

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Caracterização da curva de crescimento, desenvolvimento e marcha de  
absorção de nutrientes da cultura de soja**

**Taís Sacheto**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra  
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba  
2024**

**Taís Sacheto**  
**Engenheira Agrônoma**

**Caracterização da curva de crescimento, desenvolvimento e marcha de absorção de  
nutrientes da cultura de soja**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra  
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba**  
**2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Sacheto, Taís

Caracterização da curva de crescimento, desenvolvimento e marcha de absorção de nutrientes da cultura de soja / Taís Sacheto. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2024.

257 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. *Glycine max* 2. Análise de crescimento 3. Extração de nutrientes I. Título

## AGRADECIMENTOS

Nessa jornada em busca de um sonho incluiu uma trajetória permeada por inúmeros desafios, superações, angústias, incertezas, alegrias e muitos percalços pelo caminho, mas apesar do processo solitário a que qualquer pesquisador está destinado, reúne contribuições de várias pessoas, indispensáveis para encontrar o melhor rumo em cada momento da caminhada.

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar em todos os momentos, por sempre colocar pessoas certas em meu caminho, as quais acreditam no meu potencial e me encorajam a prosseguir.

Minha gratidão especial ao meu orientador Professor Doutor Durval Dourado Neto, pela excelente pessoa e grande profissional. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados de forma admirável, e por me guiar nos primeiros passos da pós-graduação e principalmente, por sempre ter acreditado e depositado sua confiança em mim. Sem sua orientação, apoio, confiança e amizade nada disso seria possível.

Aos meus pais, Miriam Barbosa Sacheto e Samuel Sacheto, que nunca mediram esforços para me ensinar o caminho do bem, e sempre me apoiaram em todas as etapas da minha vida. Sem vocês, eu não chegaria até aqui. Muito obrigada por tudo! O amor que sinto por vocês é incondicional.

Meus irmãos, Michelle e Gustavo, cunhados, Atilano Júnior e Ana Cláudia e meu sobrinho Pedro, minha família, sinônimo de amor e união. Obrigada por acreditarem no meu sonho e sempre me motivar a seguir em frente. É muito bom saber que posso contar com cada um de vocês em todos os momentos. Graças a vocês, minha família, sou eternamente grata por tudo que sou, por tudo que consegui conquistar e pela felicidade que tenho.

Agradecimento ao grupo de Fisiologia aplicada e sistemas de produção (Gfasp) da ESALQ, ao líder Lucas Santos que muito me auxiliou na condução do experimento em campo.

Aos meus amigos, Paula e Ronan agradeço por me apoiarem a ingressar no mestrado. As companheiras de vida e fiéis amigas Vivian, Carolina e Sabrina. Aos amigos Marcos e Letícia que me ajudaram nas avaliações realizadas do experimento. Aos amigos de graduação Roberto, Lineia, Rafaela, Ana Flávia, Isabela e Thaís que se tornaram família. E aos amigos Lorraine, Alice, Fernanda, Jhonatan e a equipe do Ali rural do Sebrae que conquistei durante

esta jornada e me acolheram com todo amor. Muito obrigada meus amigos por acreditarem em mim e por cada gesto de amor e carinho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) pela bolsa concedida e apoio.

À USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por ceder ótima estrutura para desenvolver os projetos, excelente corpo docente que visa compartilhar o máximo de ensinamentos e experiências. E aos funcionários sempre receptivos e prontos para nos ajudar, especialmente agradeço a Sandra por todo auxílio e paciência.

Grata por todos que de alguma forma contribuiu para realização e a conquista deste objetivo.

**EPÍGRAFE**

*“Tudo posso naquele que me fortalece”.*

Filipenses 4:13

## SUMÁRIO

RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS .....	14
LISTA DE TABELAS .....	21
LISTA DE SÍMBOLOS .....	33
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>38</b>
2.1 Cultura de soja .....	38
2.1.1 Introdução da cultura de soja no Brasil e sua importância .....	38
2.1.2 Descrição botânica.....	39
2.1.3 Práticas de manejo de soja no Brasil .....	42
2.1.4 Grupos de maturação .....	44
2.1.5 Sistema de produção irrigado e sequeiro .....	45
2.2 Fenologia .....	46
2.3 Modelagem na agricultura .....	49
2.4 Curva de crescimento .....	52
2.5 Marcha de absorção de nutrientes.....	53
2.6 Nutrientes essenciais e sódio .....	54
2.6.1.1 Nitrogênio.....	55
2.6.1.2 Fósforo.....	56
2.6.1.3 Potássio.....	56
2.6.1.4 Cálcio.....	57
2.6.1.5 Magnésio.....	57
2.6.1.6 Enxofre.....	57
2.6.1.7 Boro.....	58
2.6.1.8 Cobre.....	58
2.6.1.9 Ferro.....	59
2.6.1.10 Manganês.....	59
2.6.1.11 Zinco.....	59
2.6.1.12 Sódio (elemento não essencial).....	60
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>62</b>
3.1 Local .....	62
3.2 Época de semeadura .....	62
3.3 Experimentos .....	62
3.4 Parcela experimental.....	62
3.5 População de plantas.....	63
3.6 Delineamento experimental .....	63
3.7 Condução dos experimentos .....	63

3.8	Avaliações .....	64
3.8.1	Estádios fenológicos.....	64
3.8.2	Variáveis avaliadas.....	64
3.9	Modelo referente à caracterização do acúmulo de massa de matéria seca .....	64
3.9.1	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de raiz .....	65
3.9.2	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de folha.....	65
3.9.3	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de haste.....	65
3.9.4	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de vagens .....	66
3.9.5	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca total .....	66
3.9.6	Caracterização da taxa de acúmulo de massa de matéria seca total .....	66
3.9.7	Caracterização da composição da massa de matéria seca total: teor de macronutrientes .....	66
3.9.7.1	Teor de nitrogênio.....	66
3.9.7.2	Teor de fósforo.....	67
3.9.7.3	Teor de potássio.....	67
3.9.7.4	Teor de cálcio.....	67
3.9.7.5	Teor de magnésio.....	68
3.9.7.6	Teor de enxofre.....	68
3.9.8	Caracterização da composição da massa de matéria seca total: teor de micronutrientes.....	68
3.9.8.1	Teor de boro.....	68
3.9.8.2	Teor de cobre.....	68
3.9.8.3	Teor de ferro.....	69
3.9.8.4	Teor de manganês.....	69
3.9.8.5	Teor de zinco.....	69
3.9.8.6	Teor de sódio (elemento não essencial).....	69
3.10	Modelo referente à caracterização do acúmulo de nutrientes totais .....	70
3.10.1	Caracterização da variação temporal da extração de nutrientes essenciais .....	70
3.10.2	Caracterização da variação temporal da taxa de extração de nutrientes essenciais .....	70
3.10.2.1	Taxa de extração de nitrogênio.....	71
3.10.2.2	Taxa de extração de fósforo.....	71
3.10.2.3	Taxa de extração de potássio.....	71
3.10.2.4	Taxa de extração de cálcio.....	72
3.10.2.5	Taxa de extração de magnésio.....	72
3.10.2.6	Taxa de extração de enxofre.....	73
3.10.2.7	Taxa de extração de boro.....	73
3.10.2.8	Taxa de extração de cobre.....	73
3.10.2.9	Taxa de extração de ferro.....	74
3.10.2.10	Taxa de extração de manganês.....	74
3.10.2.11	Taxa de extração de zinco.....	75
3.10.2.12	Taxa de extração de sódio (elemento não essencial).....	75



3.11	Análise estatística .....	75
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>76</b>
4.1	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de raiz .....	76
4.1.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	77
4.1.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	79
4.1.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	81
4.1.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	82
4.2	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de folha .....	84
4.2.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	85
4.2.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	86
4.2.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	87
4.2.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	89
4.3	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de haste .....	91
4.3.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	91
4.3.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	93
4.3.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	94
4.3.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	96
4.4	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de vagens .....	97
4.4.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	98
4.4.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	100
4.4.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	101
4.4.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	103
4.5	Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca total .....	104
4.5.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	105
4.5.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	107
4.5.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	109
4.5.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	110
4.6	Caracterização da composição da matéria seca total: teor de macronutrientes .....	112
4.6.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	112
4.6.1.1	Teor de nitrogênio.....	113
4.6.1.2	Teor de fósforo.....	114
4.6.1.3	Teor de potássio.....	115
4.6.1.4	Teor de cálcio.....	117
4.6.1.5	Teor de magnésio.....	118
4.6.1.6	Teor de enxofre.....	120
4.6.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	121
4.6.2.1	Teor de nitrogênio.....	122
4.6.2.2	Teor de fósforo.....	124
4.6.2.3	Teor de potássio.....	125
4.6.2.4	Teor de cálcio.....	127
4.6.2.5	Teor de magnésio.....	128

4.6.2.6	Teor de enxofre.....	130
4.6.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III).....	131
4.6.3.1	Teor de nitrogênio.....	132
4.6.3.2	Teor de fósforo.....	133
4.6.3.3	Teor de potássio.....	135
4.6.3.4	Teor de cálcio.....	136
4.6.3.5	Teor de magnésio.....	138
4.6.3.6	Teor de enxofre.....	139
4.6.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV).....	140
4.6.4.1	Teor de nitrogênio.....	141
4.6.4.2	Teor de fósforo.....	143
4.6.4.3	Teor de potássio.....	145
4.6.4.4	Teor de cálcio.....	146
4.6.4.5	Teor de magnésio.....	148
4.6.4.6	Teor de enxofre.....	149
4.7	Caracterização da composição da matéria seca total: teor de micronutrientes .....	151
4.7.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I) .....	151
4.7.1.1	Teor de boro.....	151
4.7.1.2	Teor de cobre.....	153
4.7.1.3	Teor de ferro.....	154
4.7.1.4	Teor de manganês.....	156
4.7.1.5	Teor de zinco.....	157
4.7.1.6	Teor de sódio.....	159
4.7.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	160
4.7.2.1	Teor de boro.....	161
4.7.2.2	Teor de cobre.....	162
4.7.2.3	Teor de ferro.....	164
4.7.2.4	Teor de manganês.....	166
4.7.2.5	Teor de zinco.....	167
4.7.2.6	Teor de sódio.....	169
4.7.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III).....	170
4.7.3.1	Teor de boro.....	171
4.7.3.2	Teor de cobre.....	173
4.7.3.3	Teor de ferro.....	174
4.7.3.4	Teor de manganês.....	176
4.7.3.5	Teor de zinco.....	178
4.7.3.6	Teor de sódio.....	179
4.7.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV).....	180
4.7.4.1	Teor de boro.....	181

4.7.4.2	Teor de cobre.....	182
4.7.4.3	Teor de ferro.....	184
4.7.4.4	Teor de manganês.....	186
4.7.4.5	Teor de zinco.....	187
4.7.4.6	Teor de sódio.....	189
4.8	Caracterização da variação temporal da extração de macronutrientes essenciais .....	190
4.8.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	190
4.8.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	192
4.8.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	194
4.8.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	196
4.9	Caracterização da variação temporal da extração de micronutrientes essenciais.....	198
4.9.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	198
4.9.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	200
4.9.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	202
4.9.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	204
4.10	Caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes essenciais.....	206
4.10.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	206
4.10.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	209
4.10.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	210
4.10.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	213
4.11	Caracterização da variação temporal da taxa de extração de micronutrientes essenciais .....	215
4.11.1	Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).....	215
4.11.2	Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).....	217
4.11.3	Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) .....	219
4.11.4	Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) .....	221
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>224</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>239</b>

## RESUMO

### **Caracterização da curva de crescimento, desenvolvimento e marcha de absorção de nutrientes da cultura de soja**

Com o objetivo de: (i) realizar a curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz, haste, folha, órgãos reprodutivos e total (curva de crescimento) da cultura de soja de cultivares de ciclo precoce e tardio sob sistema de condição irrigada e de sequeiro, (ii) caracterizar a curva referente a taxa de acúmulo de massa de matéria seca ( $\text{kg d}^{-1}$ ) da cultura de soja de cultivares de ciclo precoce e tardio sob sistema de condição irrigada e de sequeiro, (iii) caracterizar a composição média de nutrientes para o ciclo da cultura da soja sendo eles nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, sódio e zinco, e (iv) marcha de absorção ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e taxa de absorção ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de nutrientes no decorrer do ciclo da cultura de soja, foram instalados (semeadura realizada no dia 26 de outubro de 2021) quatro experimentos, utilizando cultivares precoce (Monsoy-5917- IPRO) e tardio (TMG-7063-IPRO) sob sistemas de produção irrigado e sequeiro, na área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, localizada na cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, com o manejo e condução similares: (Experimento I) cultivar precoce em sistema irrigado, (Experimento II) cultivar precoce em sistema de sequeiro, (Experimento III) cultivar tardio em sistema irrigado, e (Experimento IV) cultivar tardio em sistema de sequeiro. Com base nos resultados obtidos referentes ao ciclo da cultura de soja (cultivares de ciclo precoce e tardio) sob sistema de condição irrigada e de sequeiro, conclui-se que os modelos propostos são adequados para: (i) caracterizar a curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz, haste, folha, órgãos reprodutivos e total (curva de crescimento –  $\text{kg ha}^{-1}$ ), (ii) caracterizar a curva referente à taxa de acúmulo de massa de matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), (iii) caracterizar a composição média de nutrientes (nitrogênio - %, fósforo - %, potássio - %, cálcio - %, magnésio - %, enxofre - %, boro - ppm, cobre - ppm, ferro - ppm, manganês - ppm, e zinco - ppm) e sódio – ppm, e (iv) caracterizar as curvas de marcha de absorção ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e taxa de absorção ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de nutrientes.

Palavras-chave: *Glycine max*, Análise de crescimento, Extração de nutrientes

## ABSTRACT

### **Characterization of the growth curve, development, and nutrient absorption rate of soybean crops**

With the aim of: (i) carrying out the dry matter accumulation curve of root, stem, leaf, reproductive organs and total (growth curve) soybean crop of early and late cycle cultivars under irrigated and rainfed conditions, (ii) characterize the curve referring to the dry matter accumulation rate ( $\text{kg d}^{-1}$ ) of the soybean crop of early and late cycle cultivars under irrigated and rainfed conditions, (iii) characterize the average composition of essential nutrients for the cycle of the soybean crop, namely nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, boron, copper, iron, manganese, sodium and zinc, and (iv) accumulated absorption ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) and absorption rate ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) of nutrients during the soybean crop cycle, four field experiments were carried out (sowing on October 26<sup>th</sup>, 2021) using early (Monsoy-5917-I PRO) and late (TMG-7063-I PRO) cultivars under irrigated and rainfed production systems, in the experimental area at the University of São Paulo, Luiz de Queiroz College of Agriculture, located in the city of Piracicaba, State of São Paulo, with similar management and conduction: (Experiment I) early cultivar in irrigated system, (Experiment II) early cultivar in rainfed system, (Experiment III) late cultivar in irrigated system, and (Experiment IV) late cultivar in rainfed system. Based on the results obtained regarding the soybean crop cycle (early and late cycle cultivars) under irrigated and rainfed conditions, it is concluded that the proposed models are suitable for: (i) characterizing the matter accumulation curve of root, stem, leaf, reproductive organs and total dry matter (growth curve), (ii) characterize the curve referring to the dry matter accumulation rate ( $\text{kg d}^{-1}$ ), (iii) characterize the average composition of essential nutrients (nitrogen - %, phosphorus - %, potassium - %, calcium - %, magnesium - %, sulfur - %, boron - ppm, copper - ppm, iron - ppm, manganese - ppm, and zinc - ppm), and sodium - ppm, and (iv) characterize the accumulated absorption ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) and absorption rate ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) of essential nutrients.

Keywords: *Glycine max*, Growth analysis, Nutrients extraction

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de uma planta de soja.....	40
Figura 2. Representação esquemática da relação entre modelagem empírica e mecânica (THORNLEY; JOHNSON, 2000).....	51
Figura 3. Curva ilustrativa do crescimento sigmoidal de uma planta (MAGALHÃES, 1985).....	
Figura 4. Croqui da área ilustrando as parcelas dos experimentos.....	63
Figura 5. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	77
Figura 6. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	79
Figura 7. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	81
Figura 8. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	83
Figura 9. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	85
Figura 10. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	86
Figura 11. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	88
Figura 12. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	90
Figura 13. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	92
Figura 14. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	93

- Figura 15. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....95
- Figura 16. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....96
- Figura 17. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....99
- Figura 18. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....100
- Figura 19. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....102
- Figura 20. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....103
- Figura 21. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....106
- Figura 22. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....108
- Figura 23. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....109
- Figura 24. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....111
- Figura 25. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....113
- Figura 26. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....114
- Figura 27. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....116
- Figura 28. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....117

- Figura 29. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 119
- Figura 30. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 120
- Figura 31. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 122
- Figura 32. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 124
- Figura 33. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 126
- Figura 34. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 127
- Figura 35. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 129
- Figura 36. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 130
- Figura 37. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 132
- Figura 38. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 134
- Figura 39. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 135
- Figura 40. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 137
- Figura 41. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 138



- Figura 42. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 139
- Figura 43. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 141
- Figura 44. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 143
- Figura 45. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 145
- Figura 46. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 147
- Figura 47. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 148
- Figura 48. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 150
- Figura 49. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 152
- Figura 50. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 153
- Figura 51. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 155
- Figura 52. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 156
- Figura 53. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 158
- Figura 54. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 159
- Figura 55. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 161

- Figura 56. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....163
- Figura 57. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....164
- Figura 58. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....166
- Figura 59. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....168
- Figura 60. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....169
- Figura 61. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....172
- Figura 62. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....173
- Figura 63. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....175
- Figura 64. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....176
- Figura 65. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....178
- Figura 66. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....179
- Figura 67. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....181
- Figura 68. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....183

- Figura 69. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....184
- Figura 70. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....186
- Figura 71. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....187
- Figura 72. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....189
- Figura 73. Caracterização da curva da extração ( $N_{i,t}$ , kg ha<sup>-1</sup>) de nutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura (t). Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{1,I}$ ), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{2,I}$ ), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{3,I}$ ), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{4,I}$ ), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{5,I}$ ) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{6,I}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....191
- Figura 74. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{1,II}$ ), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{2,II}$ ), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{3,II}$ ), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{4,II}$ ), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{5,II}$ ) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{6,II}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....193
- Figura 75. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{1,III}$ ), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{2,III}$ ), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{3,III}$ ), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{4,III}$ ), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{5,III}$ ) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{6,III}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....196
- Figura 76. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{1,IV}$ ), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{2,IV}$ ), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{3,IV}$ ), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{4,IV}$ ), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{5,IV}$ ) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{6,IV}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....198
- Figura 77. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....200
- Figura 78. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....202
- Figura 79. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....204
- Figura 80. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>)

<sup>1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....206

Figura 81. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....208

Figura 82. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....210

Figura 83. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....213

Figura 84. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....215

Figura 85. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Taxa de extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....217

Figura 86. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Taxa de extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....219

Figura 87. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Taxa de extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....221

Figura 88. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Taxa de extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....223

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantificação do tema.....	38
Tabela 2. Estádios vegetativos e reprodutivos do desenvolvimento de soja (FEHR; CAVINESS, 1977).....	47
Tabela 3. Valores observados de massa de matéria seca de raiz (MSR, kg ha <sup>-1</sup> ), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.....	76
Tabela 4. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P> t ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ). Coeficiente de determinação ajustado (r <sub>a</sub> <sup>2</sup> ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	78
Tabela 5. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P> t ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ). Coeficiente de determinação ajustado (r <sub>a</sub> <sup>2</sup> ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	80
Tabela 6. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P> t ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ). Coeficiente de determinação ajustado (r <sub>a</sub> <sup>2</sup> ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	82
Tabela 7. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P> t ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ). Coeficiente de determinação ajustado (r <sub>a</sub> <sup>2</sup> ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....	83
Tabela 8. Valores observados de massa de matéria seca de folha (MSF, kg ha <sup>-1</sup> ), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.....	84
Tabela 9. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P> t ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ). Coeficiente de determinação ajustado	

( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....86

Tabela 10. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....87

Tabela 11. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....89

Tabela 12. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....90

Tabela 13. Valores observados de massa de matéria seca de haste (MSH,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.....91

Tabela 14. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....92

Tabela 15. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....94

Tabela 16. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....95

Tabela 17. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....97

Tabela 18. Valores observados de massa de matéria seca de vagens (MSV,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.....98

Tabela 19. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....99

Tabela 20. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....101

Tabela 21. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....102

Tabela 22. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....104

Tabela 23. Valores observados de massa de matéria seca total (MST,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos.....105

Tabela 24. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância

(ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....106

Tabela 25. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....108

Tabela 26. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....110

Tabela 27. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....111

Tabela 28. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....112

Tabela 29. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....113

Tabela 30. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....115



Tabela 31. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....116

Tabela 32. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....118

Tabela 33. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....119

Tabela 34. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....121

Tabela 35. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....122

Tabela 36. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....123

Tabela 37. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....124

Tabela 38. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de

determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....126

Tabela 39. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....128

Tabela 40. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....129

Tabela 41. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....130

Tabela 42. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 131

Tabela 43. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....132

Tabela 44. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....134

Tabela 45. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....136

Tabela 46. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....137

Tabela 47. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....138

Tabela 48. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....140

Tabela 49. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 141

Tabela 50. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....142

Tabela 51. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....144

Tabela 52. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de

determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....146

Tabela 53. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....147

Tabela 54. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....149

Tabela 55. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....150

Tabela 56. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....151

Tabela 57. Caracterização da curva referente ao teor de boro na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....152

Tabela 58. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....154

Tabela 59. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....155

Tabela 60. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....157

Tabela 61. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....158

Tabela 62. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....159

Tabela 63. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....160

Tabela 64. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....162

Tabela 65. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....164

Tabela 66. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação

ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....165

Tabela 67. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....166

Tabela 68. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....168

Tabela 69. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....170

Tabela 70. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 171

Tabela 71. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....172

Tabela 72. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....174

Tabela 73. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....175

Tabela 74. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....177

Tabela 75. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....178

Tabela 76. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....180

Tabela 77. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022..... 181

Tabela 78. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....182

Tabela 79. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....183

Tabela 80. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação

ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....185

Tabela 81. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....186

Tabela 82. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....188

Tabela 83. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.....189



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
d	Dia (dias após a sementeira)	
t	Número de dias após a sementeira	-
E	Número de ordem do experimento conduzido:	-
	Experimento I (E = I)	-
	Experimento I (E = II)	-
	Experimento I (E = III)	-
	Experimento I (E = IV)	-
i	Número de ordem do elemento químico considerado:	-
	Nitrogênio (i = 1) - Macronutriente primário	-
	Fósforo (i = 2) - Macronutriente primário	-
	Potássio (i = 3) - Macronutriente primário	-
	Cálcio (i = 4) - Macronutriente secundário	-
	Magnésio (i = 5) - Macronutriente secundário	-
	Enxofre (i = 6) - Macronutriente secundário	-
	Boro (i = 7) - Micronutriente	-
	Cobre (i = 8) - Micronutriente	-
	Ferro (i = 9) - Micronutriente	-
	Manganês (i = 10) - Micronutriente	-
	Zinco (i = 11) - Micronutriente	-
Sódio (i = 12)	-	
$MSR_E(t)$	Varição temporal da massa de matéria seca de raiz referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$r_{0,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSR_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>

$r_{1,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSR_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	d
$MSF_E(t)$	Variação temporal da massa de matéria seca de folha referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$f_{0,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSF_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-2</sup>
$f_{1,E}$	Parâmetros empíricos do modelo $MSF_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-3</sup>
$f_{2,E}$	Parâmetros empíricos do modelo $MSF_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-4</sup>
$MSH_E$	Variação temporal da massa de matéria seca de haste referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$h_{0,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSH_E$ determinados por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$h_{1,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSH_E$ determinados por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	d
$h_{2,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSH_E$ determinados por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	d
$MSV_E$	Variação temporal da massa de matéria seca de vagens referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$v_{0,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSV_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$v_{1,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MSV_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	d
$MST_E(t)$	Variação temporal da massa de matéria seca total referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$m_{0,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MST_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$m_{1,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MST_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	d
$m_{2,E}$	Parâmetro empírico do modelo $MST_E$ determinado por análise de regressão não linear referente ao E-ésimo experimento	d

$\tau_{i,E}(t)$	Teor do i-ésimo elemento químico na matéria seca total referente ao E-ésimo experimento t dias após a semeadura:	-
	Macronutrientes: ( $1 \leq i \leq 6$ )	%
	Micronutrientes: ( $7 \leq i \leq 11$ )	ppm
	Na ( $i = 12$ )	ppm
$a_{0,i,E}$	Parâmetro empírico do modelo $\tau_{i,E}(t)$ determinado por análise de regressão não linear referente ao teor do i-ésimo elemento químico na massa de matéria seca total correspondente ao E-ésimo experimento	Várias
$a_{1,3,E}$	Parâmetro empírico do modelo $\tau_{i,E}(t)$ determinado por análise de regressão não linear referente ao teor do i-ésimo elemento químico na massa de matéria seca total correspondente ao E-ésimo experimento	Várias
$N_{i,E}(t)$	Varição temporal da extração do i-ésimo nutriente referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup>
$\beta_{i,E}(t)$	Varição temporal da taxa de extração do i-ésimo nutriente referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
$\frac{dMST_E(t)}{dt}$	Varição temporal da taxa de crescimento (massa de matéria seca total) referente ao E-ésimo experimento	kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>



## 1 INTRODUÇÃO

A cultura de soja (*Glycine max* [L.]) é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo devido à sua rentabilidade, além da sua versatilidade, alto valor nutricional e ampla gama de aplicações na indústria alimentícia e de biocombustíveis.

O Brasil ocupa a primeira posição entre os maiores produtores, posto alcançado na safra de 2019. A produção do grão possui importância comercial relevante, pelo fato de ser uma excelente fonte proteica, que pode ser cultivada em quase todas as regiões do mundo, sendo hoje, o complexo soja considerado a principal cadeia produtiva do agronegócio mundial.

Quanto ao uso do solo no Brasil, a destinação para a agricultura é de 8%, sendo que a área utilizada para produção de grãos é de cerca de 60 milhões de hectares. Dos 8% destinados à produção de grãos, a soja ocupa o equivalente a 40 milhões de hectares. É a cultura com maior área cultivada no Brasil, sendo sua produção maior em volume total, tornando-se uma das principais *commodities* da economia nacional (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2021).

A evolução técnica observada nos últimos anos permitiu aumentar a produtividade e a produção nacional de soja. O nível tecnológico adotado pelos agricultores brasileiros é responsável, em parte, pelo aumento da produtividade. Quanto à produção nacional, não somente o nível tecnológico é o responsável, mas também o aumento da área cultivada. Ressalta-se que atualmente cultiva-se soja desde o Rio Grande do Sul até o Maranhão, Piauí e Pará, sendo a região centro oeste a maior produtora.

