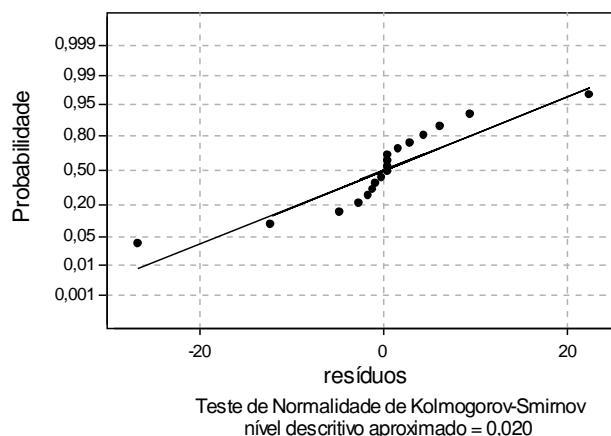


Gráfico F3 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância –
Fotossíntese – Período 1

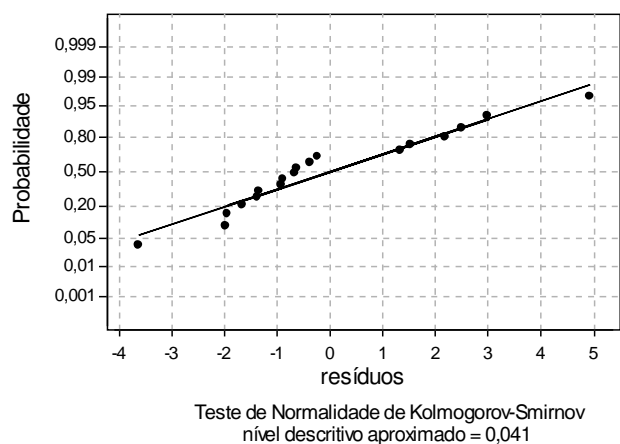


Gráfico F4 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância – Nitrogênio
– Período 1

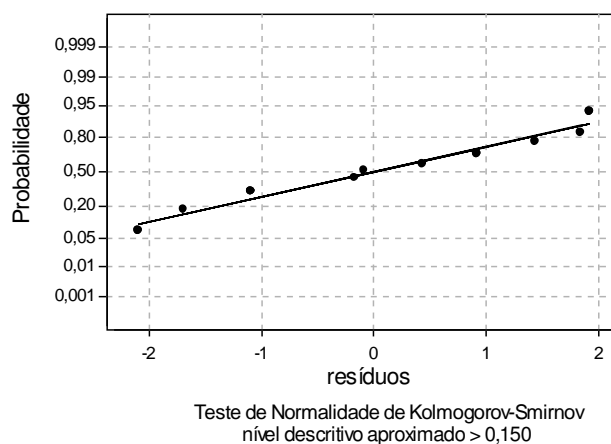


Gráfico F5 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância – Peso Seco
Total – Período 1

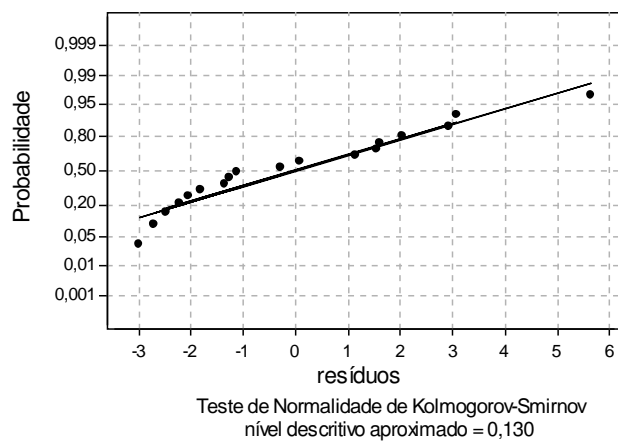


Gráfico F6 – Resíduos da Análise de Variância
em função da área – Ácido
Ascórbico – Período 1