Do complexo soja, são muitos produtos e subprodutos derivados deste grão. Suas aplicações vão desde a alimentação humana e animal até o uso para fins industriais, como matéria-prima na produção de cosméticos, plásticos, tintas, adesivos, fibras, biocombustíveis, entre muitos outros. É crescente a importância e a participação desta cultura nos dias de hoje, que além de suprir a demanda do mercado mundial, também se faz necessário se atentar a qualidade da matéria prima e ao aumento da produtividade.

Os manejos e tratos culturais realizados na cultura de soja ainda são um desafio para os produtores com relação ao momento e a forma de realização. Para facilitar a compreensão técnica e científica no estudo de diferentes culturas, tem-se a fenologia, um termo que se refere a parte da botânica destinada a estudar as diferentes fases de crescimento e desenvolvimento das culturas. Com isso, tem-se o uso da escada fenológica da cultura, que pode auxiliar técnicos e produtores na tomada de decisão e posicionamento de algumas práticas agrícolas.

Neumaier et al. (2000) relatam que a caracterização dos estádios de crescimento e desenvolvimento da planta de soja é essencial para a descrição dos vários períodos que a lavoura atravessa durante o ciclo da cultura. O uso de uma linguagem unificada na descrição dos estádios de desenvolvimento agiliza o seu entendimento porque facilita a comunicação entre os diversos públicos envolvidos com a cultura de soja.

Portanto, o presente trabalho teve o objetivo de auxiliar com modelos matemáticos e informações conforme o ciclo de soja, que podem proporcionar a base para o conhecimento mais profundo e abrangente do desenvolvimento da lavoura, facilitando o entendimento das respostas morfofisiológicas e fenológicas (emergência e florescimento) e suas relações, tanto com o ambiente (solo, atmosfera) como qualquer atividade desenvolvida pelo homem na lavoura.

O presente trabalho foi desenvolvido com objetivos de: (i) realizar a curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz, haste, folha, órgãos reprodutivos e total (curva de crescimento) da cultura de soja de cultivares de ciclo precoce e tardio sob sistema de condição irrigada e de sequeiro, (ii) caracterizar a curva referente a taxa de acúmulo de massa de matéria seca ( $\text{kg d}^{-1}$ ) da cultura de soja de cultivares de ciclo precoce e tardio sob sistema de condição irrigada e de sequeiro, (iii) caracterizar a composição média de nutrientes para o ciclo da cultura da soja sendo eles nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, sódio e zinco, e (iv) marcha de absorção ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e taxa de absorção ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de nutrientes no decorrer do ciclo da cultura de soja.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cultura de soja

A quantidade de estudos e trabalhos realizados sobre o tema de soja evidencia a relevância desse assunto na comunidade científica, bem como sua importância para o agronegócio brasileiro. Este trabalho tem como objetivo agregar e contribuir com informações relevantes para a ciência e para os produtores rurais.

**Tabela 1. Quantificação do tema.**

Palavra- chave	Quantidade	Portal de pesquisa
Soja	1.260.000	Google acadêmico
Soja	72.561	PBi - USP
Soybean	6 128	Scielo

#### 2.1.1 Introdução da cultura de soja no Brasil e sua importância

A soja é originária da Manchúria, localizada no nordeste da China. A partir daí se disseminou para a Europa e os Estados Unidos. Sua introdução no Brasil se deu inicialmente pela Bahia, porém não teve uma boa adaptabilidade. A próxima introdução se deu pelo Estado de São Paulo pelos imigrantes japoneses. Em 1914, novas cultivares de soja, trazidas dos Estados Unidos foram introduzidas no Sul do Brasil as quais apresentaram ótima adaptação às condições edafoclimáticas, principalmente no tocante a disponibilidade de luz (MISSÃO, 2006). Nos anos de 1970 graças à inserção de genes que atrasam o florescimento, denominado período juvenil longo em algumas cultivares, a região central do país iniciou o cultivo de soja por apresentarem latitudes diferenciadas (CAMPELO; PASSAVANTE; KOENING, 1999).

No ano de 2022, a soja completa 140 anos desde sua chegada ao país, porém, vale ressaltar, segundo Sedyama (2009), que essa cultura ficou esquecida por quase 70 anos, até que em 1960 tornou-se uma das culturas mais importantes do país.

Atualmente, a cultura de soja é destaque no cenário agrícola brasileiro devido a sua importância econômica. A soja está relacionada ao movimento de um grande número de agentes e organizações ligados aos mais diversos setores socioeconômicos como: empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, indústria de máquina e equipamento, produtores rurais, cooperativas agropecuárias, cooperativas agroindustriais, processadoras, produtores de óleo, fabricantes de ração e usinas de biodiesel, dentre outras. Em outros termos, o supracitado

complexo é um vital gerador de riquezas, empregos e divisas, se transformando em um dos principais vetores de desenvolvimento regional do país (HIRACURI; LAZZAROTTO, 2014).

Sendo assim, o agronegócio de soja merece destaque por ser uma das principais *commodities* produzidas no mundo e por isso faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

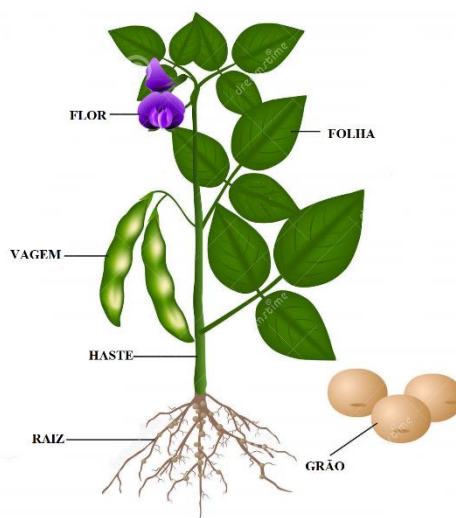
Seu complexo acontece desde a utilização dos grãos podendo ser utilizados na alimentação humana, além de ser matéria prima para a produção de farelo e óleo.

O farelo de soja é um ingrediente importante para a nutrição animal. Além do uso em rações, também é encontrado em produtos não alimentícios como, por exemplo, cola para madeira. E o óleo tem grande importância na produção de produtos para cozinha (óleo, margarina e sorvete), medicamentos e biodiesel. Do total produzido de soja, 93% é destinado para o processamento do complexo soja e 7% para outros produtos, dentre elas cosméticos, indústria farmacêutica, adubação, adesivos, revestimentos, tintas e plásticos (INOUE, 2019).

### 2.1.2 Descrição botânica

A soja é uma planta anual da família Fabaceae (leguminosa – classificação antiga). Planta de reprodução autógama, que apresenta grande variabilidade genética, que são influenciadas pelo ambiente tais como luz, temperatura e umidade.

Os componentes de uma planta de soja são a raiz, haste, folha, flores e a vagem que carrega a semente ou o grão (Figura 1).





### **Figura 1. Componentes de uma planta de soja.**

O sistema radicular da planta de soja é constituído por uma raiz axial principal e um grande número de raízes secundárias, sendo estas distribuídas em quatro ordens, sendo classificado com um sistema difuso, pois a raiz principal é pouco desenvolvida (SEDIYAMA et al., 1985).

O desenvolvimento do sistema radicular pode ser dividido em três períodos, sendo a primeira a radícula do embrião que tem seu crescimento verticalmente para baixo, desta cresce a raiz principal e dependendo da temperatura do solo (média de 22 a 27°C) a raiz pode desenvolver-se a 2,5 a 5 cm diários (RODRIGUES, 2016).

O segundo período do desenvolvimento do sistema radicular é classificado no período de início do florescimento e formação das vagens, onde a raiz principal continua seu crescimento, podendo alcançar até 75 cm de profundidade e as raízes laterais continuam se ramificando até os 15 cm da raiz axial. E no terceiro período entre a formação das vagens, enchimento de grãos e a maturação fisiológica, se tem a diminuição no crescimento da raiz principal, porém por outro lado, há aumento no desenvolvimento e penetração das raízes secundárias principais (RODRIGUES, 2016).

A extensão do sistema radicular varia consideravelmente com as condições ambientais a que a planta estiver sujeita. A raiz principal da cultura de soja pode atingir 2 metros de profundidade e as raízes laterais até 2,5 metros de distância em plantas isoladas, sob condições adequadas de solo e de clima (VERNETTI; GASTAL, 1979). Em condições de lavoura, na maioria dos casos, a quase totalidade das raízes localiza-se nos primeiros 30 cm de solo, concentrando a maioria nos primeiros 15 cm de solo.

É uma das características das raízes da espécie é estabelecer simbiose com bactérias do gênero *Bradirhizobium*, sendo que estas bactérias promovem a fixação do nitrogênio do ar e o disponibiliza para a planta de forma assimilável (nitrato) recebendo em troca hidratos de carbono (MASCARENHAS et al., 2005).

Em condições favoráveis de solo e de clima, os primeiros nódulos resultantes dessa simbiose são visíveis cerca de 10 dias após a semeadura; três semanas após a emergência os nódulos estão aptos a cumprirem sua finalidade de proporcionar a planta o nitrogênio necessário ao seu crescimento e desenvolvimento (VERNETTI; GASTAL, 1979).

A haste da cultura é caracterizada como herbácea ereto, pubescente e ramificada, e o seu desenvolvimento é iniciado a partir do eixo embrionário, logo após a germinação. O

hipocótilo (estrutura entre as raízes e os cotilédones) é a primeira porção desenvolvida do caule, seguido do epicótilo (estrutura entre os cotilédones e as folhas primárias).

Após o epicótilo, são formados os internódios e, em cada nó, há uma folha e nas axilas destas uma gema lateral (RODRIGUES, 2016).

Seu crescimento pode ser influenciado pelas condições externas, mas, geralmente, na maioria das cultivares é do tipo ortótopo. O hábito de crescimento da planta pode ser determinado, semideterminado ou indeterminado, de acordo com as características do ápice principal do caule e do cultivar (MÜLLER, 1981).

O hábito de crescimento determinado e semideterminado, a gema terminal transforma-se em uma inflorescência terminal. Enquanto, no crescimento indeterminado não há transformação da gema terminal, e o caule continua a se desenvolver mesmo após o florescimento (RODRIGUES, 2016).

As folhas da cultura de soja, durante todo o seu ciclo são distinguidos quatro tipos de folha sendo elas: as cotiledonares que são as iniciais que se diferem pela forma oval elíptica, as folhas primárias ou simples que aparecem também no início do desenvolvimento, possuem único folíolo inseridas opostamente no primeiro nó, acima do nó cotiledonar, as folhas trifolioladas ou compostas que aparecem logo após as unifolioladas e permanecem até a senescência (RODRIGUES, 2016; SEDIYAMA et al., 1985). A cor dos folíolos na maioria dos cultivares varia do verde claro ao verde escuro.

As flores da soja são completas e ocorrem em racemos terminais ou axilares. É uma espécie autógama, insetos, principalmente abelhas, podem transportar o pólen e realizar a polinização de flores de diferentes plantas, mas a taxa de fecundação cruzada, em geral, é menor que 1% (GAZZONI, 2017).

A cor da flor pode ser branca ou púrpura, sendo que a tonalidade púrpura varia de acordo com a genética do cultivar (VERNETTI; 2009). O início da floração dá-se quando a planta apresenta de 10 até 12 folhas trifolioladas, onde os botões axilares crescem racemos com número variável 2 a 35 de flores em cada um (VERNETTI; GASTAL, 1979).

A abertura floral ocorre geralmente pela manhã e pode ser influenciada pela temperatura e umidade (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

O fruto da soja é a vagem ou legume, normalmente apresenta uma forma achatada e uma coloração que varia entre cinza, amarelo-palha ou preta. Quando maduro apresenta de 2 a 7 cm de comprimento e 1 a 2 cm de largura, o que pode variar de acordo com a cultivar e condições

climáticas. As vagens aparecem de 10 a 15 dias após o início do florescimento (MÜLLER, 1981).

O número de vagens por racemo varia com a cultivar e com sua posição na planta, de 2 a 20 ou mais; uma planta pode ter até 400 vagens. O número de grãos por vagem varia de 1 a 5, mas, em geral, encontram-se vagens com 2 ou 3 grãos (RODRIGUES, 2016).

Por fim, os grãos com características lisas, ovais, globosas ou elípticas. Podem também ser encontradas nas cores amarela, preta ou verde. O hilo pode ser marrom, preto ou cinza, onde a cor do hilo da semente de soja é uma das principais características utilizadas pelos melhoristas para descrever ou identificar um cultivar.

### **2.1.3 Práticas de manejo de soja no Brasil**

A agricultura brasileira vem experimentando um grande avanço especialmente em produtividade, e para obter boas produtividades de soja, não basta apenas dispor de condições adequadas de clima e solo, é preciso a assertividade das práticas de manejo adequadas no momento correto. Vários fatores ligados direta ou indiretamente ao manejo da cultura de soja podem possibilitar o incremento da produtividade, cabe destacar que além de alta produtividade, o correto manejo do sistema de produção deve levar em consideração a lucratividade e sustentabilidade do cultivo (SANTOS, 2020).

A soja é uma cultura cultivada em todas as regiões do Brasil, devido à modernização de suas lavouras e à capacidade competitiva, que a soja em grão se tornou o principal produto do agronegócio brasileiro e o item de maior importância da pauta de exportações do Brasil. A soja é responsável pelo desenvolvimento da fronteira agrícola, pela interiorização do progresso, pela dinamização da economia interiorana e, conseqüentemente, pela fixação do homem nas pequenas e médias cidades do interior do país (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2005).

Assim, um manejo adequado visando maiores produtividades e competitividade da matéria prima, envolve todo o processo de preparo do solo, época de semeadura, escolha do material genético (cultivar), os tratamentos culturais, e, enfim, os processos de finalização de colheita e armazenamento do produto.

O preparo do solo, na cultura de soja, é um conjunto de operações que tem como objetivo propiciar condições favoráveis ao desenvolvimento e à produção. É o primeiro processo e talvez a mais importante operação a ser realizada, que compreende um conjunto de práticas com objetivo de permitir uma alta produtividade das culturas a baixo custo, porém, quando usada de

maneira incorreta, pode levar rapidamente o solo à degradação física, química e biológica, diminuindo o seu potencial produtivo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

Então, o processo envolve, a seleção da área para o cultivo de soja sendo as duas principais características a serem observadas a textura e a drenagem (SMIDERLE et al., 2009) e a análise e correção do solo que irá determinar a quantidade de corretivos e fertilizantes a serem aplicados ao solo.

Na determinação da época de semeadura, é um dos principais fatores responsáveis pela lacuna de produtividade no cultivo de soja brasileira, faz-se necessário encaixar o ciclo e estádios chaves durante o desenvolvimento de soja com a melhor disponibilidade ambiental (SANTOS, 2020).

Esse processo, basicamente, determina a exposição das plantas às variações climáticas e contribui fortemente para a definição da duração do ciclo, da altura da planta e da produção de grãos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011). E juntamente com a escolha da época de semeadura, a escolha do material genético (cultivar) para a lavoura e região de cultivo é fundamental também para a construção de um sistema visando altas produtividades.

Após a implantação da lavoura, a condução adequada do controle de plantas daninhas, pragas e doenças é essencial para boas produtividades e da sanidade na soja. A evolução dos métodos de manejo de pragas e doenças, com o controle químico cresceu em participação percentual, na maioria das áreas agrícolas do mundo. Entretanto, tem crescido a preocupação com a preservação do meio ambiente e a busca por alimentos obtidos por meio de práticas mais ecológicas de manejo dos cultivos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2005). Nesse contexto, a associação de métodos de controle, como o manejo integrado é indispensável para garantir a segurança alimentar e sustentabilidade da atividade agrícola.

Portanto, como em qualquer atividade, o planejamento de todo o manejo da cultura de soja é uma das mais importantes etapas para a redução de erros/riscos, conseqüentemente aumentando as chances de sucesso (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006).

Com isso, para um contínuo sucesso nas realizações das atividades na soja, para um mercado sustentável e competitivo, surge a grande necessidade também de instruir produtores

rurais para uma mudança de hábito, costume, postura e atitude no trato dos produtos alimentícios, que será de grande valia para seu próprio benefício.

#### **2.1.4 Grupos de maturação**

A classificação de cultivares de soja em grupos de maturação relativa (GMR) transformou a forma como agricultores adquirem suas sementes. Diferentemente da antiga classificação em ciclos, o GMR é muito mais preciso na estimativa de duração do ciclo de desenvolvimento da soja, prevendo a quantidade de dias para que a soja complete seu ciclo do período que começa na semeadura e termina na maturidade fisiológica. Onde esse intervalo de tempo também depende das condições ambientais e mais fatores para ser definido (BAYER, 2021).

Os grupos de maturação (GMR) variam de acordo com a latitude e são classificados por uma numeração de 0 (mais próximo dos polos) a 10 (mais próximo do Equador). Sendo eles: (i) número abaixo de 6.0: superprecoce, (ii) número entre: 6.0 a 6.5: precoces, (iii) números próximos de 7.0: normal, e (iv) até a número próximo ou igual a 10: tardio.

Essa numeração separa as cultivares de soja em grupos de acordo com sua região de melhor adaptação, levando em consideração o fotoperíodo em cada região.

Devido à sensibilidade da soja ao fotoperíodo, a adaptabilidade de cada cultivar varia à medida em que se desloca o seu cultivo em direção ao sul ou ao norte, ou seja, quando varia a latitude (SOUSA, 2018).

Sendo assim, a nova classificação das cultivares de soja, agora com base no grupo de maturação relativa, consegue prever com mais precisão o desempenho do cultivar de acordo com o local semeado.

Conhecer o GMR é de extrema importância para a construção de estratégias produtivas de rotação de culturas, como o sistema soja-milho safrinha ou soja-algodão segunda safra (BAYER, 2021).

As recomendações de cultivares de soja com menores GMR são para a Região Sul do Brasil, enquanto as de maior GMR são indicadas para as regiões Central e Norte do país. Por exemplo, a preferência da Região Sul varia de GMR 5.0 a 8.0, enquanto a preferência no Centro-Oeste varia de 7.0 a 9.0, e próximo ao Equador de 9.0 a 10.0 (BAYER, 2021).

### **2.1.5 Sistema de produção irrigado e sequeiro**

Em regiões produtoras, os principais eventos climáticos responsáveis por perdas de produtividades são: deficiência hídrica, temperaturas elevadas e abaixo de 13° C e baixa radiação solar. Estes três fatores são, possivelmente, ajustados através da escolha da época de semeadura (BATTISTI, 2013).

Em relação a deficiência hídrica, as fases mais críticas de demandas de água para a cultura de soja são na germinação, floração e no enchimento dos grãos.

Durante a germinação, tanto a falta, quanto o excesso de água são prejudiciais a uniformidade na emergência das plantas. No entanto, a soja atinge o máximo de exigência hídrica na floração e no enchimento dos grãos, o estresse hídrico neste período pode ocasionar problemas fisiológicos graves que ocasionam queda prematura de flores, folhas e, conseqüentemente, redução de produtividade.

Em sistema de produção em sequeiro, ou seja, onde a cultura agrícola cresce sem a necessidade de adição de água ao solo por meio da irrigação, sendo manejada com apenas a água da chuva. Sendo um sistema mais propício a queda de produtividades devido à falta de água. Porém, uma maneira de contornar esse problema é a época de semeadura que é considerada a de maior influência, onde em cada região haverá uma época mais adequada (PRABHAKAR, 2018) em função da relação direta com o momento do florescimento, maturação e colheita da cultura.

Em consequência dessa variabilidade, existe o zoneamento agrícola da cultura de soja, que tem o objetivo de reduzir os riscos relacionados aos problemas climáticos e permite ao produtor identificar a melhor época para plantar, levando em conta a região do país, a cultura e os diferentes tipos de solos. Portanto, em ocasiões de deficiência hídrica além de ser manejado pela escolha da época de semeadura também pode ser por meio do sistema irrigado.

No sistema irrigado, a utilização da irrigação é uma das práticas mais eficazes na melhoria da produtividade e da qualidade de grãos (KUSS, 2006).

A irrigação é uma ferramenta utilizada para complementar a disponibilidade da água natural da chuva, proporcionando ao solo um teor de umidade suficiente para suprir as necessidades hídricas da cultura. Porém, antes de qualquer investimento em irrigação é importante conhecer a profundidade do solo, curva de retenção hídrica, macroporosidade, microporosidade, evapotranspiração da cultura, estágio fenológico da cultura, entre outros.

Dessa forma, deve-se buscar informações técnicas com profissionais habilitados que utilizem ferramentas de monitoramento e simulação das condições hídricas para que o investimento em irrigação seja o mais rentável possível (AGROPRECISION, 2017).

## **2.2 Fenologia**

Fenologia refere-se à parte da botânica que estuda as diferentes fases do crescimento e desenvolvimento das plantas, tanto a vegetativa (germinação, emergência, crescimento da parte aérea e das raízes) como a reprodutiva (florescimento, frutificação e maturação), determinando as épocas de ocorrência e as respectivas características.

A fenologia de uma espécie cultivada constitui ferramenta eficaz de manejo que possibilita identificar, por meio da observação dos caracteres morfológicos da planta, o momento fisiológico ao qual se encontram associadas as necessidades do vegetal que, uma vez atendidas, possibilitarão seu desenvolvimento normal e, conseqüentemente, bons rendimentos à cultura (CÂMARA, 2006).

A planta de soja é uma dicotiledônea cuja estrutura é formada pelo conjunto de raízes e parte aérea, sendo seu desenvolvimento dividido em dois períodos, o estágio vegetativo (V) e o estágio reprodutivo (R) (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Sendo assim, a escala de desenvolvimento mais conhecida para a cultura de soja é a escala proposta por Fehr e Caviness (1977), cuja divisão dos estádios baseava-se nos dois períodos, o vegetativo e o reprodutivo do desenvolvimento da cultura (Tabela 2).

**Tabela 2. Estádios vegetativos e reprodutivos do desenvolvimento de soja (FEHR; CAVINESS, 1977).**

<b>Estádios vegetativos</b>	<b>Estádios reprodutivos</b>
VE - Emergência	R <sub>1</sub> - Início de florescimento
VC - Cotilédone	R <sub>2</sub> - Pleno florescimento
V <sub>1</sub> - Primeiro nó	R <sub>3</sub> - Início de formação das vagens
V <sub>2</sub> - Segundo nó	R <sub>4</sub> - Plena formação das vagens
V <sub>3</sub> - Terceiro nó	R <sub>5</sub> - Início do enchimento das sementes
*	R <sub>6</sub> - Pleno enchimento das vagens
*	R <sub>7</sub> - Início da maturação
V <sub>(n)</sub>	R <sub>8</sub> - Maturação plena

Em campo de soja, cada estágio específico V ou R é definido somente quando 50% ou mais das plantas no campo estão nele ou entre aquele estágio.

O período vegetativo é subdividido e suas denominações podem ser com letras seguidas do “V” ou números (Tabela 2). Após a semeadura, bem como os tratamentos culturais necessários, como adubação e o processo de embebição dessas sementes, dá-se início ao processo germinativo e ao período vegetativo, onde a germinação de soja é relativamente rápida, desde que a semente encontre condições ambientais favoráveis (CÂMARA, 2006).

Portanto, a classificação fenológica de soja se inicia no estágio VE, período de emergência da plântula, onde os cotilédones ficam acima do solo, o que a caracteriza como germinação epigea. Neste momento, é um período crítico ao ataque de patógenos e pragas de solo (ALVARENGA, 2019).

No estágio VC onde os cotilédones se encontram totalmente desenvolvidos e completamente abertos, esse período pode durar de 3 a 10 dias. Período crítico também ao ataque de patógenos e pragas de solo (ALVARENGA, 2019).

No estágio V<sub>1</sub> acontece completo desenvolvimento das folhas opostas unifolioladas (um folíolo) e a primeira folha trifoliolada (três folíolos) completamente desenvolvida. Caracterizado e identificado também pelo primeiro nó. Nesta fase, os patógenos de solo e pragas como coleópteros podem afetar o estabelecimento da cultura (ALVARENGA, 2019).

Em V<sub>2</sub>, definido como o segundo nó ou a segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida. Do estágio V<sub>1</sub> ao V<sub>2</sub> é que se dá o início da nodulação e o processo de Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN). Também no estágio V<sub>2</sub>, o ataque de pragas e doenças de solo



também devem ser monitorados e a partir deste momento inicia-se o período de matocompetição, ou seja, plantas daninhas podem passar a competir com a soja por recursos (ALVARENGA, 2019).

V<sub>3</sub> e V<sub>4</sub>, a planta apresenta 3 e 4 nós, com a terceira e quarta folha trifoliolada já se encontra completamente desenvolvida, nestes períodos, a presença de nódulos deverá aumentar onde serão observados no mínimo 10 nódulos por planta (ALVARENGA, 2019).

No estágio V<sub>5</sub>, a planta apresenta 5 nós e, neste momento, define-se a partir de processos fisiológicos, o potencial de nós que a planta poderá ter.

Cada nó será responsável por um ramo lateral, cujas vagens serão formadas. Portanto, este período é importante para definição do potencial da cultura; e o V<sub>n</sub> representa o estágio anterior ao surgimento de flores e entrada no período reprodutivo (ALVARENGA, 2019).

Em seguida, inicia-se o período reprodutivo (R), onde as flores se desenvolvem e inicia-se a formação do produto de interesse - o grão. Inicia-se em R<sub>1</sub>, sendo o início do florescimento, ao menos uma flor aberta em qualquer parte da haste principal; em R<sub>2</sub> ocorre o florescimento pleno e uma flor aberta em um dos 2 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.

No período compreendido entre R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub>, a planta se encontra mais sensível ao ataque de pragas (insetos), sendo essencial o monitoramento constante (ALVARENGA, 2019).

A partir de R<sub>2</sub>, inicia-se a rápida acumulação de matéria seca e de nutrientes na planta, sendo este, o período recomendado para fazer a coleta de folhas para análise dos teores de nutrientes foliares e avaliação da qualidade nutricional do solo.

Em R<sub>3</sub> é o início do desenvolvimento das vagens, este estágio é de grande importância para a definição de componentes de rendimento da planta, como número de vagens por planta. É também um período sensível às condições ambientais, onde o estresse hídrico pode causar abortamento de vagens.

No estágio R<sub>4</sub> as vagens estão completamente desenvolvidas, a partir desse estágio, até R<sub>5.5</sub>, ocorre rápida acumulação de matéria seca pelas vagens.

No estágio R<sub>5</sub>, determina-se o início da formação e rápido enchimento dos grãos, onde ocorre redistribuição de matéria seca e nutrientes das partes vegetativas para os grãos. O estágio R<sub>5</sub> é subdividido em 5 pontos, onde correspondem ao enchimento dos grãos até atingirem seu tamanho potencial. Ataques de sugadores como percevejos é um grande limitante para o potencial produtivo.