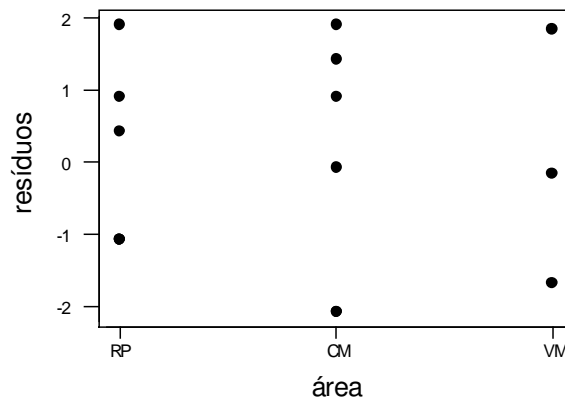


Gráfico F7 – Resíduos da Análise de Variância
em função da área – Fluoreto –
Período 1

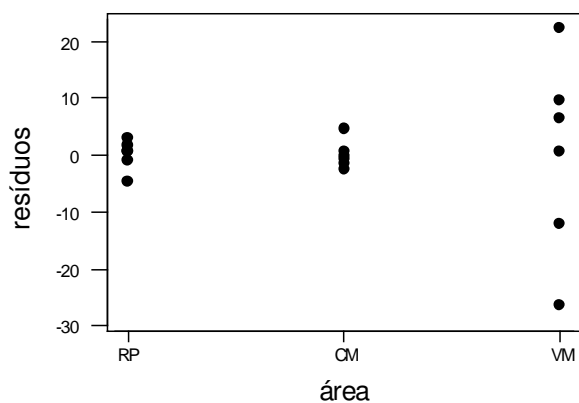


Gráfico F8 – Resíduos da Análise de Variância
em função da área – Fotossíntese
– Período 1

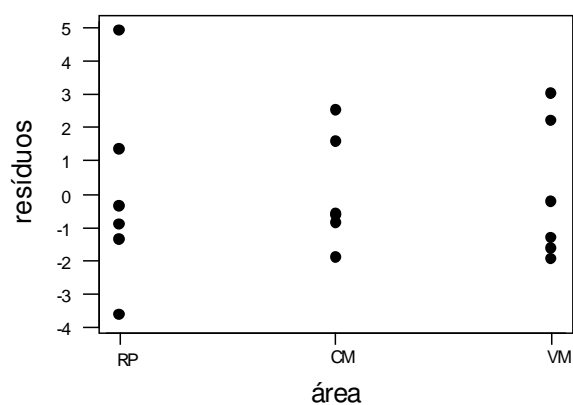


Gráfico F9 – Resíduos da Análise de Variância em função da área – Nitrogênio – Período 1

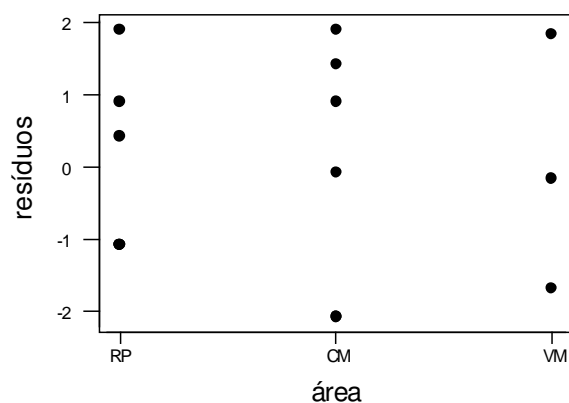


Gráfico F10 – Resíduos da Análise de Variância em função da área – Peso Seco Total – Período 1

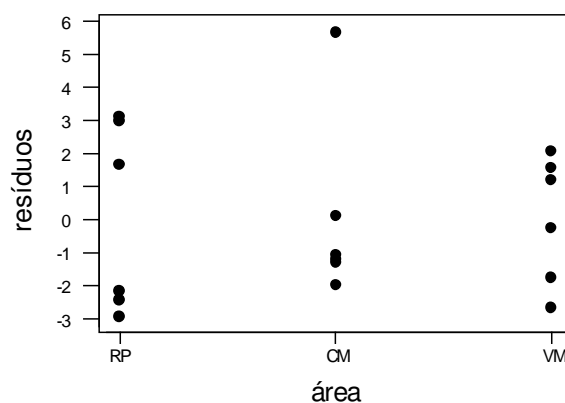


Gráfico F11 – “Normal Plot” dos Resíduos da Análise de Variância – Ácido Ascórbico – Período 2

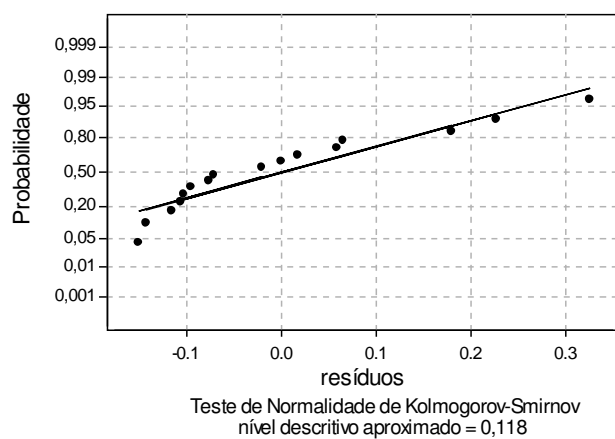


Gráfico F12 – “Normal Plot” dos Resíduos da Análise de Variância – Fluoreto – Período 2

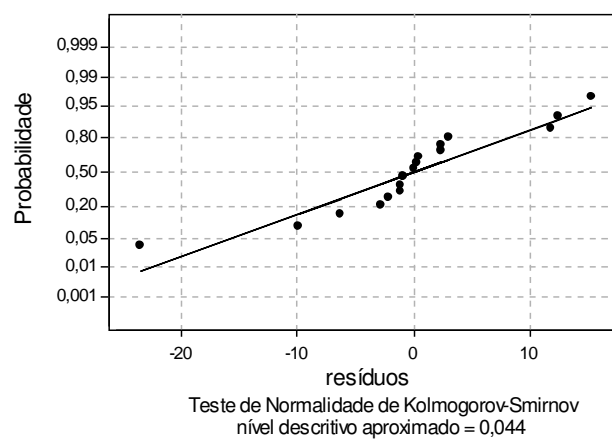


Gráfico F13 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância –
Fotossíntese – Período 2

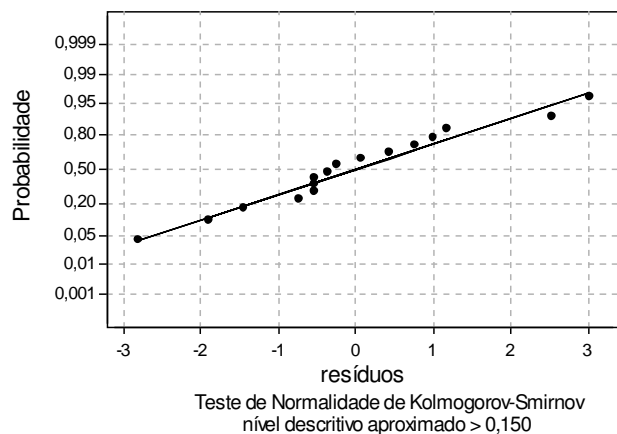


Gráfico F14 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância – Nitrogênio
– Período 2

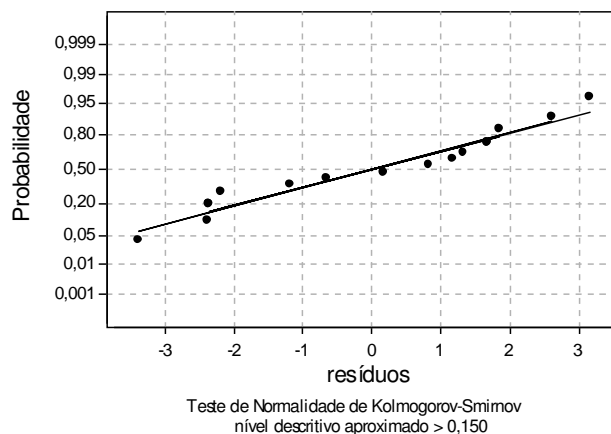


Gráfico F15 – “Normal Plot” dos Resíduos da
Análise de Variância – Peso
Seco Total – Período 2