Quando a pressão de percevejos nos estágios iniciais de R<sub>5</sub> são altos, pode não haver formação de grãos e nos estágios mais tardios de R<sub>5</sub> poderá ocorrer a redução do tamanho e

peso dos grãos. Além disso, condições de estresse também poderão reduzir o peso dos grãos (ALVARENGA, 2019).

Em R<sub>6</sub>, o grão está verde ou a vagem cheia, acontece também o rápido amarelecimento das folhas (senescência) e continua acentuadamente até R<sub>8</sub>.

No R<sub>7</sub> se dá o início da maturação fisiológica dos grãos, com coloração marrom ou palha. A maturidade ocorre quando se cessa o acúmulo de matéria seca. Nesta fase, os grãos apresentam cerca de 60% de umidade e a partir deste período a umidade tende a cair (ALVARENGA, 2019).

Enfim, no estágio R<sub>8</sub> ocorre a maturidade completa, neste período 95% das vagens encontram-se maduras e serão necessários cerca de 5 a 10 dias para que a umidade atinja 15% ou menos (ALVARENGA, 2019).

A classificação dos estádios de desenvolvimento de soja é necessária para que ocorram intervenções de pesquisadores, extensionistas e produtores rurais de uma forma homogênea eliminando a possibilidade de erros (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Portanto, o conhecimento do estágio fenológico na cultura de soja, possibilita um melhor nível de precisão quanto ao crescimento da cultura, facilitando a adoção de medidas corretas de manejo relacionadas à condução da cultura, até o ponto de colheita.

### **2.3 Modelagem na agricultura**

A utilização de modelos na agricultura tem como objetivo quantificar os efeitos das variáveis ambientais no crescimento e desenvolvimento das culturas.

Isto vem ocorrendo há mais de 270 anos, quando Réaumur, em 1735, fez a associação entre temperatura e o desenvolvimento de culturas, ele estava propondo um dos modelos empíricos mais eficientes que se conhece em agrometeorologia, baseado no acúmulo de graus-dia. A partir da década de 50, trabalhos mais elaborados vieram formalizar o que seria o alicerce da modelagem em agricultura (ZADOCKS; RABBINGE, 1985).

Os modelos então propostos, por sua vez, foi viabilizado, principalmente, pelo aumento na necessidade de informações para a tomada de decisão no setor agrícola, o que por sua vez, decorreu principalmente pelo aumento nas pressões sociais e políticas envolvendo o uso da terra, da água e outros recursos naturais (JONES, 2003).

Um modelo simula uma cultura pela estimativa do crescimento de seus componentes como folhas, raízes e caule. Assim, um modelo de crescimento de cultura não somente estima a biomassa total, mas também inclui mais informações quantitativas sobre a maioria dos processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento vegetal (SOLER, 2004).

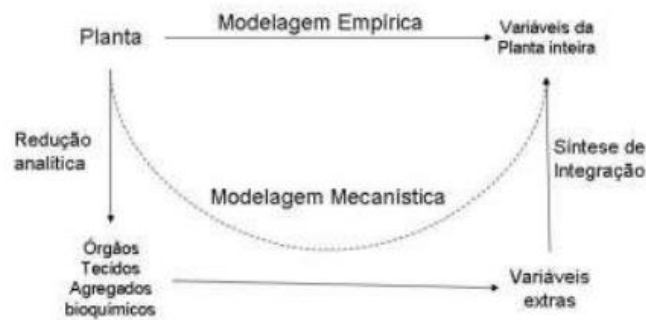
Monteith (1996) definiu que modelos de simulação de cultura são como um conjunto de equações relacionadas a processos biofísicos para estimar o crescimento, desenvolvimento e produção de uma cultura a partir de coeficientes genéticos e de variáveis ambientais, permitindo analisar diversos componentes da produção. Alguns sistemas de suporte à decisão são compostos por vários programas de computador tendo como um componente central os modelos de culturas descrevendo relações entre a cultura, a atmosfera, o solo e componentes bióticos do sistema.

A propostas para diferenciar os modelos, classificados de várias formas. Uma delas os divide em matemáticos e de simulação. O primeiro caso refere-se a representações matemáticas de um fenômeno, podendo ser de três tipos: (i) empíricos; (ii) mecanísticos e (iii) estocásticos (PAUTIAN; PARTON; PERSSON, 1992). Os modelos de simulação englobam um ou mais modelos matemáticos, representando fenômenos mais complexos.

Modelos empíricos são relações matemáticas descritas a partir da observação do sistema, por informações biológicas ou por qualquer conhecimento da estrutura do sistema estudado. Consistem em uma ou mais equações, e normalmente, estão associados a características locais, com dificuldade para sua extrapolação (PILAU; MARIN, 2019). Normalmente, estes modelos fundamentam-se em relações derivadas a partir de análise de regressões e, quando gerado de uma série de dados longa, podem ser suficientemente exatos para serem usados em dadas situações (CORRÊA et al., 2011).

Um modelo obtido por análise de regressão, quando baseado no entendimento de processos de desenvolvimento de um sistema, por exemplo, pode ser mais valioso que um complexo modelo mecanístico, baseado somente no conhecimento de suas respostas (DOURADO NETO et al., 1998).

Ilustrado na Figura 2, o modelo empírico procede diretamente para as variáveis de interesse sobre a cultura, conectando as variáveis de entrada e saída em qualquer caminho que apresente um bom ajuste dos dados. Os modelos mecanísticos, no entanto, têm uma rota relativamente mais longa, uma vez que sistemas vivos são compostos por subsistemas e componentes e cada um deles interage simultaneamente com os demais de modo não-linear e caótico, por natureza.



**Figura 2. Representação esquemática da relação entre modelagem empírica e mecanística (THORNLEY; JOHNSON, 2000).**

Enquanto, um modelo é estocástico quando baseado em uma ou mais variáveis de natureza randômica (LAW; KELTON, 1991), ou seja, são modelos em que o fator “probabilidade” ao acaso está presente (THORNLEY, 1976).

Por fim, os modelos de simulação permitem fazer simulações de longo prazo, sendo realizadas geralmente a um baixo custo. Eles podem ser divididos em: (i) determinísticos, em que um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido e (ii) estocásticos, em que a incerteza é considerada na sua estrutura, ou seja, apresentam algum grau de probabilidade associado à sua resposta, característica comum dos modelos empíricos (ADDISCOTT, 1993).

Dessa maneira, o entendimento básico e a consideração dos processos biológicos, físicos e químicos para a cultura, e as interações com outros processos no sistema de produção agrícola são os fundamentos para a modelagem de culturas agrícolas. Baseado nesses princípios, vários sistemas de suporte à decisão podem ser construídos como ferramenta de suporte à gestão de um setor da agricultura. Exemplos de aplicações são: a seleção de genótipos ou locais para instalação de novas áreas produtivas; avaliação estratégica das melhores formas de manejo de cultivos; investimentos em infraestrutura e decisões de marketing (LISSON et al., 2005).

Outras vantagens da utilização de modelos matemáticos, implicam em um crescente aumento no uso, proposição e validação dos modelos, sendo elas: baixo custo, velocidade, completa informação, criação de cenários e proposição de cenários ideais (CORRÊA et al., 2011).]

## 2.4 Curva de crescimento

A análise de crescimento de uma planta é um processo que descreve a dinâmica da sua produção fotossintética, sendo de vital importância para compreender os processos morfofisiológicos da planta, por meio de índices fisiológicos e bioquímicos.

De modo geral, as plantas crescem através da energia proveniente da luz do sol, transformada em energia química na fotofosforilação acíclica ( $ADP + P = ATP$ ) e na redução de NADP em NADPH, que impulsionam as reações bioquímicas para converter esta energia em reservas, principalmente na forma de carboidratos, que deverão ser oxidadas na respiração e liberadas de forma utilizável, para atender as necessidades das células.

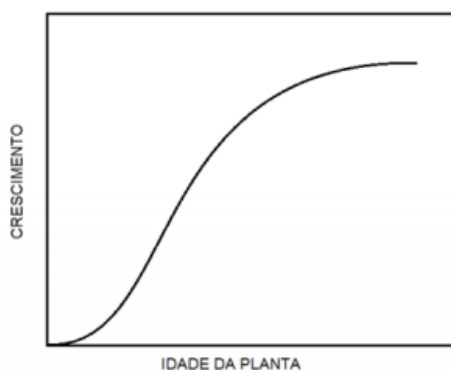
Quando os níveis de produção ou de consumo de carboidratos se equivalem nos processos de fotossíntese e respiração mais fotorrespiração em algumas plantas, o que se produz é utilizado para manutenção (caso de alguma vegetação em clímax, no ponto de compensação de  $CO_2$ ). Com ganho do processo fotossintético, resulta em energia para crescimento (PEIXOTO, 2020).

As técnicas de análise de crescimento foram desenvolvidas no início do século XX por investigadores britânicos (BLACKMAN, 1919; BRIGGS; KIDD; WEST, 1920) que além de apresentarem as fórmulas de análise de crescimento, suas derivações e condições necessárias para seu uso correto, discutem alternativas e métodos que envolvem uma descrição matemática do peso da matéria seca e da área foliar em função do tempo, seguida de cálculos de diferentes parâmetros de crescimento (PEIXOTO, 2020).

Sendo assim, o fundamento dessa análise e a curva de crescimento é a medida sequencial da acumulação de matéria orgânica na planta, sendo que a sua determinação é feita normalmente, considerando a massa da matéria seca ou a sua fitomassa (MAGALHÃES, 1985).

Devido ao fato deste procedimento ser destrutivo, as plantas tomadas como amostra a cada tempo, devem representar a população em estudo. Basicamente, os parâmetros utilizados para medir o crescimento vegetal abordam a área foliar e matéria seca acumulada pela planta por representarem esses fatores à “fabrica” e o “produto final”, respectivamente (PEIXOTO, 1995).

Enquanto, nas fases do crescimento de uma planta que representa as modificações no tamanho, na massa ou no volume, ou de qualquer órgão dele em função do tempo (Figura 3). Este tipo de curva, distingue e caracteriza uma fase inicial de crescimento lento, passando posteriormente, a uma fase exponencial e, em seguida, a uma de crescimento linear e um novo período de crescimento lento, com a paralisação eventual do processo (PEIXOTO, 2020).



**Figura 3. Curva ilustrativa do crescimento sigmoideal de uma planta (MAGALHÃES, 1985).**

Uma planta anual, em condições ambientais adequadas, ocupa no período de crescimento em termos de percentagem, 10% para germinar, 6% para emergir, 51% no grande período de crescimento (fase linear), 15% para a reprodução, 8% na maturação e 10% até a colheita (LUCCHESI, 1987).

Sendo assim, a curva de crescimento permite caracterizar o crescimento da planta em seus ciclos e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total. A partir dos dados de crescimento, pode-se aferir a atividade fisiológica, isto é, podendo estimar de forma bastante precisa, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em condições ambientais diferentes.

Por outro lado, no ponto de vista agrônomo, a caracterização da curva de crescimento pode atender àqueles pesquisadores que estão interessados em conhecer diferenças funcionais e estruturais entre cultivares de uma mesma espécie, de forma a poder selecioná-los para melhor atender aos seus objetivos ou mesmo utilizar a análise de crescimento no estudo do desenvolvimento vegetal sob diferentes condições ambientais, incluindo condições de cultivo, de forma a selecionar cultivares ou espécies que apresentem características funcionais mais apropriadas aos objetivos do produtor (PEIXOTO, 2020).

## **2.5 Marcha de absorção de nutrientes**

A marcha de absorção de nutrientes corresponde ao desempenho da curva de absorção e os períodos de maiores ou menores exigências nutricionais da cultura. Esse índice irá variar de acordo com a espécie, época e o nutriente em específico. Isso ocorre porque a marcha de

absorção está diretamente relacionada com a necessidade fisiológica da planta por cada nutriente em um momento distinto (CORRÊA; DINIZ, 2021).

Assim, o entendimento da marcha de absorção dos nutrientes na planta e do acúmulo de massa de matéria seca relacionados aos estádios fenológicos, tem importância precisa na otimização da distribuição eficiente dos nutrientes dentro de cada fase, conforme a sua necessidade fisiológica (FRANCO, 2011).

A recomendação das adubações, por sua vez, é embasada nos estudos de resposta à fertilização e na exigência nutricional da cultura, devido principalmente aos picos de máxima absorção pela planta, a exigência das culturas por nutrientes não pode ser inferida somente a partir da extração total. Faz se necessário o estudo da marcha de absorção dos nutrientes em função do tempo, para prever como, quando e quanto de adubo deve ser aplicado (DUARTE et al., 2003).

Na cultura de soja, a marcha de absorção sofre interferência conforme seu hábito de crescimento, de crescimento determinado ou indeterminado. A curva irá, portanto, variar para cada cultivar, época, nutriente, tipo de solo e ciclo da cultura.

O conhecimento das curvas da marcha de absorção da cultura de soja, nas diferentes fases de desenvolvimento, é importante para determinar as épocas em que os elementos são mais exigidos. A partir daí, é possível determinar a maneira de se realizar a aplicação dos mesmos, de acordo com a mobilidade de cada um no solo (DOMENE et al., 2017).

Desta forma, conhecer a marcha de absorção da cultura é de extrema importância para os produtores e pesquisadores, que além de poder saber qual a melhor época para se aplicar determinado nutriente e qual o nutriente exigido em cada fase da cultura. Também pode possibilitar uma aplicação racional de adubos e fertilizantes, visando uma melhor produtividade e redução nos custos.

## **2.6 Nutrientes essenciais e sódio**

Além da luz solar e da água, as plantas necessitam de vários nutrientes para assegurar o seu crescimento e desenvolvimento, no qual são absorvidos do solo pelas raízes. Atualmente, a adubação é uma das principais tecnologias usadas para aumentar a produtividade e a rentabilidade das culturas.

Portanto, essas substâncias devem estar disponíveis no solo, em quantidades adequadas, para que as raízes dos vegetais consigam absorvê-las e, garantindo, a produtividade agrícola.

Os nutrientes são divididos em dois grupos: os macronutrientes e os micronutrientes, a diferença entre eles é a quantidade necessária para as plantas. Os macronutrientes são necessários em maiores quantidades, enquanto os micronutrientes são necessários em doses menores. Juntos, eles participam de todas as funções vitais da planta, auxiliando para que o vegetal perpetue com vigor e de forma saudável.

Na soja, a absorção de nutrientes é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais (BORKERT et al., 1994).

Com isso, segue uma análise abrangente e aprofundada, destacando a descrição de cada nutriente e sua importância na otimização do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja. Nesse cenário, cada elemento nutricional desempenha um papel fundamental, contribuindo para aspectos como a qualidade da produção, resistência a doenças e estresse ambiental, bem como a maximização do rendimento. Essa compreensão dos nutrientes específicos e de sua interação com a cultura de soja é importante para orientar práticas agrícolas sustentáveis e estratégias de manejo eficazes, promovendo assim melhores rendimento e produtividade.

### **2.6.1.1 Nitrogênio**

Elemento mais requerido pela soja, por ser um componente essencial de todas as proteínas, estando presente nas moléculas de todos os tecidos, sendo indispensável para qualquer fase da planta, seja ela vegetativa ou reprodutiva.

Portanto, o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja, pois seus grãos são muito ricos em proteínas, apresentando um teor médio de 6,5% N, desse modo, para produzir 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja são necessários 65 kg ha<sup>-1</sup> de N. Adicionem-se, a isso, pelo menos mais 15 kg ha<sup>-1</sup> de N para as folhas, caule e raízes, indicando a necessidade total de, aproximadamente 80 kg de N. Conseqüentemente, para a obtenção de rendimentos de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos são necessários 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, dos quais 195 kg ha<sup>-1</sup> são exportados pelos grãos (CRISPINO et al., 2001).

As principais fontes fornecedoras do N necessário à cultura da soja são o N do solo, proveniente da decomposição da matéria orgânica e das rochas, o N fornecido por fertilizantes e o N fornecido pelo processo da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) (HUNGRIA; CAMPOS; MENDES, 2001).



O nitrogênio é considerado um nutriente fundamental envolvido no incremento da produtividade das culturas, entretanto, os solos brasileiros apresentam, em sua maioria, baixo teor de N disponível tornando a adubação nitrogenada uma prática indispensável e, neste contexto, os fertilizantes inorgânicos se destacam como a principal forma de adição do nutriente ao solo (DARTORA et al., 2013).

### **2.6.1.2 Fósforo**

O fósforo é um dos elementos mais requeridos pela planta também. Atua na formação inicial, desenvolvimento das raízes e crescimento das plantas. Além de participar como elemento constitutivo, presente em diversas moléculas, como lipídios e protídeos, também atua no processo de armazenamento, conversão e transferência de energia. Atua na fotossíntese, no metabolismo de açúcares e na divisão celular. É parte essencial do código genético e do processo de transferência da informação genética, estando presente tanto no DNA quanto no RNA. O nucleotídeo da molécula do DNA consiste em um grupo de fosfato, uma base nitrogenada, e uma molécula de glicídio com cinco átomos de carbono (GAZZONI, 2017).

A deficiência de fósforo pode ocorrer em quase todos solos ácidos tropicais, com baixo pH e alta capacidade de fixação de P. Além disso, o limitado fornecimento de fósforo reduz o número e a eficiência dos nódulos e, como consequência, a fixação simbiótica do nitrogênio (BORKERT et al., 1994).

O fósforo sendo utilizado de forma adequada correspondendo a uma boa suplementação para a planta fornece incrementos significativos na produção de soja, até mesmo em áreas que estejam no seu primeiro ano de cultivo (ARAÚJO, SAMPAIO; MEDEIROS, 2005). Ao avaliarem a absorção de nutrientes pela soja e seus reflexos sobre a produção de grãos, identificaram que em cada 1000 kg de grãos de soja exportados na produção, retira-se do solo 8,0 kg de P (CAIRES; FONSECA, 2000).

### **2.6.1.3 Potássio**

Embora possa estar presente em algumas moléculas, a principal função do potássio é de regulação de muitos processos essenciais, como ativação enzimática, fotossíntese, uso eficiente da água, formação de amido e síntese de proteínas. Também atua nos mecanismos de defesa da planta contra estresses bióticos e abióticos (GAZZONI, 2017).

Na soja, auxilia a formação dos nódulos, aumenta o teor de óleo nas sementes, beneficiando sua germinação, vigor e qualidade. A cada 1.000 kg de grãos de soja exportados na produção, é extraído pela soja 65,6 kg de K do solo (CAIRES; FONSECA, 2000).

#### **2.6.1.4 Cálcio**

As principais funções do Ca na planta são: atuar na formação do pectato de cálcio, presente na lamela média da parede celular e na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico (BEVILAQUA; SILVA-FILHO; POSSENTI, 2002).

Assim, o cálcio tem grande influência na fertilização de flores e na formação de vagens de soja, existindo uma alta correlação negativa com o número de flores e vagens abortadas. No estudo realizado concluíram que o cálcio aplicado via foliar nas fases de florescimento e estabelecimento de vagens aumentou a produtividade de grãos de soja (DOMINGUES et al., 2008).

#### **2.6.1.5 Magnésio**

É componente essencial da clorofila, pigmento responsável pela fotossíntese e coloração verde das plantas, portanto, o nutriente magnésio é muito importante para a fotossíntese.

Do mesmo modo que a deficiência de cálcio, a deficiência de magnésio tende a ocorrer com mais frequência em solos arenosos tropicais ácidos, com baixo teor de matéria orgânica, entretanto, a correta aplicação de calcário dolomítico pode prevenir a deficiência de ambos os elementos (GAZZONI, 2017).

#### **2.6.1.6 Enxofre**

O enxofre é um componente de proteínas e aminoácidos em plantas, sendo exigido em boa quantidade por fabáceas, pelo alto teor de proteínas nessas espécies. (ALVAREZ, 2007).

Em função disso, a soja é uma cultura exigente neste nutriente, e há possibilidade de resposta à adubação com S, especialmente em áreas de cerrado. A recomendação para a cultura da soja, para a região Central do Brasil, é de 15 kg para cada 1.000 kg de grãos produzidos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2003).

### **2.6.1.7 Boro**

Entre os micronutrientes, o boro se destaca por desempenhar na planta funções diretamente ligadas à produção, como incremento ao pegamento de flores e a granação em várias culturas, diminuição a esterilidade masculina e o chochamento de grãos. Também atua como regulador enzimático e nos processos de estrutura e funcionamento das membranas, na formação da parede celular, síntese e transporte de carboidratos, síntese de proteínas, fixação de nitrogênio, fotossíntese e crescimento (MALAVOLTA, 2006), além de proporcionar resistência às doenças (FERNANDES, 2006).

Ao lado do zinco (Zn), boro (B) é o micronutriente que mais frequentemente promove deficiência nas culturas, nos solos das regiões tropicais (FAQUIN, 2005), o manejo da adubação com B deve ser cuidadoso, pois a faixa entre a deficiência e toxidez é estreita quando comparado aos demais nutrientes (QUAGGIO; PIZ JUNIOR., 2001). Nesse contexto, o conhecimento da dose e o momento ideal (época) de aplicação de fertilizantes contendo B é muito importante para o produtor quando o objetivo principal é o aumento dos lucros com o cultivo de soja.

### **2.6.1.8 Cobre**

Atua como um receptor intermediário de elétrons em reações químicas que ocorrem na planta, estando presente em diversas enzimas. Atua diretamente na fotossíntese, respiração, redução e fixação de nitrogênio (GAZZONI, 2017).

Para muitas espécies de plantas, altas quantidades de cobre em solução nutritiva são tóxicas e limitam o crescimento, inclusive para a soja. Isto ocorre porque há indícios de afetar, em parte, a habilidade do cobre em deslocar outros cátions, particularmente o ferro, de importantes sítios fisiológicos (BORKERT et al., 1994). O total de cobre extraído e exportado pela soja, para cada tonelada, é de 26 g (MALAVOLTA; GOMES; ALCARDE, 2002).

E dentre os metais pesados, o cobre é um dos menos móveis no solo devido a sua forte adsorção nos coloides orgânicos e inorgânicos do solo. Na matéria orgânica, o cobre é retido principalmente pelos ácidos húmicos e fúlvicos, formando complexos estáveis (SILVA; MENDONÇA, 2007).

### **2.6.1.9 Ferro**

O Ferro nas plantas atua em reações de oxirredução e na participação de hemoproteínas, como a catalase, peroxidase e dismutase do superóxido e na ligação com o enxofre (p.e. ferredixina) (ROMHELD; NIKOLOVIC, 2007).

A toxicidade de ferro pode ocorrer em solos hidromórficos (solos de várzeas), desde que fiquem alagados por algumas semanas, ou com alta saturação de água. Nessas condições, o teor de ferro solúvel pode aumentar no solo de 0,1 ppm a até 100 ppm, aumentando a absorção pelas plantas. Porém, em condições de boa aeração, o teor de Fe, no solo, raramente causa toxidez nas culturas (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007).

O Fe é o micronutriente mais abundante da crosta terrestre, podendo representar até 5% do volume total (KABATA-PENDIAS, 2011). Nas condições tropicais, os teores são ainda maiores. No Brasil, não tem sido adotada a aplicação de Fe, em razão da alta quantidade disponível nos solos.

### **2.6.1.10 Manganês**

O manganês é um elemento essencial na nutrição de plantas e desempenha importantes funções, entre elas, a participação na fotossíntese, no metabolismo do nitrogênio, bem como, precursor de aminoácidos aromáticos, hormonais (auxinas), fenóis e ligninas (HEENAN; CAMPBELL, 1980). Entretanto, a função mais bem definida do manganês é a da reação fotossintética na qual o oxigênio é produzido a partir da água.

O Mn é o micronutriente mais abundante no solo depois do Fe. Encontra-se em teor que varia de 20 a 3.000 mg kg<sup>-1</sup>, e a disponibilidade aumenta com a diminuição do pH do solo (ADRIANO, 2001; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

### **2.6.1.11 Zinco**

O zinco é um micronutriente fundamental para as plantas, pois participa em diversos processos como: fotossíntese, respiração, controle hormonal, síntese de aminoácidos e de proteínas, redução do nitrato e desintoxicação de radicais livres (MARSCHNER, 2012). Dessa forma, sua deficiência causa na soja maturação atrasada e poucas vagens a serem produzidas.

A deficiência de Zn é a mais comum entre os micronutrientes, principalmente em solos arenosos e de cerrado. No Brasil, a deficiência de Zn ocorre principalmente pelos baixos teores naturais nos solos, além da utilização de quantidades relativamente elevadas de calcário para correção da acidez e pelo uso de fertilizantes fosfatados, uma vez que há antagonismo entre P e Zn (FAGERIA, 2000). Portanto, os solos brasileiros apresentam teores insuficientes de Zn, havendo a necessidade de adicioná-lo aos sistemas de cultivo (VENDRAME et al., 2007).

Alguns autores observaram resposta na produção de soja após adubação com Zn. Verificaram que tanto o tratamento de sementes, a aplicação foliar com cobre e zinco e a adubação com Zn proporcionaram melhor desenvolvimento e maior produtividade de soja, recomendando assim, a adubação com Zn na cultura da soja (GARCIA, SILVA; SECCO, 2009; OLIVEIRA et al., 2017).

#### **2.6.1.12 Sódio (elemento não essencial)**

O Sódio não é um nutriente importante para a maioria das espécies de plantas, mas é considerado útil, ou seja, a planta pode viver sem ele, entretanto, a sua presença é capaz de contribuir de alguma forma no crescimento e produção da planta, o mesmo poderá ser substituído em sua função por outros nutrientes a exemplo pelo potássio na osmose (GARCIA et al., 2007).

No entanto, a maioria das culturas evoluíram sob condições de baixa salinidade do solo. Sendo assim, quando o conteúdo de NaCl no solo é alto, a absorção de nutrientes minerais, especialmente o  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  é reduzida (LARCHER, 2000).



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local**

O trabalho foi desenvolvido em uma área de pivô central instalado na área experimental do departamento de produção vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. As especificações técnicas do equipamento pivô central estão descritas no Anexos.

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é classificado como Cwa, subtropical úmido com verão quente chuvoso e inverno seco (KOTTEK et al., 2006). Foi realizado um levantamento dos dados meteorológicos da época de condução do experimento (Anexos).

#### **3.2 Época de semeadura**

A semeadura (em campo) mecânica foi realizada no dia 26 de outubro de 2021, utilizando cultivares de ciclo precoce (Monsoy-5917-IPRO) e tardio (TMG-7063-IPRO). A escolha de cada cultivar foi pensada conforme a quantidade de dias do ciclo.

A cultivar de soja M 5917 IPRO foi desenvolvida para a região sul do país, participa do grupo de maturação 5.9. O ciclo médio dessa cultivar gira em torno de 121 a 126 dias e obtém como recomendação de plantação a quantidade de 280 a 300 mil plantas por hectare.