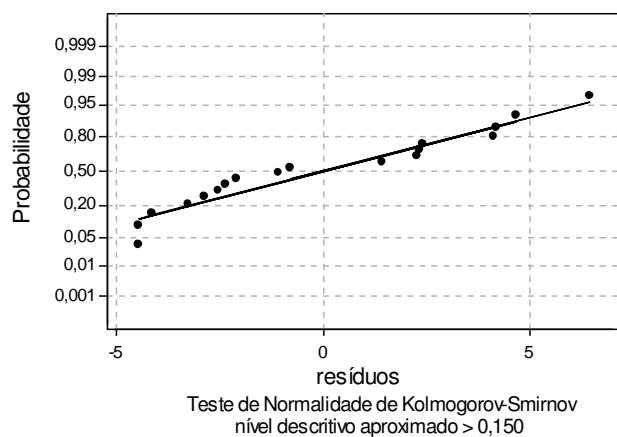


Gráfico F16 – Resíduos da Análise de Variância
em função da área – Ácido
Ascórbico – Período 2

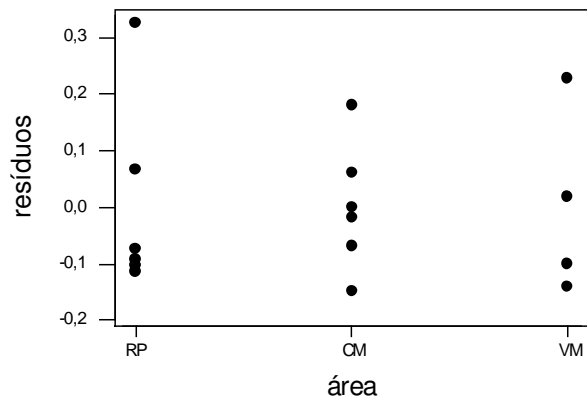


Gráfico F17 – Resíduos da Análise de Variância em função da área – Fluoreto – Período 2

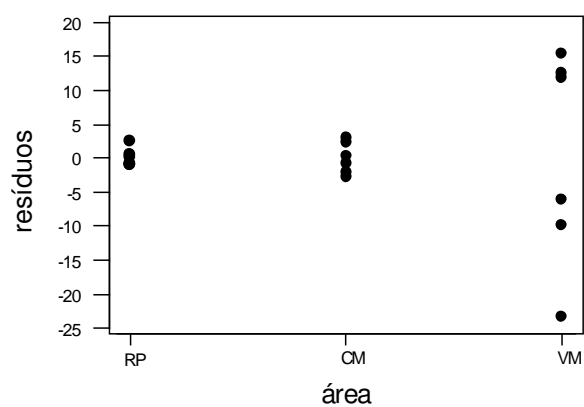


Gráfico F18 – Resíduos da Análise de Variância por área – Fotossíntese – Período 2

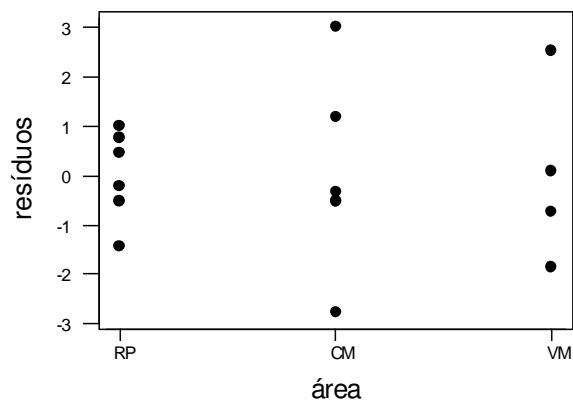


Gráfico F19 – Resíduos da Análise de Variância em função da área – Nitrogênio – Período 2