Enquanto, a cultivar TMG – 7063-IPRO, participa do grupo de maturação 7.0, com ciclo médio 124 a 135 dias e recomendação de plantio de 250 a 300 mil plantas por hectare.

#### **3.3 Experimentos**

Foram instalados quatro experimentos (Cultivares Precoce e Tardio sob sistemas de produção irrigado e sequeiro) distintos na área, porém com o manejo e condução similares: (Experimento I) cultivar Precoce em sistema irrigado, (Experimento II) cultivar Precoce em sistema de sequeiro, (Experimento III) cultivar Tardio em sistema irrigado, e (Experimento IV) cultivar Tardio em sistema de sequeiro.

#### **3.4 Parcela experimental**

Cada parcela experimental foi constituída por 8 m<sup>2</sup>. Foi utilizado o espaçamento de 0,5 m entre linhas de plantas, com quatro linhas de quatro metros (comprimento) por parcela. Foram descartadas duas linhas de plantas externas e 0,5 m nas extremidades das linhas centrais da parcela experimental, resultando numa área útil de 3,0 m<sup>2</sup> por parcela.

### 3.5 População de plantas

Foram utilizadas 15 sementes por metro linear, totalizando 300.000 sementes por hectare ( $54 \text{ kg ha}^{-1} - 0,18 \text{ g semente}^{-1}$ ), resultando em  $285.000 \text{ plântulas ha}^{-1}$  (emergência de 95%) e população final de  $273.600 \text{ plantas ha}^{-1}$  (mortalidade de 4%).

### 3.6 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), onde os tratamentos foram as avaliações realizadas em 4 estádios fenológicos da cultura de soja ( $V_4$ ,  $R_1$ ,  $R_5$  e  $R_8$ ) com 10 repetições cada, conforme croqui da área (Figura 4).

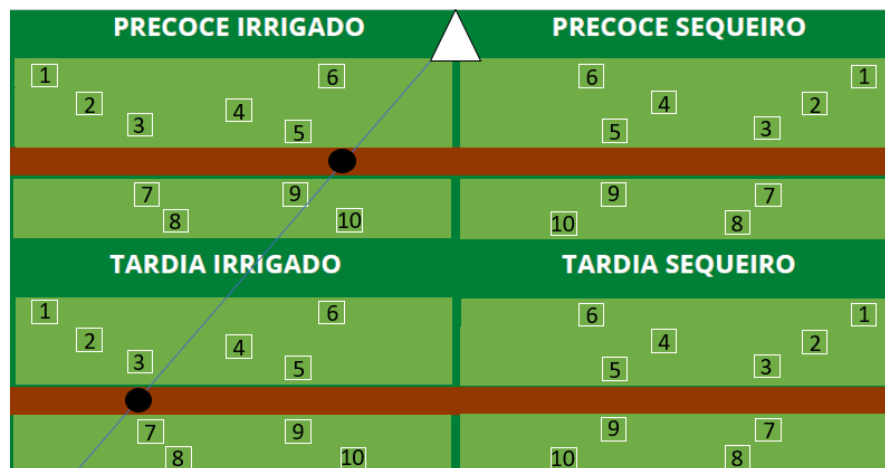


Figura 4. Croqui da área ilustrando as parcelas dos experimentos.

### 3.7 Condução dos experimentos

Na condução dos experimentos, primeiramente foi realizado uma análise de solo (anexo), afim de correção e adubação.

Na área, antes da semeadura, foi utilizado grade e niveladora. Na semeadura foi utilizado o adubo 07-34-11, equivalente a  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ , quanto aos defensivos utilizou-se o herbicida a base de glifosato para pré-emergente, em pós emergente usou-se também glifosato e imazetapir. E os defensivos utilizados para controle de pragas e doenças foram a base de Fluxapiroxade + Mancozebe + Protioconazol, Azoxistrobina + Clorotalonil + Difenoconazol (Triazol) para controle das principais doenças da soja, como ferrugem, oídio, antracnose, cercósora e mancha-alvo; e usou-se Bifentrina + Diafenthiuron, Bifentrina + Imidacloprido e Acefato para



controle manejo de insetos sugadores e lagarta. Produtos utilizados conforme recomendação de bula.

### **3.8 Avaliações**

#### **3.8.1 Estádios fenológicos**

Nas avaliações realizadas em quatro diferentes estádios fenológicos da cultura de soja, foi observado as seguintes características: ( $V_4$ ) o estágio  $V_4$  se caracteriza no quarto nó pela terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida, ( $R_1$ ) o estágio  $R_1$  se caracteriza pelo aparecimento da primeira flor, ( $R_5$ ) início da formação da vagem (vagem com 5 mm de comprimento num dos quatro últimos nós da haste principal com folha completamente desenvolvida), e ( $R_8$ ) maturação plena (95% das vagens com coloração de madura).

#### **3.8.2 Variáveis avaliadas**

Foram avaliadas as seguintes variáveis nos estádios fenológicos  $V_4$ ,  $V_8$ ,  $R_1$  e  $R_5$ : (i) massa de matéria seca de órgãos de plantas de soja e (ii) teor de nutriente

### **3.9 Modelo referente à caracterização do acúmulo de massa de matéria seca**

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca, foram elaboradas regressões não lineares utilizando o software *Table Curve 2D*, minimizando a soma dos quadrados dos erros, utilizando o tempo (número de dias após a semeadura - t) como variável independente e a massa de matéria seca como variável dependente.

O TableCurve 2D é um software de regressão não-linear que auxilia a encontrar o modelo ideal para dados complexos. O software inclui milhares de equações e uma biblioteca de modelos lineares e não lineares.

O software poupa tempo, eliminando o processo de tentativa e erro da adaptação de curvas. Depois de concluído o ajuste, o software apresenta uma lista das melhores equações de ajuste e a informação necessária para selecionar a que melhor cumpre os requisitos do modelo ideal.

### 3.9.1 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de raiz

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de raiz referente ao E-ésimo experimento ( $MSR_E$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), foi utilizado o seguinte modelo:

$$MSR_E(t) = r_{0,E} \cdot e^{-e^{-\frac{(t-r_{2,E}) \cdot \ln[\ln(2)] - r_{1,E}}{r_{2,E}}}} \quad (1)$$

em que  $r_{0,E}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),  $r_{1,E}$  (d – dias após a semeadura) e  $r_{2,E}$  (d) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear correspondente ao E-ésimo experimento.

### 3.9.2 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de folha

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de folha referente ao E-ésimo experimento ( $MSF_E$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), foi utilizado o seguinte modelo:

$$MSF_E = f_{0,E} \cdot t^2 + f_{1,E} \cdot t^3 + f_{2,E} \cdot t^4 \quad (2)$$

em que  $f_{0,E}$  ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-2}$ ) (d - dias após a semeadura),  $f_{1,E}$  ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-3}$ ) e  $f_{2,E}$  ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-4}$ ) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear correspondente ao E-ésimo experimento.

### 3.9.3 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de haste

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de haste referente ao E-ésimo experimento ( $MSH_E$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), foi utilizado o seguinte modelo:

$$MSH_E = \frac{h_{0,E}}{1 + e^{-\frac{t-h_{1,E}}{h_{2,E}}}} \quad (3)$$

em que  $h_{0,E}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),  $h_{1,E}$  (d – dias após a semeadura) e  $h_{2,E}$  (d) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear correspondente ao E-ésimo experimento.

### 3.9.4 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de vagens

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de vagens referente ao E-ésimo experimento ( $MSV_E$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), foi utilizado o seguinte modelo:

$$MSV_E = \frac{1}{v_{0,E} + v_{1,E}^{-t}} \quad (4)$$

em que  $v_{0,E}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e  $v_{1,E}$  (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear correspondente ao E-ésimo experimento.

### 3.9.5 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca total

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca total referente ao E-ésimo experimento ( $MST_E$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), foi utilizado o seguinte modelo sigmoidal:

$$MST_E = \frac{m_{0,E}}{1 + e^{-\frac{t-m_{1,E}}{m_{2,E}}}} \quad (5)$$

em que  $m_{0,E}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),  $m_{1,E}$  (d - dias após a semeadura) e  $m_{2,E}$  (d) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear correspondente ao E-ésimo experimento.

### 3.9.6 Caracterização da taxa de acúmulo de massa de matéria seca total

Para caracterização da variação da taxa de acúmulo de massa de matéria seca total referente ao E-ésimo experimento ( $\frac{dMST_E}{dt}$ ,  $\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{dMST_E}{dt} = \frac{m_{0,E} \cdot e^{\frac{m_{1,E}+t}{m_{2,E}}}}{m_{2,E} \cdot \left( e^{\frac{m_{1,E}}{m_{2,E}}} + e^{\frac{t}{m_{2,E}}} \right)^2} \quad (6)$$

### 3.9.7 Caracterização da composição da massa de matéria seca total: teor de macronutrientes

#### 3.9.7.1 Teor de nitrogênio

Para caracterização da variação temporal do teor de nitrogênio ( $\tau_{1,E}(t)$ , %) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{1,E}(t) = \sqrt{a_{0,1,E} + a_{1,1,E} \cdot t^3} \quad (7)$$

em que  $a_{0,1,E}$  ( $\%^2$ ) e  $a_{1,1,E}$  ( $\%^2 \text{ d}^{-3}$ ) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.7.2 Teor de fósforo

Para caracterização da variação temporal do teor de potássio ( $\tau_{2,E}(t)$ , %) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{2,E}(t) = \sqrt{a_{0,2,E} + a_{1,2,E} \cdot t^3} \quad (8)$$

em que  $a_{0,2,E}$  ( $\%^2$ ) e  $a_{1,2,E}$  ( $\%^2 \text{ d}^{-3}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.7.3 Teor de potássio

Para caracterização da variação temporal do teor de potássio ( $\tau_{3,E}(t)$ , %) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{3,E}(t) = \sqrt{a_{0,3,E} + a_{1,3,E} \cdot \frac{\ln(t)}{t}} \quad (9)$$

em que  $a_{0,3,E}$  ( $\%^2$ ) e  $a_{1,3,E}$  ( $\%^2 \text{ d} \{\ln[\text{d}]\}^{-1}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.7.4 Teor de cálcio

Para caracterização da variação temporal do teor de cálcio ( $\tau_{4,E}$ , %) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{4,E}(t) = e^{a_{0,4,E} + a_{1,4,E} \cdot t^2} \quad (10)$$

em que  $a_{0,4,E}$  (%) e  $a_{1,4,E}$  ( $\% \text{ d}^{-2}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.7.5 Teor de magnésio

Para caracterização da variação temporal do teor de magnésio ( $\tau_{5,E}$ , %) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{5,E}(t) = a_{0,5,E} + \frac{a_{1,5,E}}{t^2} \quad (11)$$

em que  $a_{0,5,E}$  (%) e  $a_{1,5,E}$  (% d<sup>2</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.7.6 Teor de enxofre

Para caracterização da variação temporal do teor de enxofre ( $\tau_{6,E}$ , %) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{6,E}(t) = \sqrt{a_{0,6,E} + a_{1,6,E} \cdot t^3} \quad (12)$$

em que  $a_{0,6,E}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,6,E}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

## 3.9.8 Caracterização da composição da massa de matéria seca total: teor de micronutrientes

### 3.9.8.1 Teor de boro

Para caracterização da variação temporal do teor de boro ( $\tau_{7,E}$ , ppm) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{7,E}(t) = \sqrt{a_{0,7,E} - \frac{a_{1,7,E}}{t^2}} \quad (13)$$

em que  $a_{0,7,E}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,7,E}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>2</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.8.2 Teor de cobre

Para caracterização da variação temporal do teor de cobre ( $\tau_{8,E}$ , ppm) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{8,E}(t) = a_{0,8,E} + a_{1,8,E} \cdot t^3 \quad (14)$$

em que  $a_{0,8,E}$  (ppm) e  $a_{1,8,E}$  (ppm d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.8.3 Teor de ferro

Para caracterização da variação temporal do teor de ferro ( $\tau_{9,E}$ , ppm) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{9,E}(t) = a_{0,9,E} + a_{1,9,E} \cdot e^{-t} \quad (15)$$

em que  $a_{0,9,E}$  (ppm) e  $a_{1,9,E}$  (ppm d  $\{e[d]\}^{-1}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.8.4 Teor de manganês

Para caracterização da variação temporal do teor de manganês ( $\tau_{10,E}$ , ppm) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{10,E}(t) = a_{0,10,E} + \frac{a_{1,10,E}}{t^{1,5}} \quad (16)$$

em que  $a_{0,10,E}$  (ppm) e  $a_{1,10,E}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.8.5 Teor de zinco

Para caracterização da variação temporal do teor de zinco ( $\tau_{11,E}$ , ppm) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{11,E}(t) = \sqrt{a_{0,11,E} + a_{1,11,E} \cdot t^3} \quad (17)$$

em que  $a_{0,11,E}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,11,E}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>3</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.9.8.6 Teor de sódio (elemento não essencial)

Para caracterização da variação temporal do teor de sódio ( $\tau_{12,E}$ , ppm) na matéria seca total, referente ao E-ésimo experimento, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\tau_{12,E}(t) = a_{0,12,E} + \frac{a_{1,12,E}}{t^{1,5}} \quad (18)$$

em que  $a_{0,12,E}$  (ppm) e  $a_{1,12,E}$  (ppm d<sup>-1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

### 3.10 Modelo referente à caracterização do acúmulo de nutrientes totais

#### 3.10.1 Caracterização da variação temporal da extração de nutrientes essenciais

Para caracterização da variação temporal do acúmulo (extração) de nutrientes totais ( $N_i(t)$ , kg ha<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo sigmoidal:

$$N_{i,E}(t) = MST(t) \cdot \frac{\tau_{i,E}(t)}{100} \quad (19)$$

em que  $\frac{\tau_{i,E}}{100}$  se refere ao teor médio na planta na massa de matéria seca total (kg kg<sup>-1</sup>) do i-ésimo nutriente: nitrogênio (i = 1), fósforo (i = 2), potássio (i = 3), cálcio (i = 4), magnésio (i = 5), enxofre (i = 6), boro (i = 7), cobre (i = 8), ferro (i = 9), manganês (i = 10), zinco (i = 11) e sódio (i = 12 – não essencial), no E-ésimo experimento (cultivar precoce em sistema sob irrigação – Experimento I – E = I, cultivar precoce em sistema de sequeiro – Experimento II – E = II, cultivar tardio em sistema sob irrigação – Experimento III – E = III, e cultivar tardio em sistema de sequeiro – Experimento IV – E = IV).

#### 3.10.2 Caracterização da variação temporal da taxa de extração de nutrientes essenciais

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de nutrientes ( $\beta_i(t)$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), referente ao E-ésimo experimento foi utilizado o seguinte modelo:

$$\beta_{i,E}(t) = \frac{dN_{i,E}(t)}{dt} \quad (20)$$

$$\beta_{i,E}(t) = \frac{dMST(t)}{dt} \cdot \frac{\tau_{i,E}(t)}{100} + \frac{MST(t)}{100} \cdot \frac{d\tau_{i,E}(t)}{dt} \quad (21)$$

$$\frac{dMST(t)}{dt} = \frac{m_0 \cdot e^{\frac{m_1+t}{m_2}}}{m_2 \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right)^2} \quad (22)$$

em que  $\beta_i$  se refere à taxa de extração (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) do i-ésimo nutriente: nitrogênio (i = 1), fósforo (i = 2), potássio (i = 3), cálcio (i = 4), magnésio (i = 5), enxofre (i = 6), boro (i = 7), cobre (i = 8), ferro (i = 9), manganês (i = 10), sódio (i = 11) e zinco (i = 12).

### 3.10.2.1 Taxa de extração de nitrogênio

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de nitrogênio no E-ésimo experimento ( $\beta_{1,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{1,E}(t)}{dt} = \frac{3 \cdot a_{1,1,E} \cdot t^2}{2 \cdot \sqrt{a_{0,1,E} + a_{1,1,E} \cdot t^3}} \quad (20)$$

$$\beta_{1,E} = \frac{1}{100} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot \sqrt{a_{0,1,E} + a_{1,1,E} \cdot t^3} + MST(t) \cdot \frac{3 \cdot a_{1,1,E} \cdot t^2}{2 \cdot \sqrt{a_{0,1,E} + a_{1,1,E} \cdot t^3}} \right] \quad (21)$$

$$\beta_{1,E} = \frac{m_0 \cdot e^{\frac{t}{m_2}} \left[ 2 \cdot a_{0,1,E} \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} + a_{1,1,E} \cdot t^2 \left( 3 \cdot m_2 \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} \right) \right]}{200 \cdot m_2 \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right)^2 \cdot \sqrt{a_{0,1,E} + a_{1,1,E} \cdot t^3}} \quad (22)$$

### 3.10.2.2 Taxa de extração de fósforo

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de fósforo no E-ésimo experimento ( $\beta_{2,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{2,E}(t)}{dt} = \frac{3 \cdot a_{1,2,E} \cdot t^2}{2 \cdot \sqrt{a_{0,2,E} + a_{1,2,E} \cdot t^3}} \quad (26)$$

$$\beta_{2,E} = \frac{1}{100} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot \sqrt{a_{0,2,E} + a_{1,2,E} \cdot t^3} + MST(t) \cdot \frac{3 \cdot a_{1,2,E} \cdot t^2}{2 \cdot \sqrt{a_{0,2,E} + a_{1,2,E} \cdot t^3}} \right] \quad (237)$$

$$\beta_{2,E} = \frac{m_0 \cdot e^{\frac{t}{m_2}} \left[ 2 \cdot a_{0,2,E} \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} + a_{1,2,E} \cdot t^2 \left( 3 \cdot m_2 \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} \right) \right]}{200 \cdot m_2 \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right)^2 \cdot \sqrt{a_{0,2,E} + a_{1,2,E} \cdot t^3}} \quad (248)$$

### 3.10.2.3 Taxa de extração de potássio

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de potássio no E-ésimo experimento ( $\beta_{3,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:



$$\frac{d\tau_{3,E}(t)}{dt} = \frac{a_{1,3,E} \cdot (1 - \ln(t)) - \left( \frac{a_{0,3,E} + a_{1,3,E} \cdot \ln(t)}{t^2} \right)}{2 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{a_{0,3,E} + a_{1,3,E} \cdot \ln(t)}{t}}} \quad (29)$$

$$\beta_{3,E} = \frac{1}{100} \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot \sqrt{a_{0,3,E} + a_{1,3,E} \cdot \frac{\ln(t)}{t}} + MST(t) \cdot \left[ \frac{a_{1,3,E} \cdot (1 - \ln(t)) - \left( \frac{a_{0,3,E} + a_{1,3,E} \cdot \ln(t)}{t^2} \right)}{2 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{a_{0,3,E} + a_{1,3,E} \cdot \ln(t)}{t}}} \right] \right] \quad (25)$$

$$\beta_{3,E} = \frac{m_0 \cdot \left[ 2 \cdot t \cdot e^{\frac{m_1-t}{m_2}} (a_{0,3,E} \cdot t + a_{1,3,E} \cdot \log(t)) + m_2 \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right) \cdot (a_{1,3,E} - a_{1,3,E} \cdot \log(t)) \right]}{200 \cdot m_2 \cdot t^2 \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right)^2 \cdot \sqrt{a_{0,3,E} + \frac{a_{1,1,E} \cdot \log(t)}{t}}} \quad (31)$$

### 3.10.2.4 Taxa de extração de cálcio

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de cálcio no E-ésimo experimento ( $\beta_{4,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{4,E}(t)}{dt} = a_{1,4,E} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{a_{0,4,E} + a_{1,4,E} \cdot t^2} \quad (26)$$

$$\beta_{4,E} = \frac{1}{100} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot e^{a_{0,4,E} + a_{1,4,E} \cdot t^2} + MST(t) \cdot a_{1,4,E} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{a_{0,4,E} + a_{1,4,E} \cdot t^2} \right] \quad (33)$$

$$\beta_{4,E} = \beta_{4,E} = \frac{m_0 \cdot a_{1,1,E} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{a_{0,1,E} + a_{1,1,E} \cdot t^2}}{100 \cdot \left( e^{\frac{t-m_1}{m_2}} + 1 \right)} + \frac{m_0 \cdot e^{-\frac{t-m_1}{m_2 + a_{0,1,E} + a_{1,1,E} \cdot t^2}}}{100 \cdot m_2 \cdot \left( e^{\frac{t-m_1}{m_2}} + 1 \right)^2} \quad (34)$$

### 3.10.2.5 Taxa de extração de magnésio

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de magnésio no E-ésimo experimento ( $\beta_{5,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{5,E}(t)}{dt} = - \frac{2 \cdot a_{1,5,E}}{t^5} \quad (35)$$

$$\beta_{5,E} = \frac{1}{100} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot a_{0,5,E} + \frac{a_{1,5,E}}{t^2} + MST(t) \cdot \frac{2 \cdot a_{1,5,E}}{t^5} \right] \quad (276)$$

$$\beta_{5,E} = - \frac{m_0 \cdot e^{\frac{t}{m_2}} \left[ 2 \cdot m_2 \cdot a_{1,5,E} \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right) - t \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} \cdot (a_{0,5,E} \cdot t^2 + a_{1,5,E}) \right]}{100 \cdot m_2 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right)} \quad (37)$$

### 3.10.2.6 Taxa de extração de enxofre

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de enxofre no E-ésimo experimento ( $\beta_{6,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{6,E}(t)}{dt} = \frac{3 \cdot a_{1,6,E} \cdot t^2}{2\sqrt{a_{0,6,E} + a_{1,6,E} \cdot t^3}} \quad (288)$$

$$\beta_{6,E} = \frac{1}{100} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot \sqrt{a_{0,6,E} + a_{1,6,E} \cdot t^3} + MST(t) \cdot \frac{3 \cdot a_{1,6,E} \cdot t^2}{2\sqrt{a_{0,6,E} + a_{1,6,E} \cdot t^3}} \right] \quad (299)$$

$$\beta_{6,E} = \frac{m_0 \cdot e^{\frac{t}{m_2}} \left[ 2 \cdot a_{0,6,E} \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} + a_{1,6,E} \cdot t^2 \left( 3 \cdot m_2 \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} \right) \right]}{200 \cdot m_2 \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right)^2 \cdot \sqrt{a_{0,6,E} + a_{1,6,E} \cdot t^3}} \quad (30)$$

### 3.10.2.7 Taxa de extração de boro

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de boro no E-ésimo experimento ( $\beta_{7,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{7,E}(t)}{dt} = - \frac{a_{1,7,E}}{t^3 \cdot \sqrt{a_{0,7,E} + \frac{a_{1,7,E}}{t^2}}} \quad (31)$$

$$\beta_{7,E} = \frac{1}{1000} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot \sqrt{a_{0,7,E} + \frac{a_{1,7,E}}{t^2}} + MST(t) \cdot - \frac{a_{1,7,E}}{t^3 \cdot \sqrt{a_{0,7,E} + \frac{a_{1,7,E}}{t^2}}} \right] \quad (42)$$

$$\beta_{7,E} = \frac{m_0 \cdot e^{\frac{t}{m_2}} \left[ 2 \cdot m_2 \cdot a_{1,1,E} \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right) - t \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} \left( a_{0,1,E} \cdot t^2 + a_{1,1,E} \right) \right]}{1000 \cdot m_2 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right)^2} \quad (43)$$

### 3.10.2.8 Taxa de extração de cobre

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de cobre no E-ésimo experimento ( $\beta_{8,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{8,E}(t)}{dt} = 3 \cdot a_{1,8,E} \cdot t^2 \quad (4432)$$

$$\beta_{8,E} = \frac{1}{1000} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot (a_{0,8,E} + a_{1,8,E} \cdot t^3) + MST(t) \cdot 3 \cdot a_{1,8,E} \cdot t^2 \right] \quad (33)$$

$$\beta_{8,E} = \frac{m_0 \cdot \left[ \frac{e^{\frac{m_1-t}{m_2}} \cdot (a_{0,8,E} + a_{1,8,E} \cdot t^3)}{m_2} + 3 \cdot a_{1,8,E} \cdot t^2 \cdot \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right) \right]}{1000 \cdot \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right)^2} \quad (46)$$

### 3.10.2.9 Taxa de extração de ferro

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de ferro no E-ésimo experimento ( $\beta_{9,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{9,E}(t)}{dt} = -a_{1,9,E} \cdot e^{-t} \quad (34)$$

$$\beta_{9,E} = \frac{1}{1000} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot (a_{0,9,E} + a_{1,9,E} \cdot e^{-t}) + MST(t) \cdot -a_{1,9,E} \cdot e^{-t} \right] \quad (358)$$

$$\beta_{9,E} = \frac{m_0 \cdot \left( \frac{e^{\frac{m_1-t}{m_2}} \cdot (a_{0,9,E} + a_{1,9,E} \cdot (e^t)^{-t})}{m_2} - a_{1,9,E} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot (e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1) \right)}{1000 \cdot \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right)^2} \quad (49)$$

### 3.10.2.10 Taxa de extração de manganês

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de manganês no E-ésimo experimento ( $\beta_{10,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{10,E}(t)}{dt} = \frac{1,5 \cdot a_{1,10,E}}{t^5} \quad (50)$$

$$\beta_{10,E} = \frac{1}{1000} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot a_{0,10,E} + \frac{a_{1,10,E}}{t^{1,5}} + MST(t) \cdot \left[ \frac{1,5 \cdot a_{1,10,E}}{t^5} \right] \right] \quad (51)$$

$$\beta_{10,E} = - \frac{0,0015 \cdot m_0 \cdot \left[ \frac{m_2 \cdot a_{1,10,E} \cdot \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666667 \cdot e^{\frac{m_1-t}{m_2}} \cdot (a_{0,10,E} \cdot \frac{a_{1,10,E}}{t^{1,5}}) \right]}{m_2 \cdot \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right)^2} \quad (52)$$

### 3.10.2.11 Taxa de extração de zinco

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de zinco no E-ésimo experimento ( $\beta_{11,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{11,E}(t)}{dt} = \frac{3 \cdot a_{1,11,E} \cdot t^2}{2 \cdot \sqrt{a_{0,11,E} + a_{1,11,E} \cdot t^3}} \quad (53)$$

$$\beta_{11,E} = \frac{1}{1000} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot \sqrt{a_{0,11,E} + a_{1,11,E} \cdot t^3} + MST(t) \cdot \left[ \frac{3 \cdot a_{1,11,E} \cdot t^2}{2 \cdot \sqrt{a_{0,11,E} + a_{1,11,E} \cdot t^3}} \right] \right] \quad (36)$$

$$\beta_{11,E} = \frac{m_0 \cdot e^{\frac{t}{m_2}} \left[ 2 \cdot a_{0,11,E} \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} + a_{1,11,E} \cdot t^2 \left( 3 \cdot m_2 \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{m_1}{m_2}} \right) \right]}{2000 \cdot m_2 \cdot \left( e^{\frac{m_1}{m_2}} + e^{\frac{t}{m_2}} \right)^2 \cdot \sqrt{a_{0,11,E} + a_{1,11,E} \cdot t^3}} \quad (37)$$

### 3.10.2.12 Taxa de extração de sódio (elemento não essencial)

Para caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de sódio no E-ésimo experimento ( $\beta_{12,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\frac{d\tau_{12,E}(t)}{dt} = \frac{1,5 \cdot a_{1,12,E}}{t^5} \quad (38)$$

$$\beta_{12,E} = \frac{1}{1000} \cdot \left[ \frac{dMST(t)}{dt} \cdot a_{0,12,E} + \frac{a_{1,12,E}}{t^{1,5}} + MST(t) \cdot \left[ \frac{1,5 \cdot a_{1,12,E}}{t^5} \right] \right] \quad (57)$$

$$\beta_{12,E} = \frac{0,0015 \cdot m_0 \cdot \left[ \frac{m_2 \cdot a_{1,12,E} \cdot \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666667 \cdot e^{\frac{m_1-t}{m_2}} \cdot \left( a_{0,12,E} \cdot \frac{a_{1,12,E}}{t^{1,5}} \right) \right]}{m_2 \cdot \left( e^{\frac{m_1-t}{m_2}} + 1 \right)^2} \quad (39)$$

## 3.11 Análise estatística

Para caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de raiz, folha, haste, vagem e total, os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D*.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de raiz

Os valores observados de massa de matéria seca de raiz referentes aos quatro experimentos se encontram na Tabela 3.

**Tabela 3. Valores observados de massa de matéria seca de raiz (MSR, kg ha<sup>-1</sup>), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.**

Cultivar precoce			Cultivar tardio		
t	Experimento I	Experimento II	t	Experimento III	Experimento IV
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
34	107,89	88,84	34	149,58	163,58
42	376,83	429,24	42	440,45	608,48
79	1575,57	1590,06	79	1266,33	1838,04
129	1175,10	1548,00	139	1382,70	1963,30

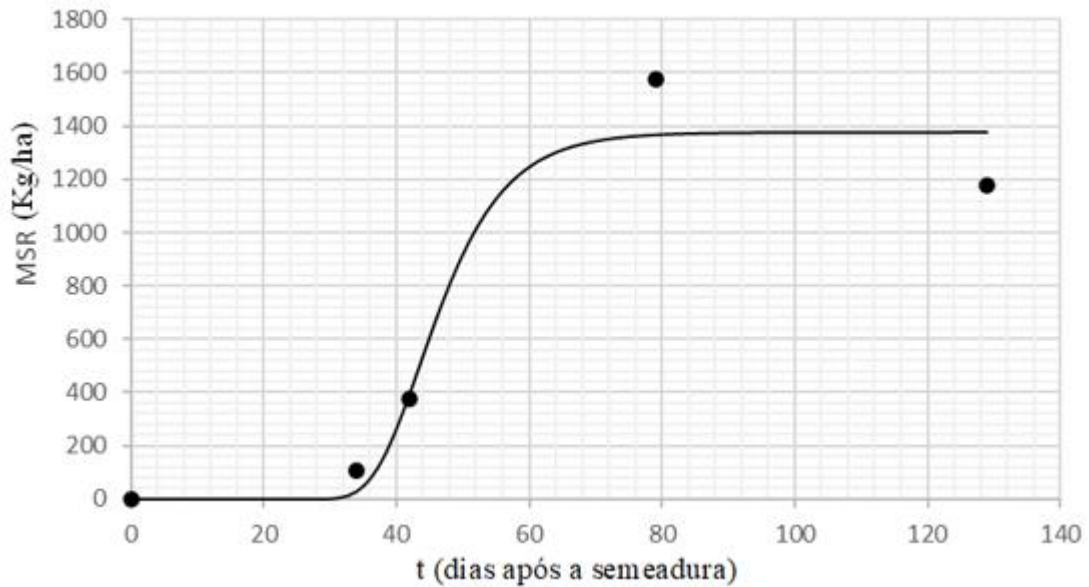
A principal função das raízes na estrutura de uma planta é a absorção de água, nutrientes e a sustentação. É importante ressaltar que o crescimento e a arquitetura radicular variam amplamente devido às interações dinâmicas com grande número de fatores físicos, químicos e biológicos no solo (LYNCH, 1995).

Portanto, o crescimento e desenvolvimento da arquitetura radicular é um agregado de características geradas por diversos processos distintos que ocorrem em cada segmento radicular, sendo os principais descritos por Lynch (1995): (i) o crescimento em extensão de segmentos radiculares individuais, (ii) o aparecimento de raízes filhas sobre cada segmento radicular, (iii) a direção do crescimento de cada segmento radicular, (iv) a senescência ou mortalidade dos segmentos radiculares, e (v) a plasticidade (adaptabilidade) desses processos em resposta a diferentes condições edafoclimáticas, tais como resistência do solo à penetração, disponibilidade de nutrientes e conteúdo de água e oxigênio do solo.

#### 4.1.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de raiz, referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 5 e Tabela 4), tem-se que:

$$MSR_I(t) = 1376,967417 \cdot e^{-e^{\frac{(t-7,115079283) \cdot \ln[\ln(2)] - 46,13168958}{7,115079283}}} \quad (59)$$



**Figura 5.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 4. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

<b>Pm</b>	<b>Valor</b>	<b>Ep</b>	<b>Valor t</b>	<b>IC (Inf)</b>	<b>IC (Sup)</b>	<b>P&gt; t </b>
r <sub>0</sub>	1376,967417	157,7315713	8,729814873	698,3032413	2055,631593	0,01287
r <sub>1</sub>	46,13168958	8,177216711	5,641490400	10,94796577	81,31541339	0,03001
r <sub>2</sub>	7,115079283	11,60061362	0,613336459	-42,7983326	57,02849116	0,60211
<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P&gt;F</b>	
<b>Regressão</b>	1832863,5	2	916431,77	20,2528	0,04705	
<b>Erro</b>	90499,091	2	45249,545			
<b>Total</b>	1923362,6	4				

$r^2$ : 0,9529474634.

Os parâmetros apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. Sendo a matéria seca da raiz assíntota a 1376,967417 kg ha<sup>-1</sup> (máxima produção) e o tempo para alcançar 50% (parâmetro r<sub>1</sub> = meia vida) da produtividade de 46,13 DAS.

A análise de regressão e a comparação de médias e desvios padrão, integrantes da estatística clássica, são úteis para explicar diferenças em segmentos individuais do sistema radicular (TERUEL et al., 2000).

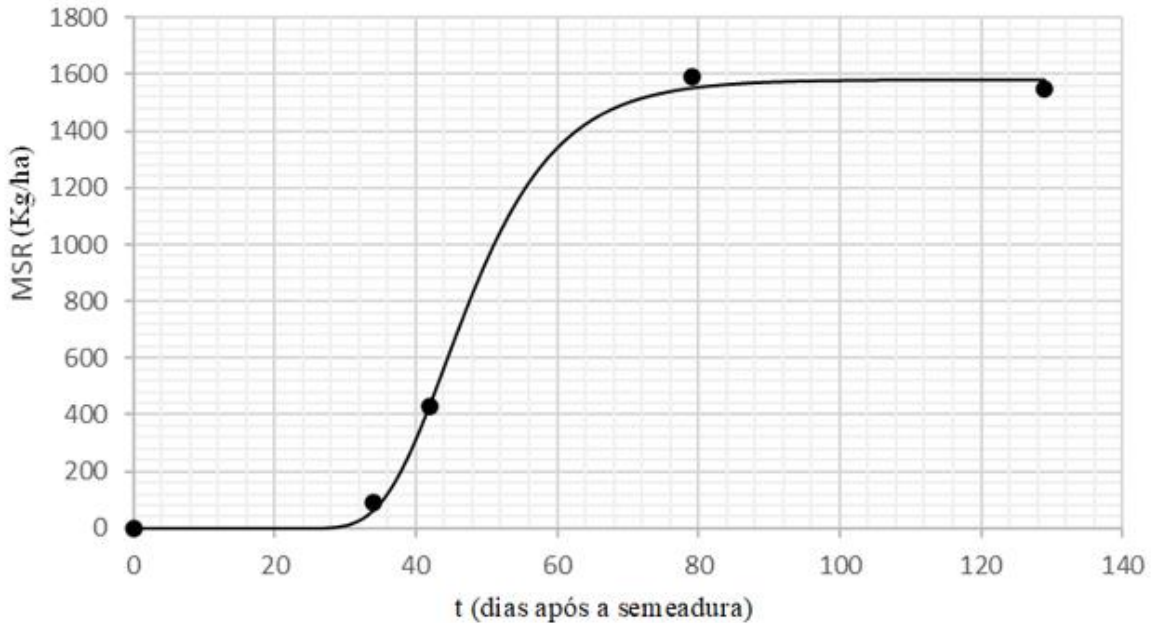
Por outro lado, a modelagem matemática na agricultura permite a agregação de todos os atributos e processos radiculares e o cálculo de sua influência sobre o sistema radicular inteiro, permitindo a visualização de um sistema radicular simplificado, mas representativo, e a comparação entre diferentes sistemas de manejo, assim como apresenta este trabalho.

Portanto, os modelos propostos ao longo deste trabalho integram os parâmetros e processos radiculares e produz uma representação dinâmica bidimensional do sistema radicular estudado. Tais parâmetros encontrados não são previsões de arquitetura radicular em resposta a um conjunto de fatores edafoclimáticos, mas simplesmente a reprodução, de forma esquemática e simplificada dos sistemas radiculares reais observados.

#### 4.1.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de raiz, referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 6 e Tabela 5), tem-se que:

$$MSR_{II}(t) = 1582,415833 \cdot e^{-e^{\frac{(t-8,757152934) \cdot \ln[\ln(2)] - 47,37225634}{8,757152934}}} \quad (60)$$



**Figura 6.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.



**Tabela 5. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

<b>Pm</b>	<b>Valor</b>	<b>Ep</b>	<b>Valor t</b>	<b>IC (Inf)</b>	<b>IC (Sup)</b>	<b>P&gt; t </b>
r <sub>0</sub>	1582,415833	32,09177696	49,30907488	1444,336062	1720,495605	0,00041
r <sub>1</sub>	47,37225634	1,473247157	32,15499594	41,03338544	53,71112724	0,00097
r <sub>2</sub>	8,757152934	1,794934916	4,878813631	1,034171319	16,48013455	0,03954
<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P&gt;F</b>	
<b>Regressão</b>	2440036,5	2	1220018,2	756,388	0,00132	
<b>Erro</b>	3225,9043	2	1612,9522			
<b>Total</b>	2443262,4	4				

$r^2$ : 0,9986796734.

Ao experimento precoce em sistema sequeiro, os parâmetros apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. Sendo o valor da máxima produção de matéria seca da raiz de 1582,415833 kg ha<sup>-1</sup> e o tempo para alcançar a produção de 50% foi de 47,37 dias após a semeadura (DAS).

De acordo com a curva de caracterização do crescimento e desenvolvimento das raízes nota-se o aumento de acúmulo de massa seca de 0 a, aproximadamente, 80 dias após a semeadura, no estágio fenológico R<sub>1</sub>. Após o estágio fenológico R<sub>1</sub> o acúmulo de massa seca de raiz é mais constante. Devido que R<sub>1</sub>, as taxas de crescimento vertical da raiz aumentam incisivamente e permanecem nos estádios R<sub>4</sub> a R<sub>5</sub>.

Portanto, a proliferação de raízes secundárias e pêlos radiculares até a profundidade de 23 cm no solo é grande durante esses períodos, porém, as raízes nessa zona geralmente começam a se degenerar depois disso.

Normalmente, o sistema radicular apresenta-se completamente desenvolvido no estágio fenológico R<sub>2</sub> com várias raízes laterais direcionando o seu crescimento para baixo. Onde essas raízes, junto com a principal, continuam se aprofundando no perfil do solo até logo após o estágio R<sub>6</sub>.

#### 4.1.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de raiz, referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 7 e Tabela 6), tem-se que:

$$MSR_{III}(t) = 1374,734587 \cdot e^{-e^{\frac{(t-13,33038659) \cdot \ln[\ln(2)] - 48,93949133}{13,33038659}}} \quad (61)$$

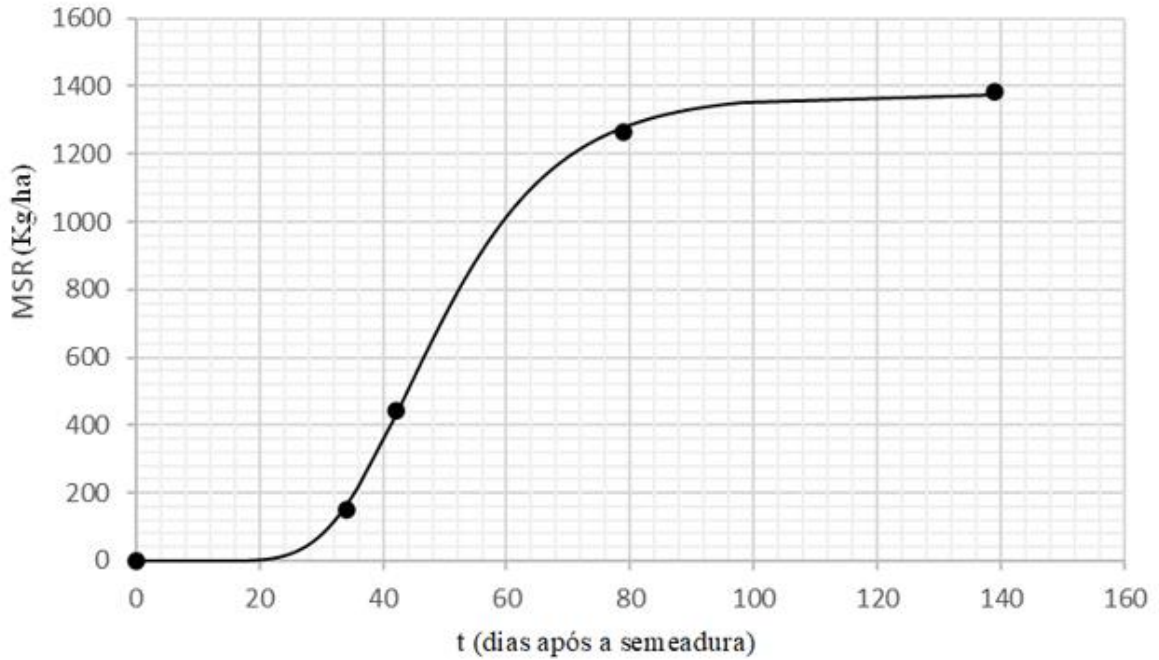


Figura 7. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 6. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
r <sub>0</sub>	1374,734587	16,24682439	84,61558727	1304,830144	1444,639031	0,00014
r <sub>1</sub>	48,93949133	0,782840772	62,51525608	45,57119935	52,30778332	0,00026
r <sub>2</sub>	13,33038659	0,890899848	14,96283406	9,497153924	17,16361925	0,00444
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	1632934	2	816467,01	2779,24	0,00036	
Erro	587,5471	2	293,77355			
Total	1633521,6	4				

r<sup>2</sup>: 0,9996403187.

Em cultivar tardio em sistema sob irrigação, os parâmetros apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. Sendo o valor da máxima produção de matéria seca da raiz de 1374,734587 kg ha<sup>-1</sup> e o tempo para alcançar a produção de 50% foi de 48,93 dias após a semeadura (DAS).

A curva de caracterização do crescimento e desenvolvimento da raiz de soja segue aos parâmetros já descritos de aumento no acúmulo de massa de raízes até cerca de 80 dias após a semeadura e pouco aumento nos próximos dias analisados.

Um fator da queda de aumento do acúmulo de massa de raiz pode ser pelo sistema radicular da soja, distribuir-se quase totalmente nos primeiros 150 mm do solo. Essa massa de raízes corresponde a 40%, no mínimo, da superfície radicular (RAPER; BARBER, 1970; MITCHELL; RUSSEL, 1971). Assim, em soja cultivada sob sistema irrigado 71% das raízes localizam-se nos primeiros 300 mm; 21% entre 300 mm e 900 mm, e 9% abaixo de 900 mm, em comparação com 67%, 16% e 17% nas respectivas camadas em soja de sistema sequeiro (QUEIROZ-VOLTAN, NOGUEIRA; MIRANDA, 2000).

#### 4.1.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de raiz, referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 8 e Tabela 7), tem-se que:

$$MSR_{IV}(t) = 1948,100998 \cdot e^{-e^{\frac{(t-11,52805341) \cdot \ln[\ln(2)] - 48,18938816}{11,52805341}}} \quad (62)$$

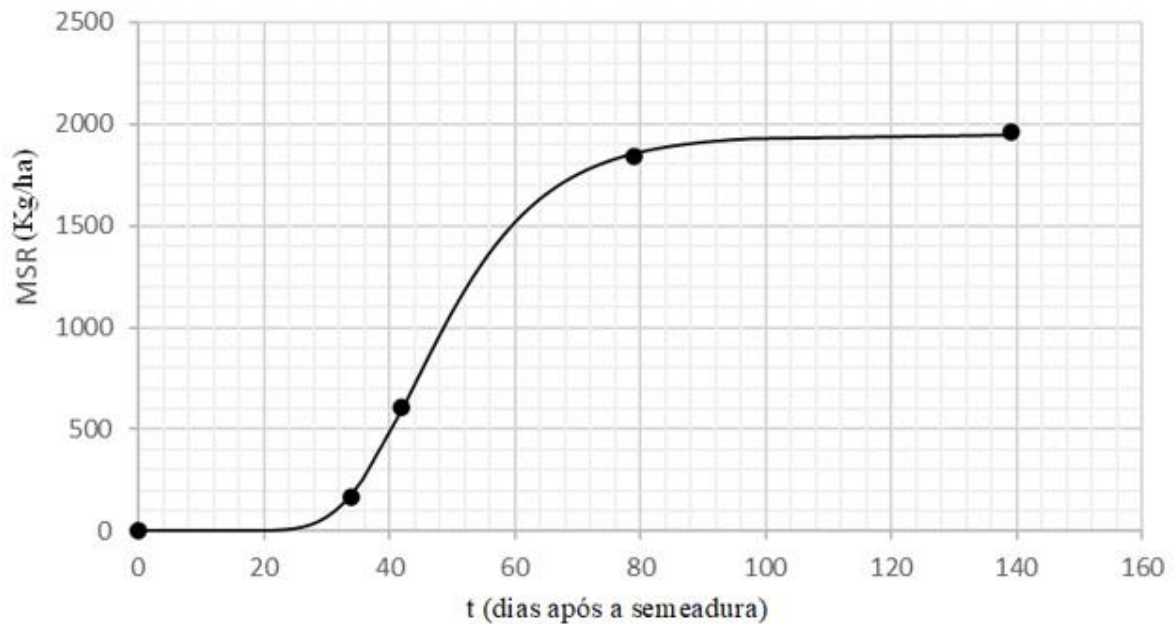


Figura 8. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 7. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de raiz da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$r_0$	1948,100998	20,90309167	93,19678775	1858,162254	2038,039742	0,00012
$r_1$	48,18938816	0,721486514	66,79180719	45,08508224	51,29369408	0,00022
$r_2$	11,52805341	0,829816616	13,89229040	7,957640683	15,09846614	0,00514
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	3445646,1	2	1722823	3117,52	0,00032	
Erro	1105,2507	2	552,62533			
Total	3446751,3	4				

$r^2$ : 0,9996793355.

Por fim, no cultivar tardio em sistema sequeiro, os parâmetros apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. Sendo o valor da máxima produção de acúmulo de massa de matéria seca da raiz de 1948,100998 kg ha<sup>-1</sup> com o tempo para alcançar a produção de 50% de 48,18 dias após a semeadura (DAS).

A curva de caracterização do crescimento e desenvolvimento da raiz de soja segue aos parâmetros já descritos de aumento no acúmulo de massa de raízes até aproximadamente 80 dias após a semeadura e pouco aumento nos próximos dias analisados.

Onde em sistema sequeiro o aprofundamento do sistema radicular é extremamente importante. Pequenas porções do sistema radicular nas camadas mais profundas do solo seriam suficientes para o suprimento hídrico da soja (QUEIROZ-VOLTAN, NOGUEIRA; MIRANDA, 2000; STONE et al., 1976).

#### 4.2 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de folha

Os valores observados de massa de matéria seca de folha referentes aos quatro experimentos se encontram na Tabela 8.

**Tabela 8. Valores observados de massa de matéria seca de folha (MSF, kg ha<sup>-1</sup>), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.**

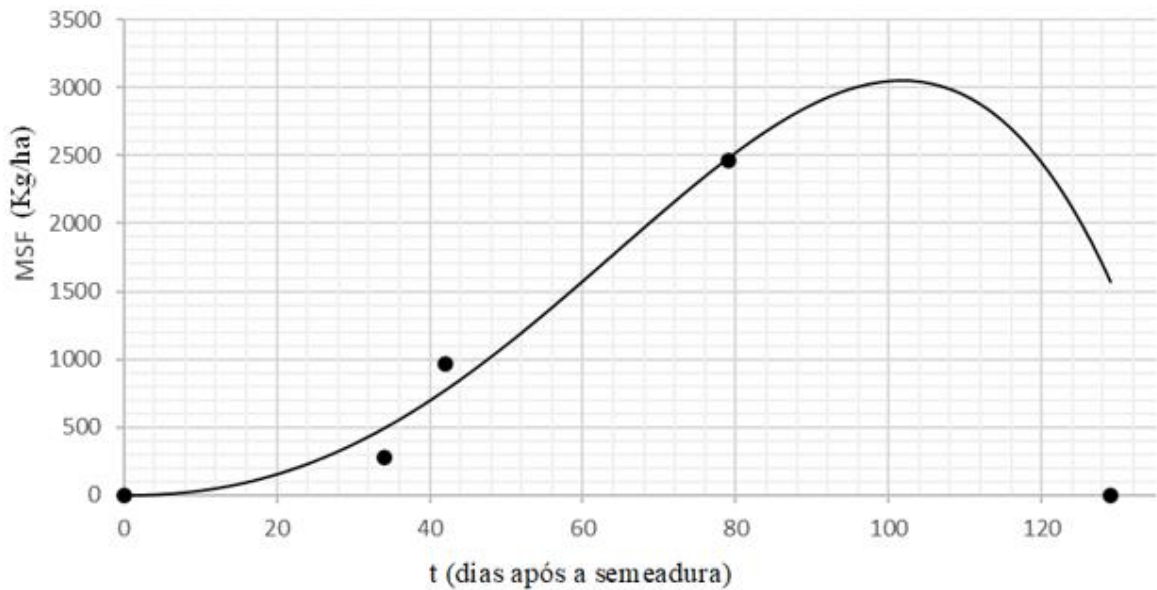
Cultivar precoce			Cultivar tardio		
t	Experimento I	Experimento II	t	Experimento III	Experimento IV
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
34	274,21	229,26	34	421,47	550,53
42	964,55	1132,89	42	1029,65	1764,64
79	2464,53	3129,96	79	3293,16	4803,68
129	0,00	0,00	139	0,00	0,00

A determinação do acúmulo de massa seca da área foliar, pode avaliar a eficiência fotossintética das plantas conforme seu desenvolvimento e crescimento, determinando danos bióticos e abióticos na cultura e uma análise de crescimento de um grande condicionante da produtividade da cultura de soja.

#### 4.2.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de folha, referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 9 e Tabela 9), tem-se que:

$$MSF_I(t) = 0,298453318 \cdot t^2 + 0,005728095 \cdot t^3 - 5,6659 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 \quad (63)$$



**Figura 9.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Para avaliação do acúmulo de massa seca de folha, utilizou-se o modelo quadrático, devido a existência de um ponto crítico, ou seja, ao acúmulo máximo de massa seca de folha que antecede a senescência e queda das folhas de soja. Porém, não houve diferença significativa nos parâmetros avaliados.

A senescência foliar é a denominação atribuída ao envelhecimento natural das folhas, fenômeno que ocorre nas plantas de soja. Este processo inicia-se no momento em que a planta atinge o máximo da sua atividade fotossintética, dando-se posteriormente a sua degradação (FAGUNDES et al., 2007).

**Tabela 9. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$f_0$	0,298453318	0,280548612	1,063820333	-0,90864993	1,505556569	0,39886
$f_1$	0,005728095	0,005902265	0,970491008	-0,01966730	0,031123492	0,43418
$f_2$	$-5,6659 \cdot 10^{-5}$	$2,82495 \cdot 10^{-5}$	-2,00565256	-0,00017821	$6,4889 \cdot 10^{-5}$	0,18274

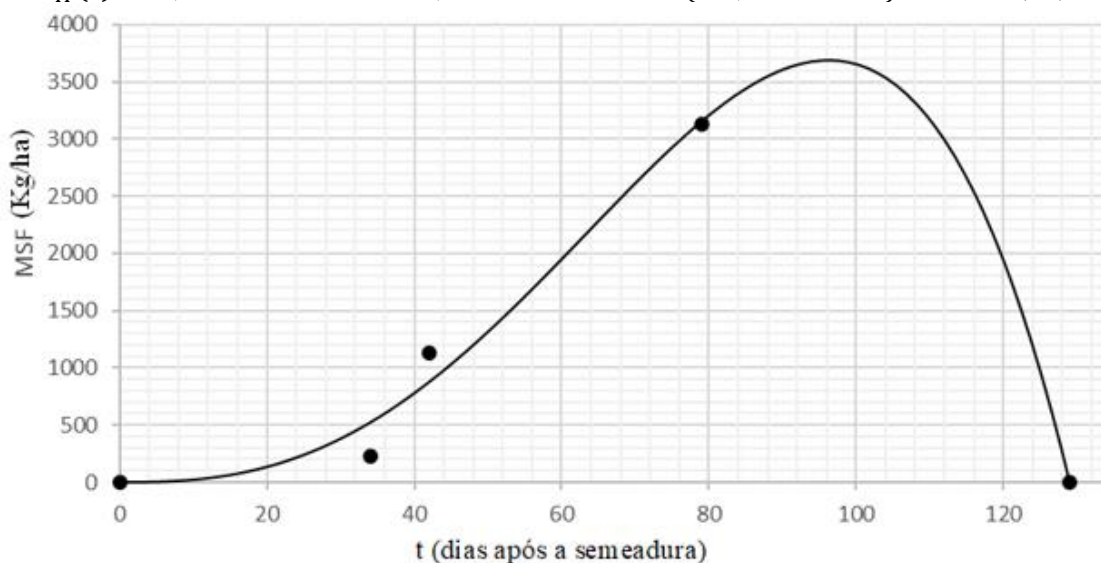
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	4251747,2	2	2125873,6	50,1164	0,01956	
Erro	84837,406	2	42418,703			
Total	4336584,6	4				

$r^2$ : 0,9804368151.