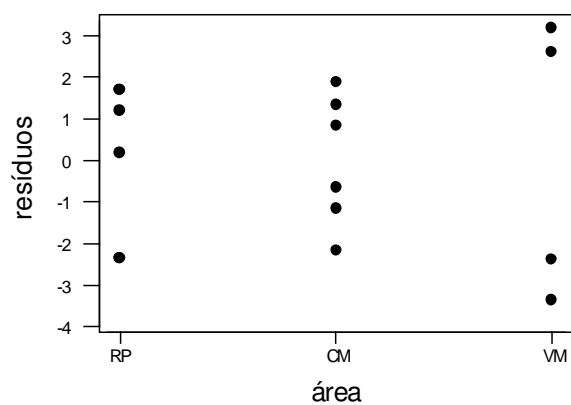


Gráfico F20 – Resíduos da Análise de Variância em função da área – Peso Seco Total – Período 2

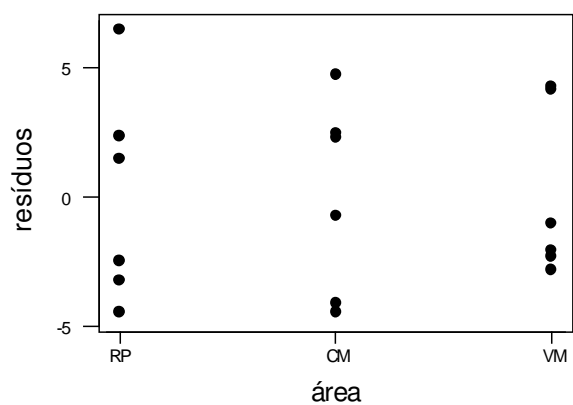


Gráfico F21 – Resíduos do Modelo (3) em função do Nitrogênio

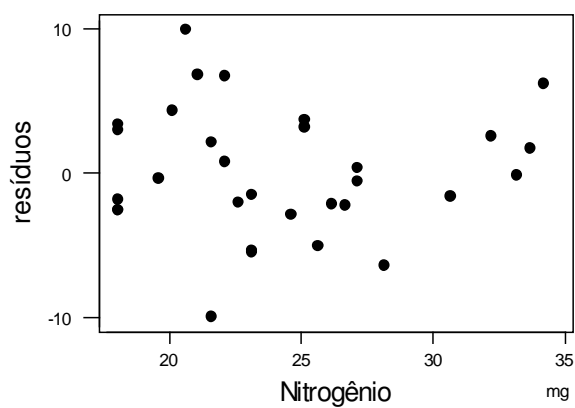


Gráfico F22 – Resíduos do Modelo (3) em função do Período

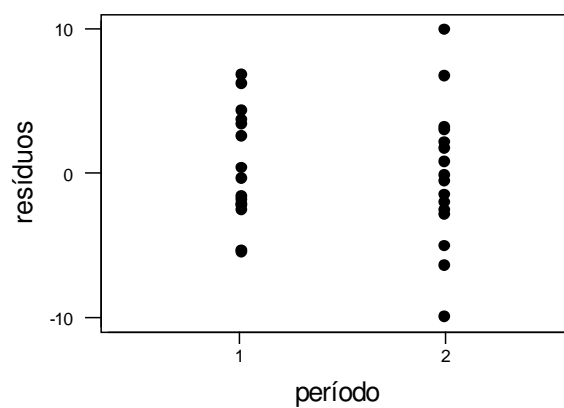


Gráfico F23 – Resíduos do Modelo (3) em função da área

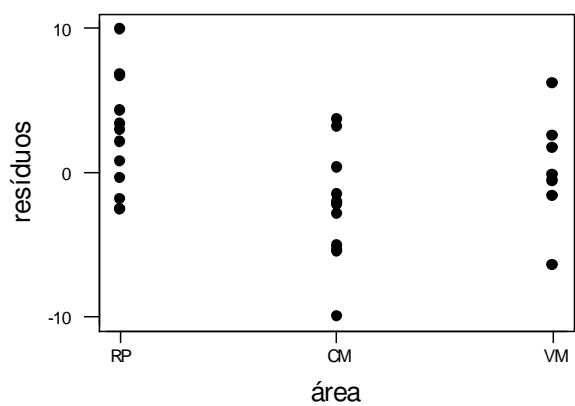


Gráfico F24 – “Normal Plot” dos Resíduos do Modelo (3)