#### 4.2.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de folha, referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 10 e Tabela 10), tem-se que:

$$MSF_{II}(t) = 0,094540502 \cdot t^2 + 0,014567371 \cdot t^3 + (-0,00011861) \cdot t^4 \quad (64)$$



**Figura 10. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 10. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
f <sub>0</sub>	0,094540502	0,390033994	0,242390415	-1,58364033	1,772721331	0,83107
f <sub>1</sub>	0,014567371	0,008491571	1,715509590	-0,02196891	0,051103651	0,22839
f <sub>2</sub>	-0,00011861	4,29543.10 <sup>-5</sup>	-2,76137059	-0,00030343	6,62046.10 <sup>-5</sup>	0,10994
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
<b>Regressão</b>	6944348,2	2	3472174,1	45,5394	0,02149	
<b>Erro</b>	152490,83	2	76245,415			
<b>Total</b>	7096839,1	4				

r<sup>2</sup>: 0,9785128520.

O acúmulo máximo de massa seca de folha que antecede a senescência e queda das folhas de soja em cultivar precoce sob sistema sequeiro é aproximadamente aos 90 dias após a emergência, não tendo diferença significativa nos parâmetros avaliados.

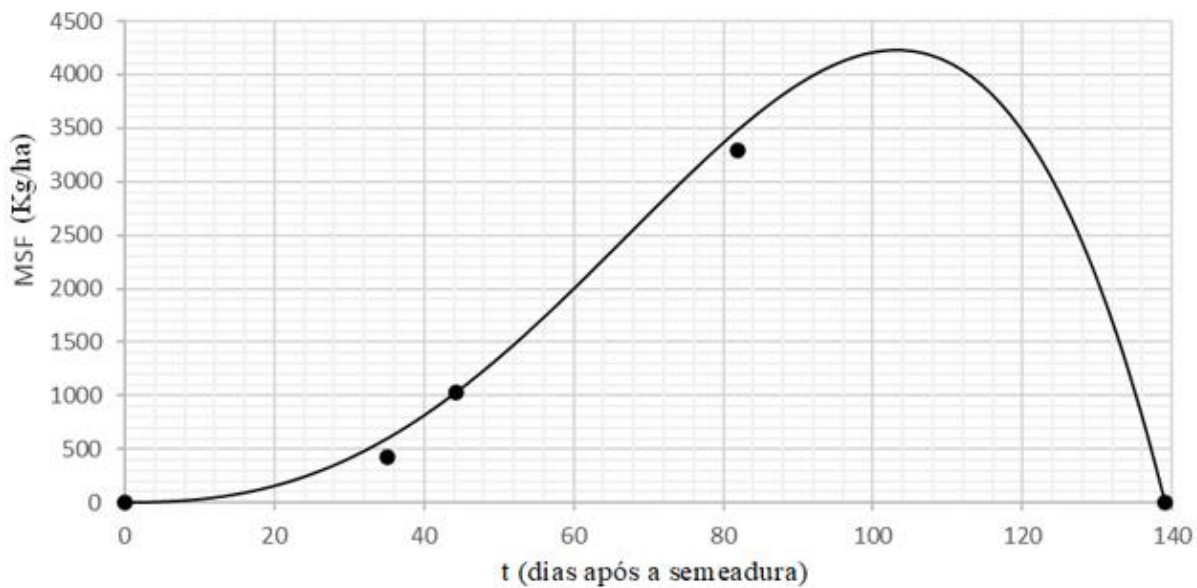
Porém, a senescência foliar pode ocorrer prematuramente, sobretudo no terço inferior do dossel, especialmente quando as plantas são submetidas a condições de estresses, sejam abióticos ou bióticos (LIM, KIM; NAN, 2007). Os fatores ambientais que influenciam a senescência foliar incluem *deficit* hídrico; limitação de luz; temperatura extrema; estresse oxidativo, por meio de irradiação UV-B e ozônio; infecção por patógenos; e sombreamento imposto por plantas daninhas (LIM, KIM; NAN, 2007). Assim, sendo necessário uma avaliação mais profunda além da avaliação do acúmulo de massa seca de folhas para caracterizar outros parâmetros.

#### 4.2.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de folha, referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 11 e Tabela 11), tem-se que:



$$MSF_{III}(t) = 0,192349099.t^2 + 0,011699821.t^3 - 9,4128.10^{-5}.t^4 \quad (65)$$



**Figura 11. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

No cultivar tardio em sistema irrigado o ponto crítico de acúmulo de massa seca de folhas foi alcançado aproximadamente aos 110 dias após a emergência, não tendo diferença significativa nos dois primeiros parâmetros avaliados e tendo diferença no terceiro parâmetro.

Portanto, aos 110 dias após a emergência, a planta de soja já finalizou o enchimento de grãos, assim finalizando o seu ciclo de desenvolvimento. No entanto, a formação de grãos de soja também influencia na produção de fatores como hormônios vegetais que provocam a senescência nas folhas. Uma das mudanças que ocorrem nas estruturas da célula em senescência é devido a degradação da clorofila e proteínas, seguida do declínio da taxa fotossintética, aumento da respiração celular, modificações no metabolismo oxidativo, além de alterações no metabolismo secundário (DANGL DIETRICH; THOMAS, 2002).

**Tabela 11. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

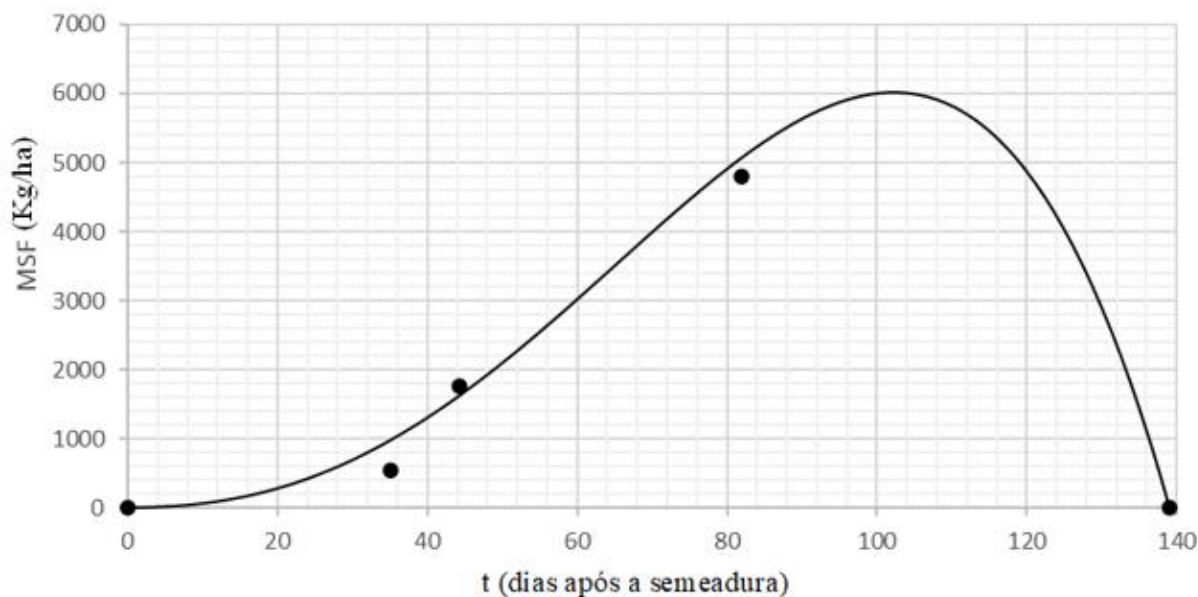
Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$f_0$	0,192349099	0,171910091	1,118893592	-0,54732032	0,932018522	0,37953
$f_1$	0,011699821	0,003616696	3,234947780	-0,00386156	0,027261207	0,08373
$f_2$	$-9,4128 \cdot 10^{-5}$	$1,73103 \cdot 10^{-5}$	-5,43771201	-0,00016861	$-1,9648 \cdot 10^{-5}$	0,03220
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
<b>Regressão</b>	7549230,7	2	3774615,3	236,989	0,00420	
<b>Erro</b>	31854,726	2	15927,363			
<b>Total</b>	7581085,4	4				

$r^2$ : 0,9957981312.

#### 4.2.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de folha, referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 12 e Tabela 12), tem-se que:

$$MSF_{IV}(t) = 0,482445722 \cdot t^2 + 0,013113778 \cdot t^3 - 0,00011932 \cdot t^4 \quad (66)$$



**Figura 12.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 12.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de folha da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo ( $P_m$ ). Erro padrão ( $E_p$ ). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

$P_m$	Valor	$E_p$	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$f_0$	0,482445722	0,462634833	1,042821871	-1,50811130	2,473002748	0,40652
$f_1$	0,013113778	0,009733049	1,347345318	-0,02876415	0,054991709	0,31022
$f_2$	-0,00011932	$4,65844 \cdot 10^5$	-2,56131666	-0,00031975	$8,11191 \cdot 10^5$	0,12458

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
<b>Regressão</b>	16126054	2	8063026,8	69,9005	0,01410	
<b>Erro</b>	230700,1	2	115350,05			
<b>Total</b>	16356754	4				

$r^2$ : 0,9858957279.

Em cultivar tardio em sistema sequeiro o ponto crítico de acúmulo de massa seca de folhas foi alcançado aproximadamente aos 100 dias após a emergência, não tendo diferença significativa nos parâmetros avaliados.

Portanto, a curva de crescimento de acúmulo de massa seca de folha é caracterizada com o aumento gradativo conforme o crescimento da planta de soja, se têm pouco ganho de massa

seca de folha no período de florescimento posterior ao enchimento dos grãos, seguido da queda das folhas após o enchimento dos grãos, a senescência e morte da planta com total queda das folhas da planta.

### 4.3 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de haste

Os valores observados de massa de matéria seca de haste referentes aos quatro experimentos se encontram na Tabela 13.

**Tabela 13. Valores observados de massa de matéria seca de haste (MSH, kg ha<sup>-1</sup>), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.**

Cultivar precoce			Cultivar tardio		
t	Experimento I	Experimento II	t	Experimento III	Experimento IV
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
34	194,10	133,26	34	252,53	265,79
42	883,11	1014,76	42	938,03	1647,35
79	4375,12	5903,93	79	5204,58	7487,51
129	4084,20	3787,60	139	5451,90	7082,10

A haste é o órgão da planta que fornece o suporte mecânico para folhas, flores e frutos, e também é responsável pela disposição destas partes na planta.

Na cultura da soja, a haste além de sustentar a parte aérea da planta, também pode desempenhar outras funções, tais como: condução de água e sais minerais das raízes para as folhas; condução dos açúcares, aminoácidos, hormônios e outros metabólitos produzidos para as demais partes da planta.

#### 4.3.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de haste, referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I), os dados foram tabulados e

realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 13 e Tabela 14), tem-se que:

$$MSH_I(t) = \frac{4231,393096}{1 + e^{-\frac{t-47,90429711}{4,452299764}}} \quad (67)$$

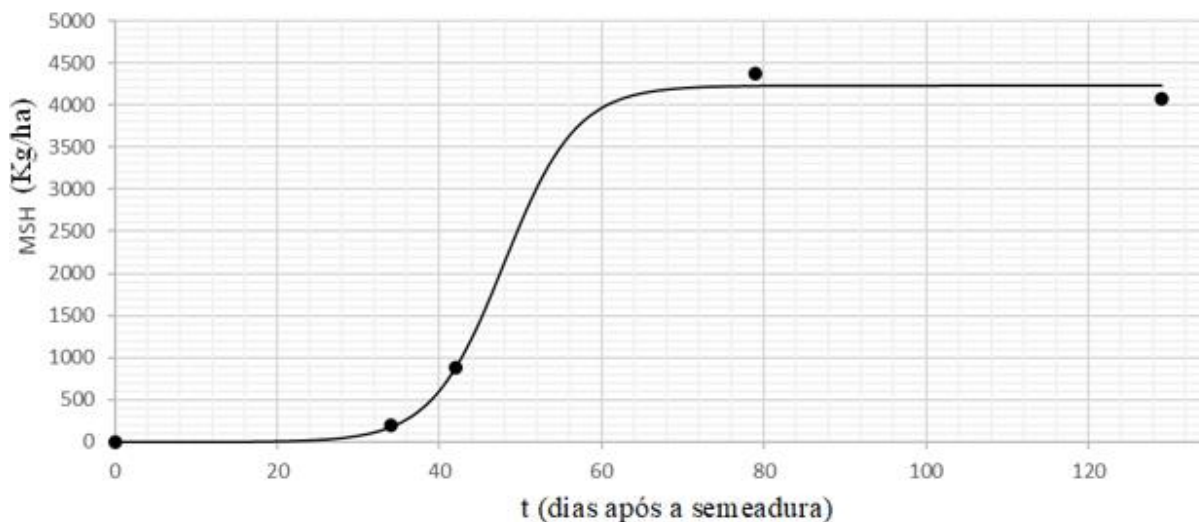


Figura 13. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 14. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo ( $P_m$ ). Erro padrão ( $E_p$ ). Valor  $t$ . Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

$P_m$	Valor	$E_p$	Valor $t$	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$h_0$	4231,393096	105,0350387	40,28553852	3779,463800	4683,322392	0,00062
$h_1$	47,90429711	3,283844282	14,58787110	33,77505554	62,03353867	0,00467
$h_2$	4,452299764	2,200868845	2,022973688	-5,01727458	13,92187411	0,18041
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
<b>Regressão</b>	18407111	2	9203555,4	420,915	0,00237	
<b>Erro</b>	43731,135	2	21865,568			
<b>Total</b>	18450842	4				

$r^2$ : 0,9976298569.

Dois parâmetros apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. Sendo a massa de matéria seca de haste assintota a 4231,393096 kg ha<sup>-1</sup> (máxima produção -

acúmulo) e o tempo para alcançar a produção de 50% (parâmetro  $h_1$  = meia vida) aos 47,90 DAS.

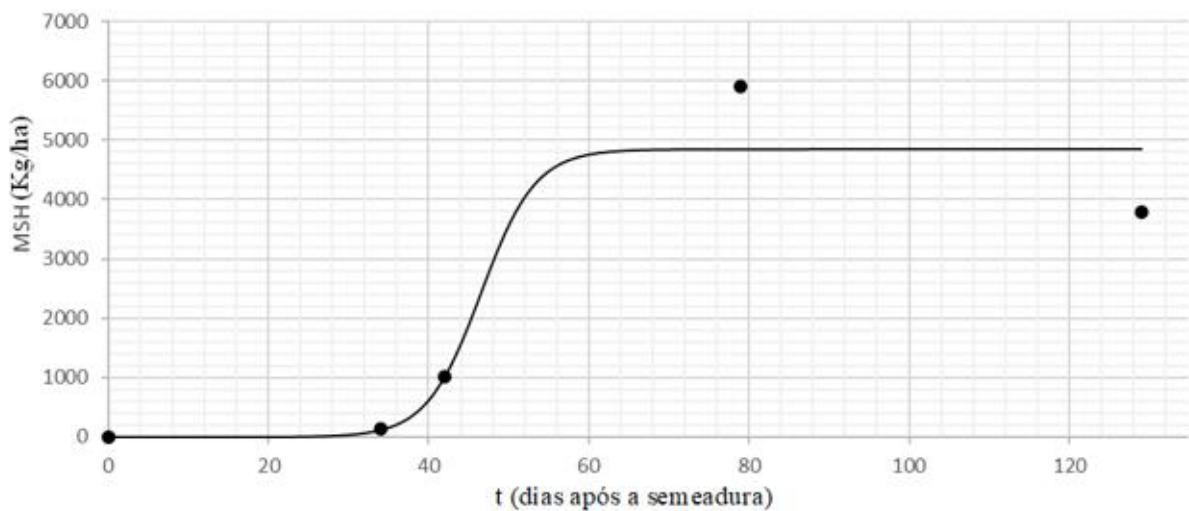
Quanto a caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada, nota-se o crescente acúmulo de matéria até atingir seu máximo por volta do estágio fenológico R<sub>5</sub>, e assim permanecer constante até o fim do seu ciclo.

Portanto, os modelos propostos produzem uma representação dinâmica bidimensional da haste estudada. Tais parâmetros encontrados não são previsões de arquitetura das hastes em resposta a um conjunto de fatores edafoclimáticos, mas simplesmente a reprodução, de forma esquemática e simplificada dos sistemas reais observados.

#### 4.3.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de haste, referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 14 e Tabela 15), tem-se que:

$$MSH_{II}(t) = \frac{4845,808403}{1 + e^{-\frac{t-46,49916695}{3,394673614}}} \quad (68)$$



**Figura 14.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 15. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
h <sub>0</sub>	4845,808403	748,5123944	6,473918722	1625,219506	8066,397300	0,02304
h <sub>1</sub>	46,49916695	18,77851008	2,476190430	-34,2982407	127,2965746	0,13164
h <sub>2</sub>	3,394673614	13,27175931	0,255781734	-53,7090978	60,49844505	0,82202
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	24510281	2	12255141	10,9404	0,08375	
Erro	2240349,2	2	1120174,6			
Total	26750630	4				

r<sup>2</sup>: 0,9162506012.

O acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro tem-se resultados significativos ao nível de 5% de probabilidade. Alcançando a produção máxima de 4845,808 kg ha<sup>-1</sup> em aproximadamente 46,49 dias após a semeadura.

A curva de crescimento da haste em condições de campo, estima-se que após V<sub>5</sub>, a planta de soja pode desenvolver nenhum ou até seis ramos na haste principal. Geralmente, o ramo maior é o de inserção mais baixa na haste principal e, progressivamente, os ramos menores se desenvolvem mais acima.

Em cada ramo desenvolve folhas trifolioladas, nós, axilas, gemas axilares, flores e vagens, da mesma forma que a haste principal.

#### 4.3.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de haste, referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 15 e Tabela 16), tem-se que:

$$MSH_{III}(t) = \frac{5420,409252}{1 + e^{\frac{t-54,04595157}{7,416074612}}} \quad (69)$$

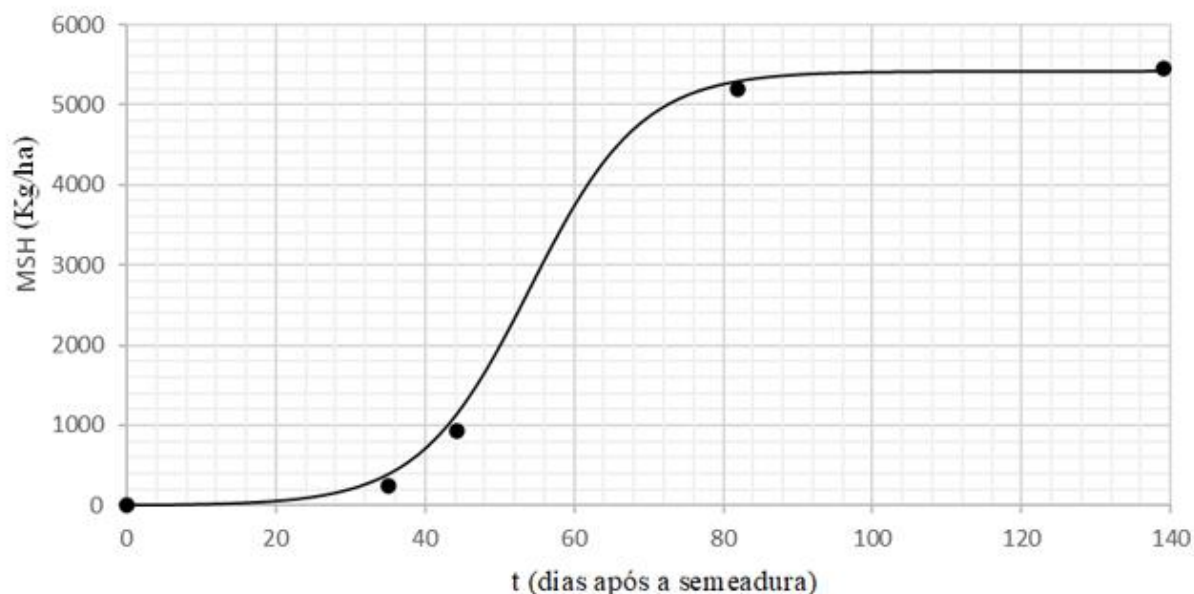


Figura 15. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 16. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo ( $P_m$ ). Erro padrão ( $Ep$ ). Valor  $t$ . Intervalo de confiança ( $IC - 95\%$ ): valor inferior ( $Inf$ ) e superior ( $Sup$ ). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação ( $FV$ ). Soma de Quadrados ( $SQ$ ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade ( $GL$ ). Quadrado Médio ( $QM$ ). Valor  $F$ . Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

$P_m$	Valor	$Ep$	Valor $t$	$IC (Inf)$	$IC (Sup)$	$P >  t $
$h_0$	5420,409252	74,31276810	72,94048372	5100,667217	5740,151287	0,00019
$h_1$	54,04595157	1,572778607	34,36335625	47,27883140	60,81307173	0,00085
$h_2$	7,416074612	0,793865581	9,341725836	4,000346701	10,83180252	0,01127
ANOVA						
$FV$	$SQ$	$GL$	$QM$	$F$	$P > F$	
<b>Regressão</b>	29672042	2	14836021	2467,55	0,00041	
<b>Erro</b>	12024,914	2	6012,457			
<b>Total</b>	29684067	4				

$r^2$ : 0,9995949034.

Em cultivar tardio sob condição irrigada os parâmetros são significativos ao nível de 5% de probabilidade. Alcançando a produção máxima de 5420,409 kg ha<sup>-1</sup> em aproximadamente 54,04 dias após a semeadura.

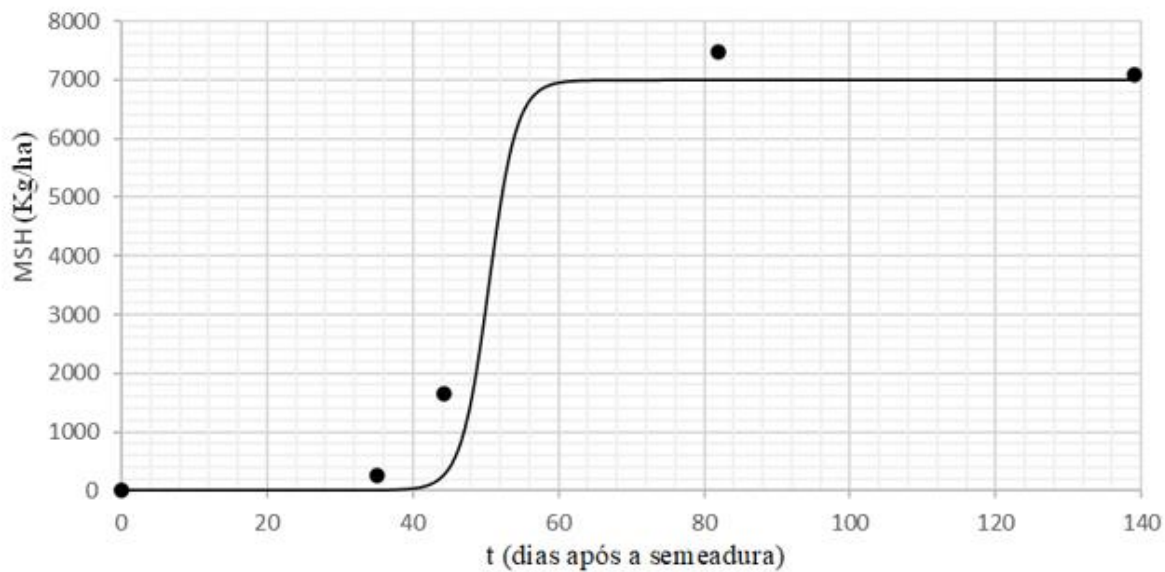


A caracterização da curva de crescimento nas hastes tem a rápida acumulação de matéria seca e nutrientes pela planta nessas partes vegetativas, em seguida deslocando-se gradualmente para as vagens e sementes em formação, enquanto as partes vegetativas finalizam o seu desenvolvimento.

#### 4.3.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de haste, referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 16 e Tabela 17), tem-se que:

$$MSH_{IV}(t) = \frac{6997,540221}{1 + e^{\frac{t-50,40617117}{1,900389342}}} \quad (70)$$



**Figura 16.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 17. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de haste da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

<b>Pm</b>	<b>Valor</b>	<b>Ep</b>	<b>Valor t</b>	<b>IC (Inf)</b>	<b>IC (Sup)</b>	<b>P&gt; t </b>
h <sub>0</sub>	6997,540221	831,3689248	8,416889317	3420,448448	10574,63200	0,01382
h <sub>1</sub>	50,40617117	1885,111693	0,026739090	-8060,57480	8161,387143	0,98110
h <sub>2</sub>	1,900389342	426,0300431	0,004460693	-1831,15894	1834,959717	0,99685
<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P&gt;F</b>	
<b>Regressão</b>	51902527	2	25951264	18,7739	0,05057	
<b>Erro</b>	2764615,9	2	1382308			
<b>Total</b>	54667143	4				

$r^2$ : 0,9494281987.

A curva de crescimento das hastes segue o mesmo padrão da planta como um todo até o início de formação das vagens e grãos, ou seja, até aproximadamente R<sub>4</sub>. Logo após R<sub>5,5</sub> a matéria seca é máxima nessas partes vegetativas, quando então inicia-se rapidamente a sua translocação para os grãos em formação.

#### **4.4 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca de vagens**

Os valores observados de massa de matéria seca de vagens referentes aos quatro experimentos se encontram na Tabela 18.

**Tabela 18. Valores observados de massa de matéria seca de vagens (MSV, kg ha<sup>-1</sup>), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos. Experimento I: Cultivar precoce em sistema sob irrigação. Experimento II: Cultivar precoce em sistema de sequeiro. Experimento III: Cultivar tardio em sistema sob irrigação. Experimento IV: Cultivar tardio em sistema de sequeiro.**

Cultivar precoce			Cultivar tardio		
t	Experimento I	Experimento II	t	Experimento III	Experimento IV
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
34	0,00	0,00	34	0,00	0,00
42	0,00	0,00	42	0,00	0,00
79	714,87	1031,61	79	258,57	525,36
129	8386,50	10717,80	139	11406,90	14211,30

Os valores observados de matéria seca de vagens, que são classificados como fruto da soja, um legume, que apresentam comprimento, forma e cor variáveis para cada cultivar. A forma pode ser achatada, ovalada, reta, pouco curvadas, até quase cilíndrica, conforme a forma das sementes, que a vagem contém (VERNETTI, 1983).

Já as sementes com a principal função de perpetuação e multiplicação da espécie carrega toda a carga genética de um cultivar. A qualidade das sementes de soja é bastante influenciada pelas condições ambientais e de manejo.

O número de vagens por planta e o número de sementes por vagem são características que variam em função do cultivar e do ambiente de produção e podem influenciar no crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura de soja. No trabalho realizado podemos observar que a formação das vagens e acúmulo de massa seca inicia-se a partir de R3-R4, e o enchimento dos grãos em R5 até R8.

#### 4.4.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de vagens, referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 17 e Tabela 19), tem-se que:

$$MSV_I(t) = \frac{1}{0,000119239 + (2,60823 \cdot 10^{31})^{-t}} \quad (71)$$

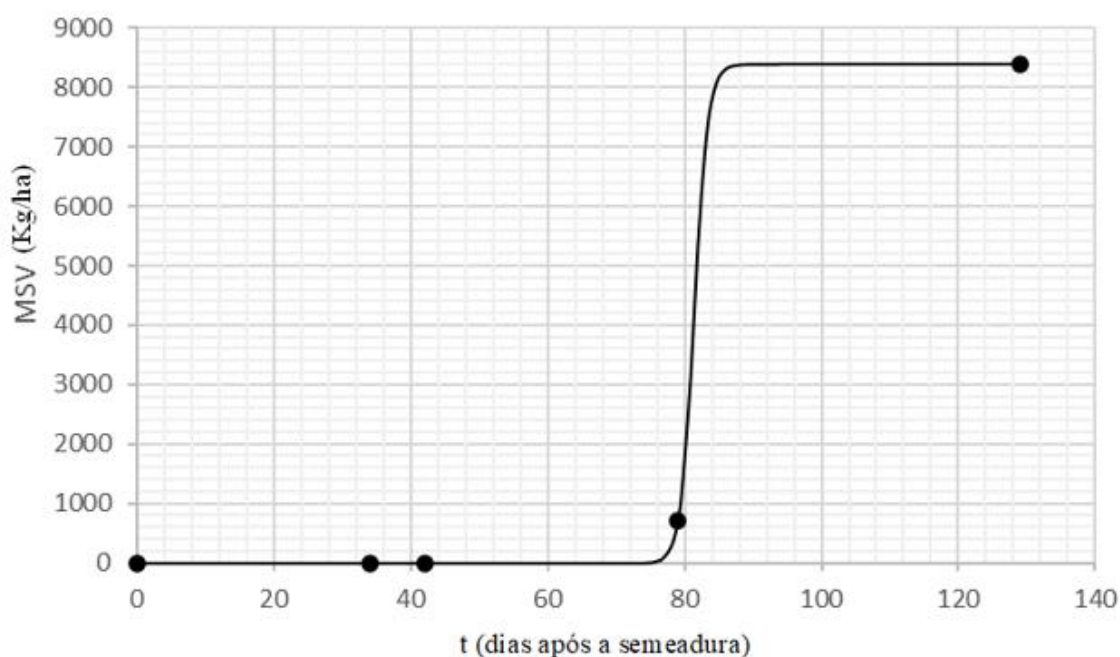


Figura 17. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 19. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$v_0$	0,000119239	$5,47395 \cdot 10^{-22}$	$2,1783 \cdot 10^{17}$	0,000119239	0,000119239	<0,0001
$v_1$	$2,60823 \cdot 10^{31}$	$1,53563 \cdot 10^{15}$	$1,69847 \cdot 10^1$	$2,60823 \cdot 10^{31}$	$2,60823 \cdot 10^{31}$	<0,0001

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F	$P > F$
Regressão	54277438	1	54277438	$3,6618 \cdot 10^3$	<0,00001
Erro	$4,4467861 \cdot 10^{-27}$	3	$1,482262 \cdot 10^{-27}$		
Total	54277438	4			

$r^2$ : 1.

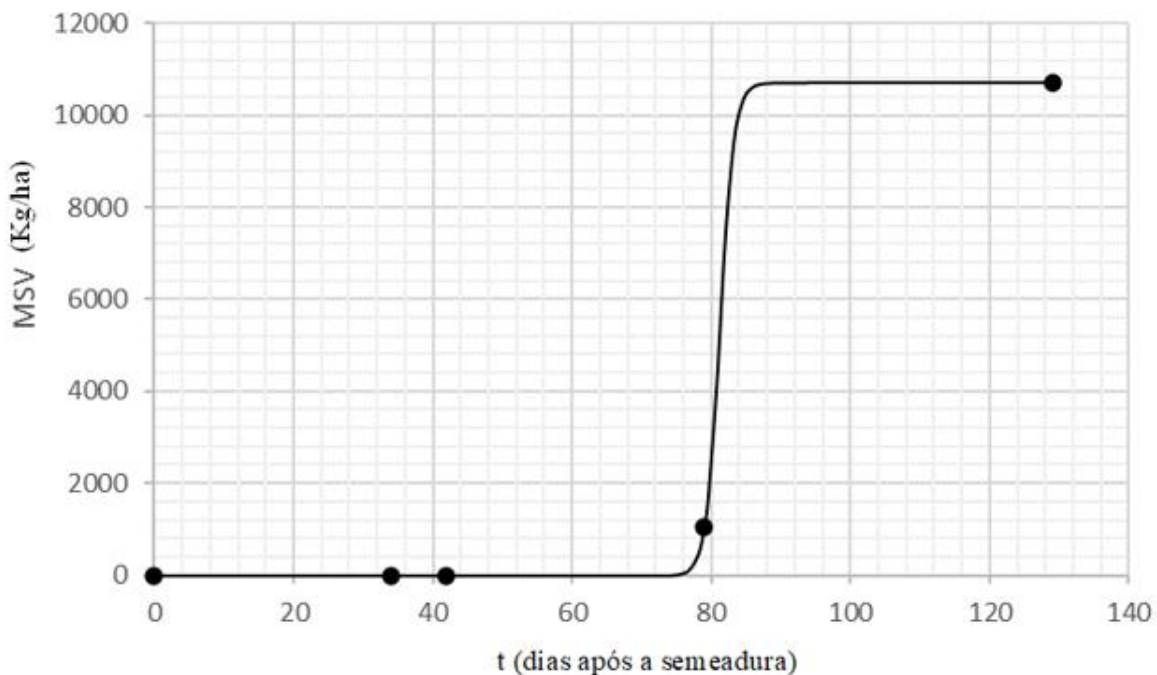
De acordo com a Figura 17, o ganho e acúmulo de massa seca de vagem de soja, inicia por volta do seu estágio reprodutivo, por volta de 80 após a semeadura e prossegue até o final do seu ciclo, na fase de maturação fisiológica.

O ponto de maturidade fisiológica é alcançado no momento em que a semente atinge os valores máximos de massa seca, poder germinativo e vigor (POPINIGIS, 1985), onde observa-se esse valor máximo, aproximadamente, aos 120 dias após a semeadura.

#### 4.4.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de vagens, referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 18 e Tabela 20), tem-se que:

$$MSV_{II}(t) = \frac{1}{(9,33027 \cdot 10^{-5}) + (1,78566 \cdot 10^{31})^{-t}} \quad (72)$$



**Figura 18.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, Cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

O acúmulo de massa de matéria seca na cultura de soja caracteriza-se por iniciar nas partes vegetativas da planta, porém, entre R<sub>3</sub> e R<sub>5.5</sub> observa-se a translocação gradativamente

para as vagens e grãos em formação. A taxa de crescimento das folhas, pecíolos e hastes segue o mesmo padrão da planta como um todo até o início de formação das vagens e grãos, ou seja, até aproximadamente R<sub>4</sub>. Logo após R<sub>5.5</sub> a matéria seca é máxima nessas partes vegetativas, quando então inicia-se rapidamente a sua translocação para as vagens e ao enchimento dos grãos em formação (PROCEDI, 2020).

**Tabela 20. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
v <sub>0</sub>	9,33027.10 <sup>-5</sup>	4,89572.10 <sup>-22</sup>	1,905810 <sup>17</sup>	9,33027.10 <sup>-5</sup>	9,33027.10 <sup>-5</sup>	<0,00001
v <sub>1</sub>	1,78566.10 <sup>31</sup>	1,07717.10 <sup>15</sup>	1,65773.10 <sup>16</sup>	1,78566.10 <sup>31</sup>	1,78566.10 <sup>31</sup>	<0,00001
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
<b>Regressão</b>	88325741	1	88325741	2,79275.10 <sup>34</sup>	<0,00001	
<b>Erro</b>	9,4880398.10 <sup>-27</sup>	3	3,1626799.10 <sup>-27</sup>			
<b>Total</b>	88325741	4				

r<sup>2</sup>: 1.

#### 4.4.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de vagens, referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 19 e Tabela 21), tem-se que:

$$MSV_{III}(t) = \frac{1}{(8,76662 \cdot 10^{-5}) + (7,70423 \cdot 10^{31})^{-t}} \quad (73)$$

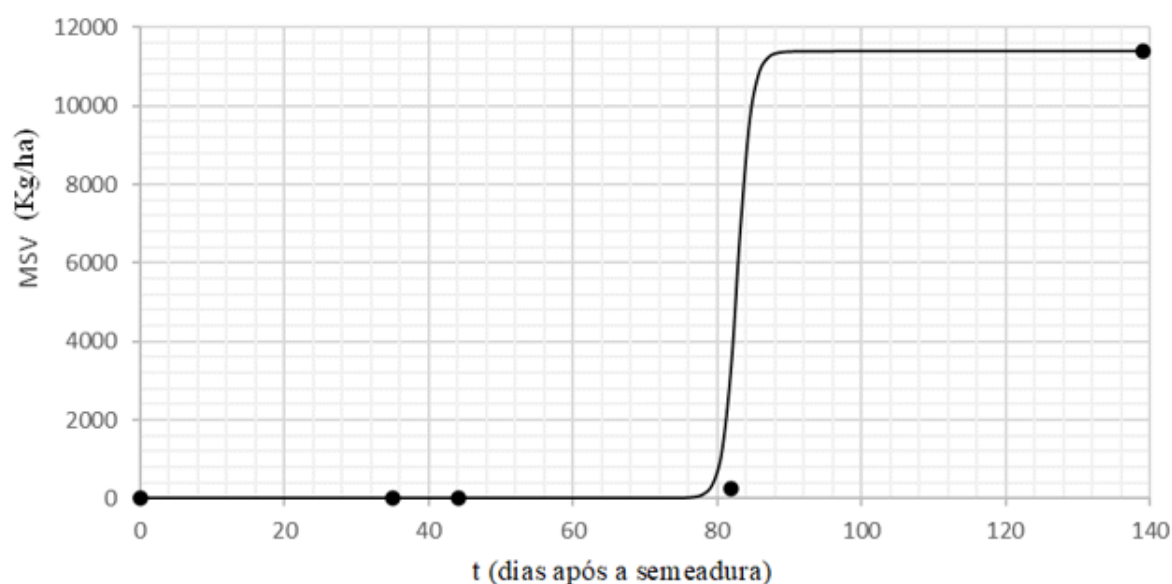


Figura 19. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 21. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$v_0$	$8,76662 \cdot 10^{-5}$	$1,00249 \cdot 10^{-22}$	$8,74486 \cdot 10^{17}$	$8,76662 \cdot 10^{-5}$	$8,76662 \cdot 10^{-5}$	<0,00001
$v_1$	$7,70423 \cdot 10^{31}$	$3,97672 \cdot 10^{15}$	$1,93733 \cdot 10^{16}$	$7,70423 \cdot 10^{31}$	$7,70423 \cdot 10^{31}$	<0,00001
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	$1,0296759 \cdot 10^8$	1	$1,0296759 \cdot 10^8$	$6,05162 \cdot 10^{35}$	<0,00001	
Erro	$5,1044659 \cdot 10^{-28}$	3	$1,7014886 \cdot 10^{-28}$			
Total	$1,0296759 \cdot 10^8$	4				

$r^2$ : 1.

Em cultivar tardio sob irrigação, a curva de acúmulo de massa seca de vagem segue caracterizado como os demais sistemas. Iniciando o acúmulo no estágio reprodutivo até por volta do final do seu ciclo, na fase de maturação fisiológica.

Caracterizando o acúmulo de massa seca e o desenvolvimento da vagem no estágio reprodutivo, é no estágio R<sub>5</sub> que a planta de soja completou a maior parte do seu florescimento, porém, algumas flores ainda podem abrir nos ramos e nos nós superiores da haste principal.

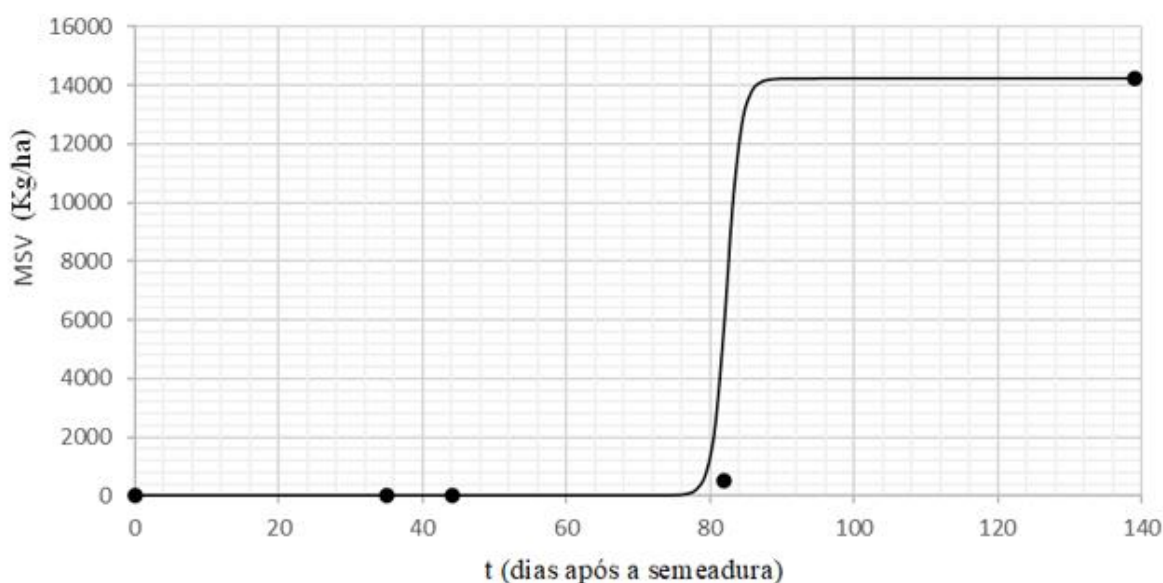
Assim, de três a quatro dias após a abertura da flor, suas pétalas murcham e a vagem (fruto) começa a alongar-se. Por volta de 2 e 2,5 semanas após a abertura de uma flor, a vagem formada apresenta-se com o seu comprimento máximo (PROCEDI, 2020).

O desenvolvimento das vagens na planta de soja é rápido entre R<sub>4</sub> e R<sub>5</sub>, pois apenas poucas vagens totalmente formadas estão presentes nos nós vegetativos mais baixos na haste principal durante o estágio R<sub>4</sub>. Muitas vagens atingem o tamanho final em R<sub>5</sub> e quase todas estão completamente desenvolvidas no estágio R<sub>6</sub> (PROCEDI, 2020).

#### 4.4.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca de vagens, referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 20 e Tabela 22), tem-se que:

$$MSV_{IV}(t) = \frac{1}{(7,03665 \cdot 10^{-5}) + (3,73635 \cdot 10^{31})^{-t}} \quad (74)$$



**Figura 20.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.



**Tabela 22. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca de vagens da cultura de soja, cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
v <sub>0</sub>	7,03665.10 <sup>-5</sup>	1,33074.10 <sup>-22</sup>	5,28779.10 <sup>1</sup> 7	7,03665.10 <sup>-5</sup>	7,03665.10 <sup>-5</sup>	<0,00001
v <sub>1</sub>	3,73635.10 <sup>31</sup>	1,98477.10 <sup>15</sup>	1,88251.10 <sup>1</sup> 6	3,73635.10 <sup>3</sup> 1	3,73635.10 <sup>3</sup> 1	<0,00001

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
<b>Regressão</b>	1,5880322.10 <sup>8</sup>	1	1,5880322.10 <sup>8</sup>	2,19857.10 <sup>35</sup>	<0,00001	
<b>Erro</b>	2,1669114.10 <sup>-27</sup>	3	7,2230381.10 <sup>-28</sup>			
<b>Total</b>	1,5880322.10 <sup>8</sup>	4				

$r^2$ : 1.

No cultivar tardio em sistema de sequeiro, a curva de acúmulo de massa seca de vagem segue caracterizado como os demais sistemas. Atingindo seu acúmulo máximo de massa seca no ponto de maturação, por volta dos 140 dias após a semeadura.

Enquanto, aos grãos ou as sementes no interior de uma vagem não se inicia o seu rápido desenvolvimento enquanto a vagem não tenha atingido o seu comprimento final e os grãos se apresentem com 7 a 8 mm de comprimento.

No estágio fenológico da planta R<sub>5</sub>, momento em que um grão se apresenta com 8 mm de comprimento, o mesmo inicia rapidamente o acúmulo de matéria seca. Em torno de R<sub>5,5</sub> a taxa de acúmulo de massa de matéria seca por todas as vagens em uma planta de soja é rápida e constante. Esse rápido crescimento de todas as vagens de uma planta começa a diminuir logo após o estágio R<sub>6,5</sub> e finaliza no ponto de maturação fisiológica (PROCEDI, 2020).

#### 4.5 Caracterização do acúmulo de massa de matéria seca total

Os valores observados de massa de matéria seca total referentes aos quatro experimentos se encontram na Tabela 23.

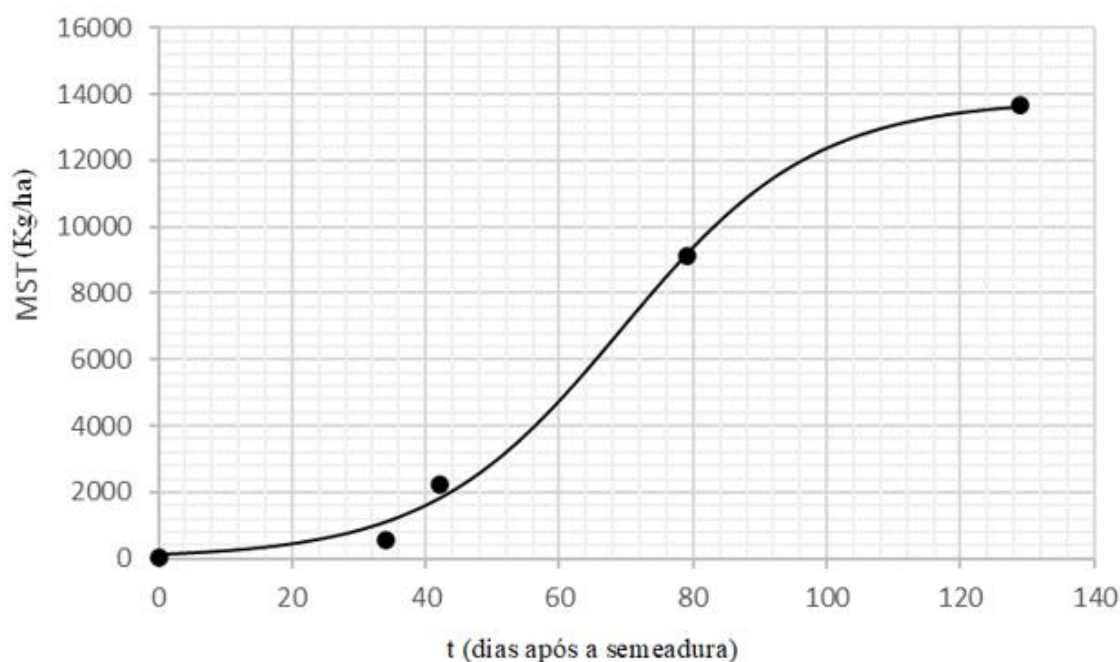
**Tabela 23. Valores observados de massa de matéria seca total (MST, kg ha<sup>-1</sup>), em função do tempo (t, d – dias após a semeadura), referentes aos quatro experimentos.**

Cultivar precoce			Cultivar tardio		
t	Experimento I	Experimento II	t	Experimento III	Experimento IV
0	53,25	53,25	0	53,25	53,25
34	576,21	451,37	34	823,58	979,89
42	2224,49	2576,89	42	2408,13	4020,48
79	9130,09	11655,57	79	10022,64	14654,59
129	13645,80	16053,40	139	18241,50	23256,70

#### 4.5.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca total, referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 21 e Tabela 24), tem-se que:

$$MST_I(t) = \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \quad (75)$$



**Figura 21.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 24.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
a <sub>0</sub>	13846,23651	536,6934396	25,79915365	11537,03102	16155,44200	0,00150
a <sub>1</sub>	69,30165234	2,428497633	28,53684162	58,85267037	79,75063431	0,00123
a <sub>2</sub>	14,39059192	1,656122324	8,689329110	7,264872682	21,51631116	0,01299

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F	P>F
Regressão	1,4302038.10 <sup>8</sup>	2	71510188	316,77	0,00315
Erro	451495,61	2	225747,81		
Total	1,4347187.10 <sup>8</sup>	4			

$r_a^2$ : 0,9968530722.

Assim como nas demais fórmulas, em massa de matéria seca total foi utilizado o processo de nova parametrização – que é acrescentar um parâmetro em um modelo logístico para que a curva da equação se adeque aos dados coletados no experimento.

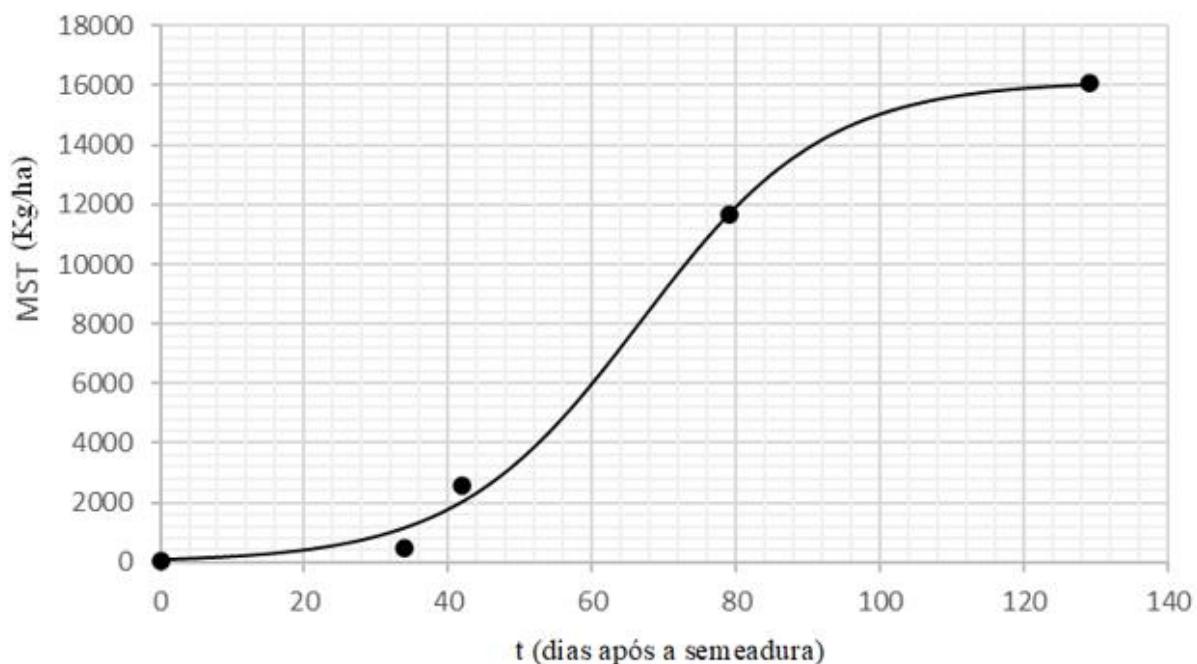
Portanto, a produção máxima de matéria seca total do cultivar precoce em sistema sob irrigação foi de 13.846,23 kg ha<sup>-1</sup> em uma meia vida, aproximadamente, 69,30 dias após a semeadura.

A curva de crescimento e a taxa de incremento de matéria seca na planta de soja é pequena no início, porém aumenta gradativamente durante os estádios vegetativos de desenvolvimento até o R<sub>1</sub>. Em torno de R<sub>2</sub>, a taxa diária de acúmulo de massa de matéria seca pela planta é essencialmente constante até durante o período de enchimento das sementes (logo após R<sub>6</sub>), terminando após R<sub>6,5</sub> (PROCEDI, 2020).

#### 4.5.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca total, referente a cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 22 e Tabela 25), tem-se que:

$$MST_{II}(t) = \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \quad (76)$$



**Figura 22.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 25.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_0$	16149,90584	671,2068136	24,06099805	13261,93601	19037,87567	0,00172
$a_1$	66,62087798	2,612267182	25,50308730	55,38119946	77,86055651	0,00153
$a_2$	12,76305241	1,583174220	8,061685347	5,951203530	19,57490129	0,01504

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	$P>F$	
Regressão	2,1000955.10 <sup>8</sup>	2	1,0500478.10 <sup>8</sup>	265,63	0,00375	
Erro	790609,66	2	395304,83			
Total	2,1080016.10 <sup>8</sup>	4				

$r^2$ : 0,9962494827.

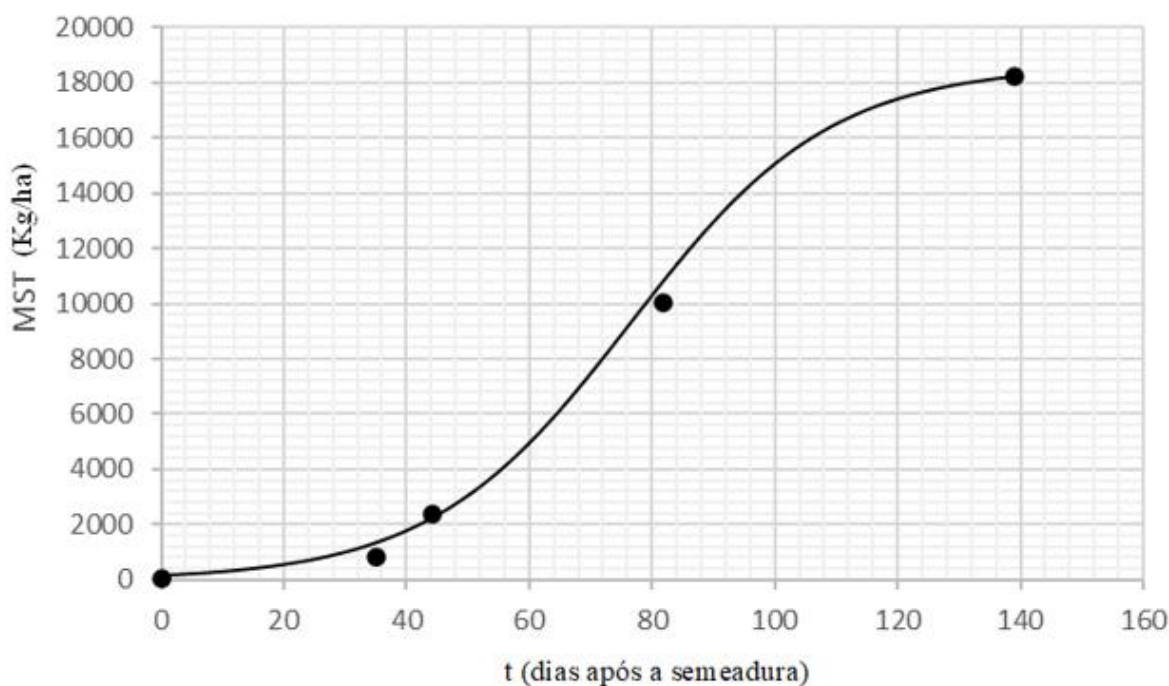
Em cultivar precoce em sistema sequeiro o acúmulo de meia vida de matéria seca total foi atingindo por volta dos 66,62 dias após a semeadura, e a massa seca total foi de 16.149,90 kg ha<sup>-1</sup>.