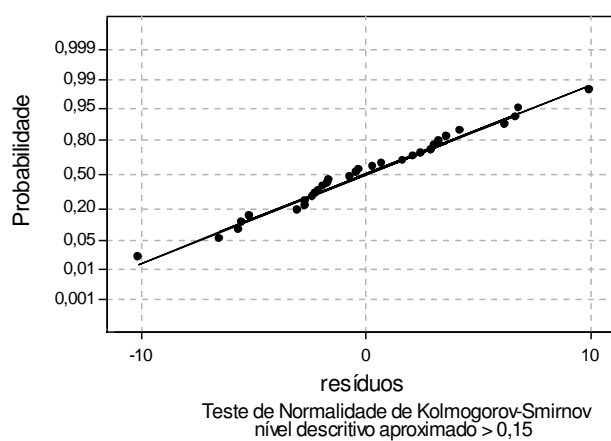


Gráfico F25 – Resíduos do Modelo (6) em função do Nitrogênio

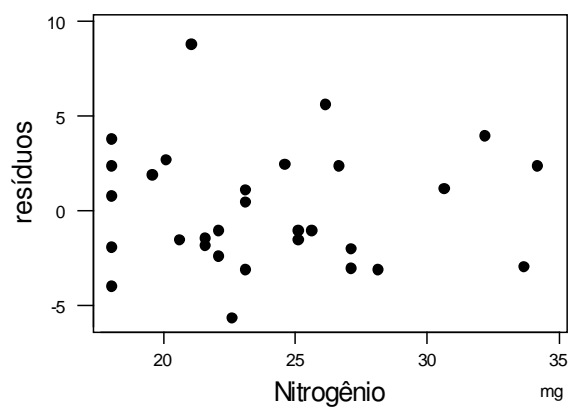


Gráfico F26 – Resíduos do Modelo (6) em função do Enxofre

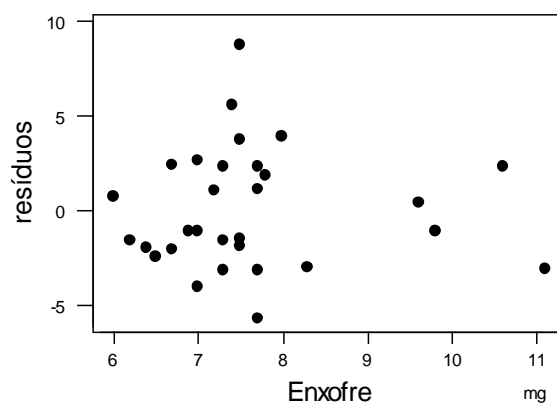


Gráfico F27 – Resíduos do Modelo (6) em função do Período

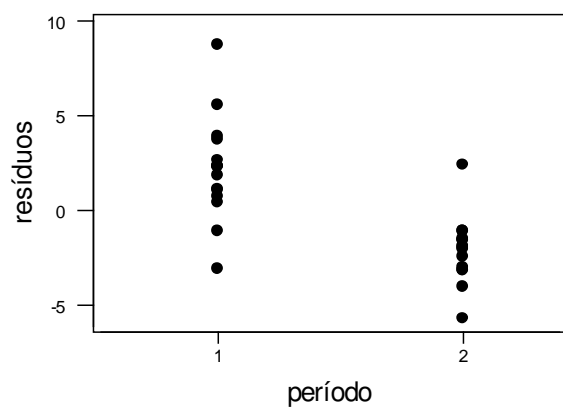


Gráfico F28 – Resíduos do Modelo (6) em função da área

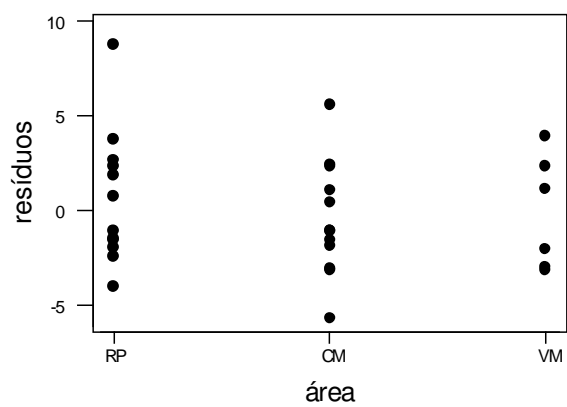


Gráfico F29 – “Normal Plot” dos Resíduos do Modelo (6)

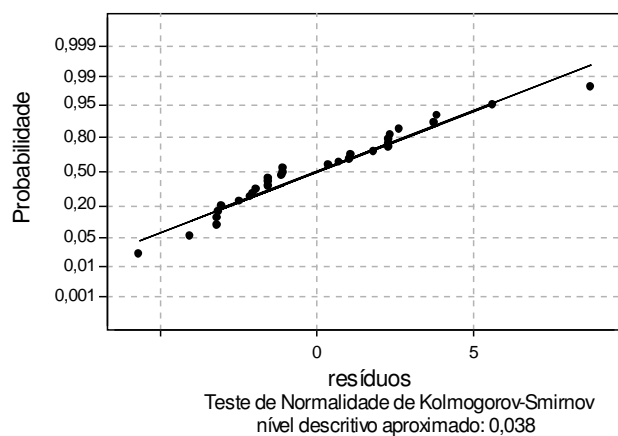


Gráfico F30 – Fotossíntese em função do Nitrogênio, segundo os períodos

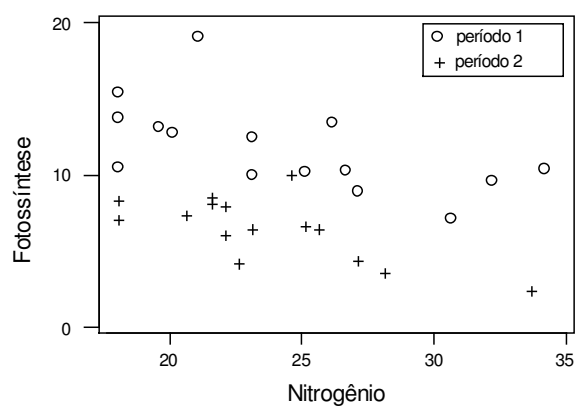


Gráfico F31 – Resíduos do modelo (8) em função do Nitrogênio

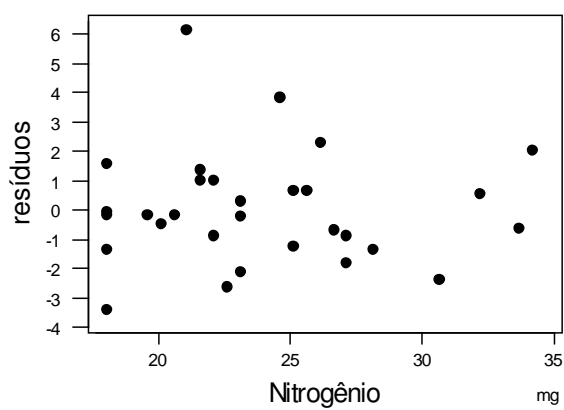


Gráfico F32 – Resíduos do Modelo (8) em função da área

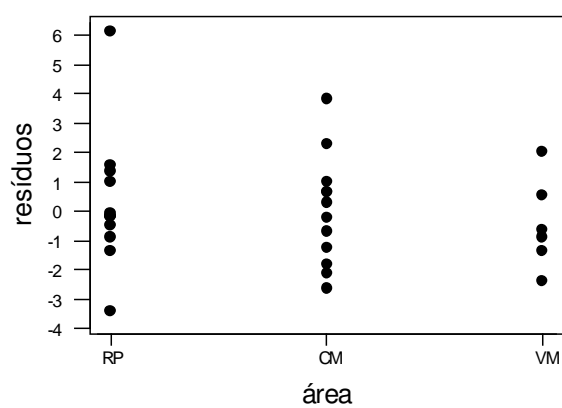


Gráfico F33 – “Normal Plot” dos Resíduos do
Modelo (8)