A curva de crescimento do acúmulo de massa de matéria seca total é progressiva até o estágio final de produção, devido ao ganho de massa em partes vegetativas e as reprodutivas, principalmente vagens e sementes. Onde todo esse acúmulo também depende da assimilação de nutrientes pelas plantas e condições ambientais ao longo de seu ciclo produtivo.

#### 4.5.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca total, referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 23 e Tabela 26), tem-se que:

$$MST_{III}(t) = \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \quad (77)$$



**Figura 23.** Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

No cultivar tardio em sistema sob irrigação o acúmulo de meia vida de matéria seca total foi atingindo por volta dos 76,39 dias após a semeadura, e a massa seca total foi de 18.624,58 kg ha<sup>-1</sup>.

Os modelos foram ajustados para a estimativa de produção de matéria seca total dos diferentes órgãos da planta com a raiz, caule, folhas e vagens. Portanto, a curva de crescimento e acúmulo de massa de matéria seca total segue progressivamente em todos os sistemas analisados.

De acordo com estudo realizado de Acúmulo de massa de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. A produção de matéria seca total da soja é influenciada, de forma mais pronunciada, pela época de semeadura(fotoperíodo), do que pelo ciclo de maturação do cultivar (CRUZ et al., 2010).

**Tabela 26. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, cultivar tardio sob condição irrigada (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
a <sub>0</sub>	18624,58493	512,8720358	36,31429213	16417,87467	20831,29520	0,00076
a <sub>1</sub>	76,39810379	1,854728637	41,19098733	68,41785055	84,37835702	0,00059
a <sub>2</sub>	16,28463144	1,554101620	10,47848559	9,597871860	22,97139102	0,00899

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	2,4023197.10 <sup>8</sup>	2	1,2011599.10 <sup>8</sup>	624,426	0,00160	
Erro	384724,58	2	192362,29			
Total	2,406167.10 <sup>8</sup>	4				

r<sup>2</sup>: 0,9984010894.

#### 4.5.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da massa de matéria seca total, referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV), os dados foram tabulados e realizada a avaliação estatística utilizando o software *Table Curve 2D* (Figura 24 e Tabela 27), tem-se que:

$$MST_{IV}(t) = \frac{23521,46394}{1 + e^{\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \quad (78)$$

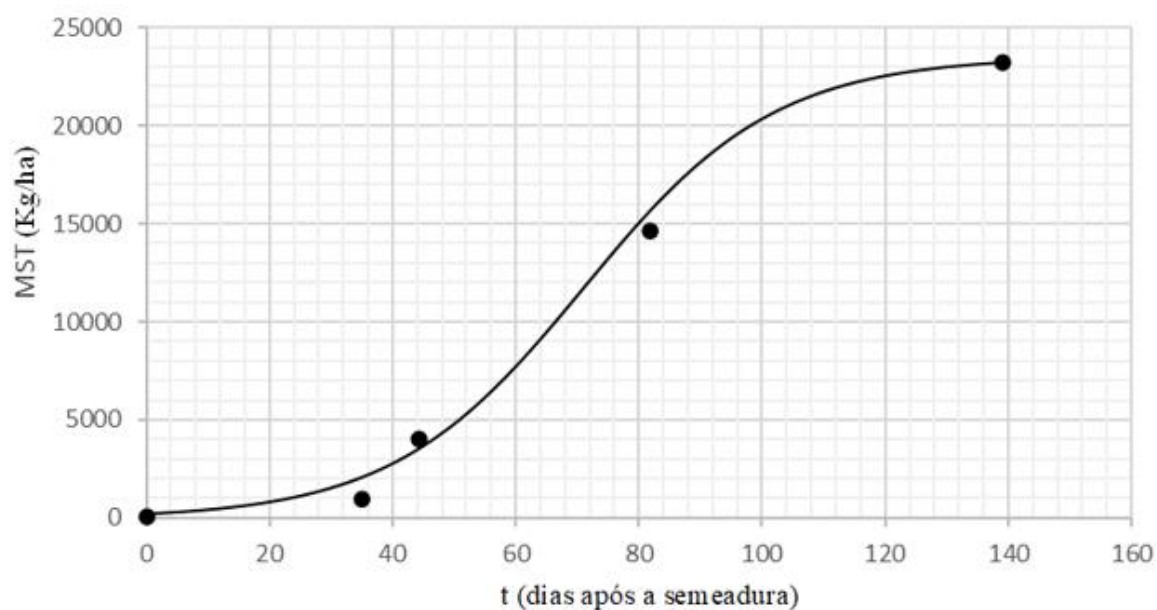


Figura 24. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 27. Caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, Cultivar tardio sob condição de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC Inf (95%)	Sup	$P >  t $
$a_0$	23521,46394	1045,379233	22,50041248	19023,56013	28019,36775	0,00197
$a_1$	70,95465735	2,933739502	24,18573882	58,33179507	83,57751963	0,00171
$a_2$	15,53296811	2,142024165	7,251537291	6,316581990	24,74935423	0,01849

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	$P > F$	
Regressão	$4,0174432 \cdot 10^8$	2	$2,0087216 \cdot 10^8$	221,063	0,00450	
Erro	1817330,9	2	908665,46			
Total	$4,0356165 \cdot 10^8$	4				

$r^2$ : 0,9954967700.



Por fim, em cultivar tardio em sistema sequeiro o ponto de meia vida de matéria seca total foi atingindo por volta dos 70,95 dias após a semeadura, e a máxima massa seca total de 23.521,46 kg ha<sup>-1</sup>.

A caracterização da curva de acúmulo de massa de matéria seca total da cultura de soja, mostra um acúmulo substancial de massa seca total na planta de soja. Isso se dá pela consequência do melhoramento genético, em que a produção de grãos é o principal objetivo do melhorista (BIANCO et al., 2012).

Uma das principais características citadas por Baker (1974), relata que a soja, durante o processo de domesticação, perdeu a capacidade de dispersar suas sementes, produzindo acúmulo contínuo até o final do seu ciclo. Esse acúmulo ocorreu em detrimento da diminuição de recursos alocados para as demais estruturas das plantas, isto é, raízes, caules e folhas.

## 4.6 Caracterização da composição da matéria seca total: teor de macronutrientes

### 4.6.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

A Tabela 28 ilustra a composição (macronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).

**Tabela 28. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	N	P	K	Ca	Mg	S
34	24	4,88	0,32	2,34	1,09	0,41	0,27
42	32	5,43	0,29	2,55	1,16	0,35	0,31
79	69	6,25	0,28	1,87	1,41	0,25	0,29
129	119	2,66	0,15	1,83	2,29	0,24	0,19

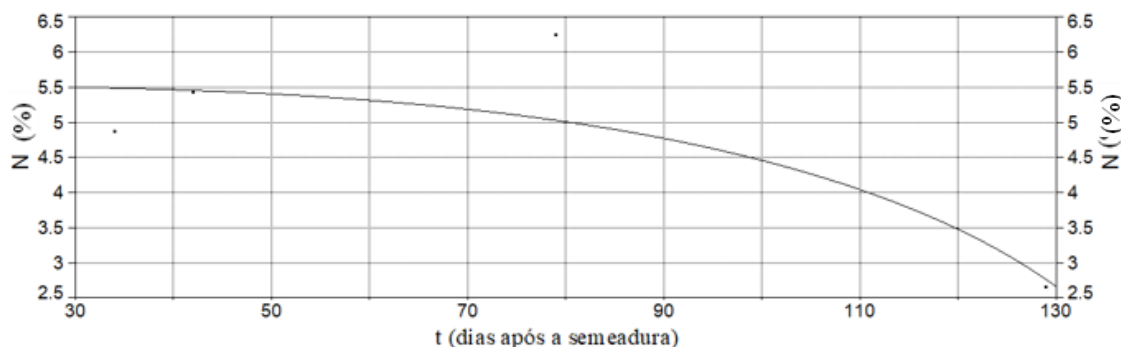
As Tabelas 29, 30, 31, 32, 33 e 34 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de nitrogênio (equação 78 e Figura 25), fósforo (equação 79 e Figura 26), potássio (equação 80 e Figura 27), cálcio (equação 81 e Figura 28), magnésio (equação 82 e Figura 29) e enxofre (equação 83 e Figura 30) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).

#### 4.6.1.1 Teor de nitrogênio

Para caracterização da variação temporal do teor de nitrogênio ( $\tau_{1,t}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{1,t} = \sqrt{30,57827079 - 1,0699 \cdot 10^{-5} \cdot t^3} \quad (78)$$

em que  $a_{0,1,t}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,1,t}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 25.** Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 29.** Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,1,t}$	30,57827079	3,280663836	9,320757113	16,46271358	44,69382800	0,01132
$a_{1,1,t}$	$-1,0699 \cdot 10^{-5}$	$1,99335 \cdot 10^6$	-5,36729463	$-1,9276 \cdot 10^{-5}$	$-2,1222 \cdot 10^6$	0,03300

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	5,2128883	1	5,2128883	5,5681	0,14225	
Erro	1,8724117	2	0,93620583			
Total	7,0853	3				

$r^2$ : 0,7357329034.

O nitrogênio desempenha um papel fundamental em todas as fases do desenvolvimento das plantas, desde o crescimento vegetativo até o enchimento de grãos.

Durante todo o ciclo de desenvolvimento, a planta de soja possui um alto teor de N, porém diminui durante o ciclo, o que é crucial para garantir seu crescimento e produção de grãos satisfatório.

Ao longo do ciclo da cultura de soja, a planta requer um suprimento adequado de nitrogênio para sustentar as atividades metabólicas, a síntese de proteínas e o desenvolvimento das estruturas vegetativas. Além disso, o nitrogênio desempenha um papel crucial no enchimento de grãos, contribuindo para a formação e acumulação de proteínas nos grãos de soja.

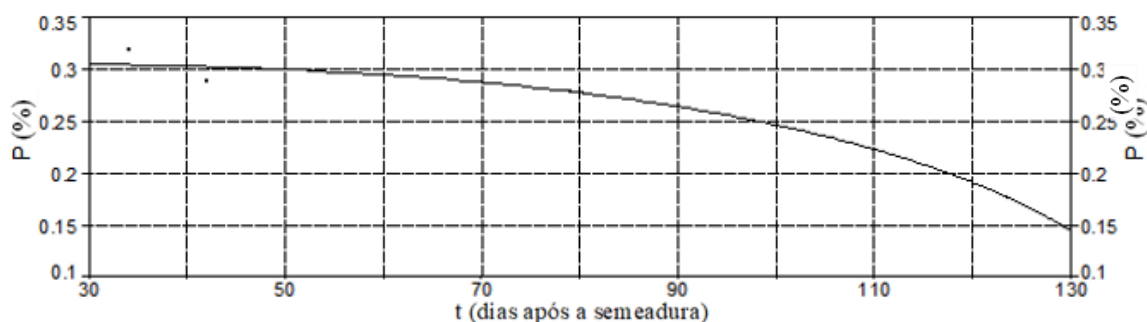
Portanto, o elevado teor de nitrogênio em comparação aos demais nutrientes na matéria seca total da cultura de soja precoce, sob condição irrigada, é um indicador da importância desse nutriente para o crescimento saudável da planta e a maximização da produção de grãos.

#### 4.6.1.2 Teor de fósforo

Para caracterização da variação temporal do teor de fósforo ( $\tau_{2,I}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{2,I} = \sqrt{0,094565127 - 3.3576 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (79)$$

em que  $a_{0,2,I}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,2,I}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 26.** Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

O fósforo desempenha uma variedade de funções vitais nas plantas, incluindo a transferência de energia, o transporte de compostos orgânicos e a síntese de moléculas essenciais, como o DNA e o RNA. Durante o estágio vegetativo da cultura de soja, o fósforo é

necessário para o desenvolvimento do sistema radicular, a formação de tecidos vegetativos e o estabelecimento de uma base saudável para o crescimento da planta.

À medida que a planta de soja avança para o estágio de enchimento de grãos, ocorre um aumento significativo na demanda por fósforo. Nessa fase crítica, o fósforo desempenha um papel fundamental na síntese de ATP (adenosina trifosfato), uma molécula essencial para o transporte de energia nas células, fornecendo a energia necessária para o desenvolvimento dos grãos e o enchimento adequado deles.

Portanto, a curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja precoce sob condição irrigada mostra um alto teor de fósforo durante o estágio vegetativo e no enchimento de grãos. Essa característica reflete a importância desse nutriente durante esses estágios-chave do desenvolvimento da planta, garantindo o crescimento e a produção adequada de grãos de soja. A disponibilidade adequada de fósforo é essencial para maximizar o potencial produtivo da cultura e obter bons rendimentos.

**Tabela 30. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,2,I}$	0,94565127	0,002662883	35,51231353	0,083107667	0,106022586	0,00079
$a_{1,2,I}$	$-3,3576 \cdot 10^{-8}$	$1,63962 \cdot 10^{-9}$	-20,4776054	$-4,063 \cdot 10^{-8}$	$-2,6521 \cdot 10^{-8}$	0,00238
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,01660451	1	0,01660451	83,9693	0,01170	
Erro	0,00039548991	2	0,00019774495			
Total	0,017	3				

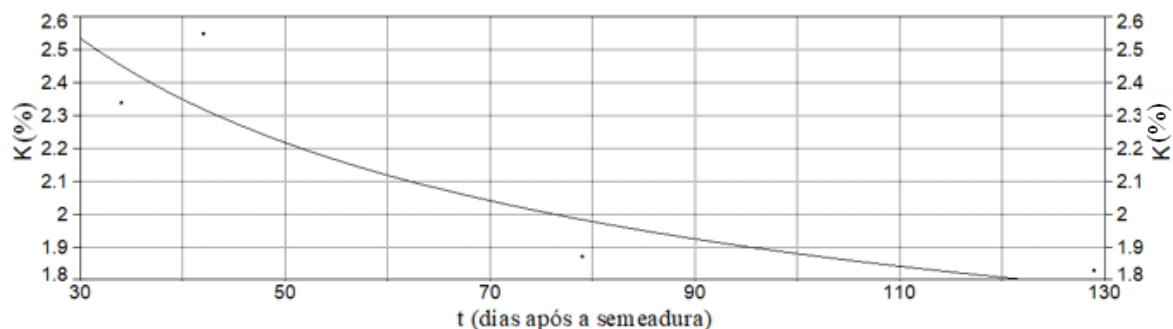
$r^2$ : 0,9767358878.

#### 4.6.1.3 Teor de potássio

Para caracterização da variação temporal do teor de potássio ( $\tau_{3,I}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{3,I} = \sqrt{1,544172247 + 43,18453684 \cdot \frac{\ln(t)}{t}} \quad (80)$$

em que  $a_{0,3,I}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,3,I}$  (%<sup>2</sup> d [ln(d)]<sup>-1</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 27.** Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 31.** Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,3,I}$	1,544172247	0,566272745	2,726905471	-0,89230273	3,980647219	0,11228
$a_{1,3,I}$	43,18453684	8,118216899	5,319460835	8,254668741	78,11440494	0,03357

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F	P>F
Regressão	0,2961951	1	0,2961951	7,34248	0,11348
Erro	0,080679903	2	0,040339952		
Total	0,376875	3			

r<sup>2</sup>: 0,7859239718.

O potássio desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da cultura de soja. Como o segundo macronutriente mais necessário para a planta, desempenha funções vitais que são essenciais para diversos processos fundamentais. Um desses papéis vitais é a regulação da abertura e fechamento dos estômatos, controlando assim a troca de gases e a transpiração da planta. Além disso, desempenha um papel crítico no transporte de carboidratos e em outras atividades metabólicas essenciais (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

O potássio também está envolvido na atuação como um ativador crucial para várias enzimas que estão envolvidas tanto na respiração quanto na fotossíntese, processos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

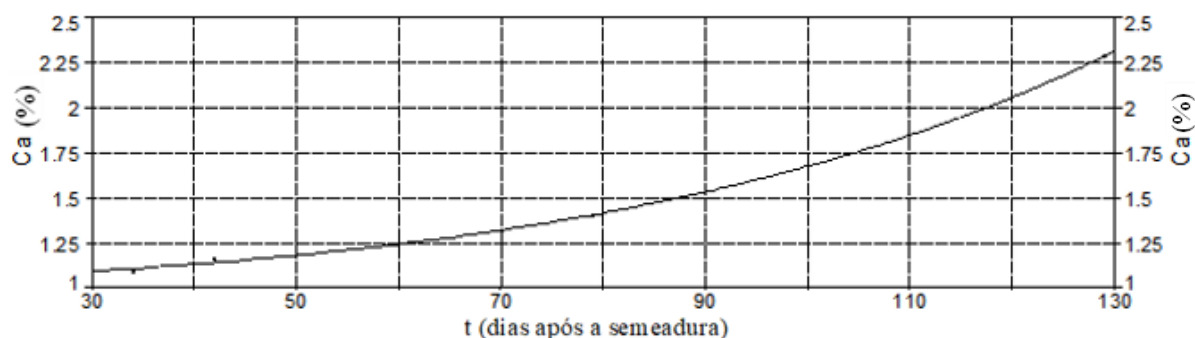
Ao observar a análise da curva de teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, percebe-se que os níveis de potássio diminuem ao longo do ciclo de crescimento da cultura.

#### 4.6.1.4 Teor de cálcio

Para caracterização da variação temporal do teor de cálcio ( $\tau_{4,I}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{4,I} = e^{0,050383082+0,0000467809.t^2} \quad (81)$$

em que  $a_{0,4,I}$  ( $\%^{-1}$ ) e  $a_{1,4,I}$  ( $\%^{-1} d^{-2}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 28.** Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 32. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,4,I}$	0,050383082	0,011395147	4,421450986	0,001353724	0,099412441	0,04754
$a_{1,4,I}$	$4,67809 \cdot 10^{-5}$	$9,08787 \cdot 10^{-7}$	51,47616113	$4,28707 \cdot 10^{-5}$	$5,06911 \cdot 10^{-5}$	0,00038
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,91454793	1	0,91454793	2515,69	0,00040	
Erro	0,0007270745	2	0,00036353725			
Total	0,915275	3				

$r^2$ : 0,9992056218.

O cálcio tem sua importância no crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando múltiplas funções bioquímicas essenciais. Este elemento tem um papel fundamental na composição da lamela média das paredes celulares, contribuindo para a estrutura e integridade das células. Além disso, atua como cofator para várias enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e fosfolipídeos. Uma de suas funções mais notáveis é a atuação como mensageiro secundário, participando da regulação metabólica fundamental das plantas (TAIZ, 2017).

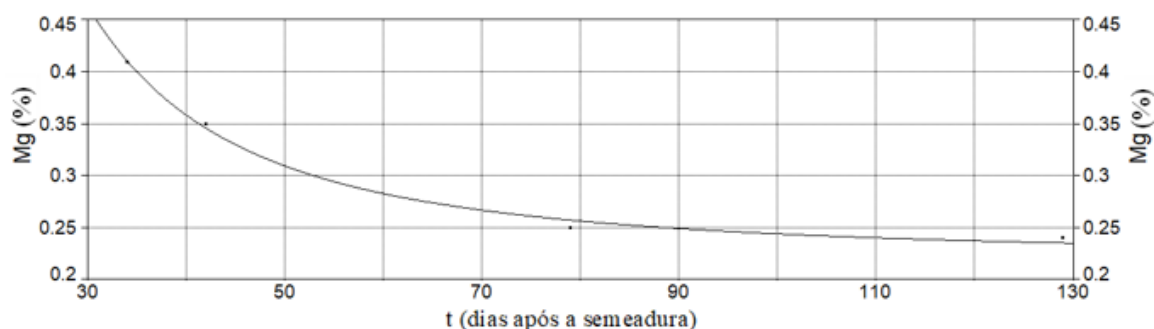
Ao analisar a curva que ilustra o teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em um cultivar precoce sob condições irrigadas, nota-se um aumento no teor ao longo do ciclo de crescimento. No entanto, há uma discreta elevação no final desse ciclo em comparação com as fases iniciais. Essa discrepância pode ser atribuída à possibilidade de que as análises foliares tenham sido realizadas em folhas que se encontravam em estádios mais avançados de senescência ou envelhecimento. Este aspecto é de particular importância, visto que o cálcio é imóvel no floema e sua distribuição na planta não ocorre de maneira uniforme. Consequentemente, teores mais baixos de cálcio ou deficiências nutricionais têm maior probabilidade de se manifestar em órgãos mais jovens (MALAVOLTA, 1976; DEVLIN, 1975).

#### 4.6.1.5 Teor de magnésio

Para caracterização da variação temporal do teor de magnésio ( $\tau_{5,}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{5,I} = 0,222015493 + \frac{219,0551999}{t^2} \quad (82)$$

em que  $a_{0,5,I}$  (%) e  $a_{1,5,I}$  (% d<sup>2</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 29.** Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 33.** Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,5,I}$	0,222015493	0,005466890	40,61093133	0,198493364	0,245537622	0,00061
$a_{1,5,I}$	219,0551999	10,42984404	21,00273015	174,1792030	263,9311969	0,00226
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,019984391	1	0,019984391	441,115	0,00226	
Erro	$9,0608599 \cdot 10^{-5}$	2	$4,53043 \cdot 10^{-5}$			
Total	0,020075	3				

$r^2$ : 0,9954864957.

O magnésio, classificado como um macronutriente, desempenha um papel de grande relevância para o desenvolvimento das plantas. Uma das funções primordiais do magnésio nas plantas é sua participação como constituinte da clorofila, o pigmento vital no processo fotossintético. Além disso, o magnésio também está envolvido em diversas rotas metabólicas



cruciais, incluindo a fosforilação, a ativação de múltiplas enzimas e a translocação dos fotoassimilados, desempenhando assim um papel fundamental no metabolismo vegetal (ALTARUGIO et al., 2017).

Ao considerar os teores de magnésio (%) presentes na matéria seca total da cultura de soja, em um cultivar precoce sob condições de irrigação, é notável que as porcentagens de magnésio na planta são relativamente menores em comparação com outros macronutrientes como nitrogênio, potássio e cálcio. A caracterização da curva de teor de magnésio revela teores mais elevados no início do ciclo da cultura.

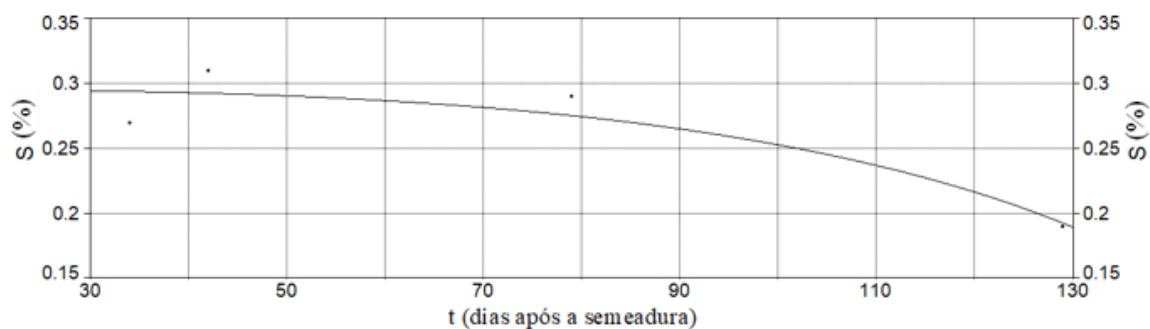
Isso pode ser indicativo de uma maior demanda inicial desse nutriente para as atividades metabólicas iniciais da planta, incluindo o desenvolvimento da clorofila e outras reações bioquímicas essenciais. É importante observar que a disponibilidade e distribuição do magnésio ao longo do ciclo da cultura podem ser influenciadas por vários fatores, incluindo características do solo, sistema de manejo e condições climáticas.

#### 4.6.1.6 Teor de enxofre

Para caracterização da variação temporal do teor de enxofre ( $\tau_{6,I}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{6,I} = \sqrt{0,087333987 - 2,3477 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (83)$$

em que  $a_{0,6,I}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,6,I}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 30.** Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 34. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,6,I}$	0,087333987	0,004302890	20,29658698	0,068820145	0,105847830	0,00242
$a_{1,6,I}$	$-2,3477.10^{-8}$	$3,00519.10^9$	-7,81216748	$-3,6407.10^{-8}$	$-1,0547.10^{-8}$	0,01599
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,0071995152	1	0,0071995152	13,0843	0,06865	
Erro	0,0011004848	2	0,00055024242			
Total	0,0083	3				

$r^2$ : 0,8674114640.

Ao considerar os teores de enxofre (%) presentes na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, verifica-se teores menores em comparação com macronutrientes como nitrogênio, potássio e cálcio. No entanto, a caracterização da curva revela um padrão específico. Inicialmente, há um teor 0,8% mais elevado detectado aos 34 dias após a semeadura em comparação com o teor ao final do ciclo, com 129 dias após a semeadura. Além disso, observa-se que aos 42 e 79 dias após a semeadura, os teores de enxofre na planta são ligeiramente superiores, apresentando um aumento de 0,4% e 0,2%, respectivamente, em relação à análise realizada no início do ciclo.

Essa dinâmica pode ser resultado de diversos fatores, incluindo as variações na disponibilidade do nutriente no solo e as necessidades da planta em diferentes fases de desenvolvimento. Visto que o enxofre está envolvido em diversos processos vitais, incluindo a formação de aminoácidos e proteínas, bem como a síntese de compostos essenciais para o crescimento saudável da planta.

#### 4.6.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

A Tabela 35 ilustra a composição (macronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).

**Tabela 35. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	N	P	K	Ca	Mg	S
34	24	5,21	0,28	2,50	1,24	0,44	0,24
42	32	4,38	0,28	2,28	1,12	0,30	0,35
79	69	6,44	0,25	1,83	1,50	0,28	0,26
129	119	2,60	0,22	2,08	2,42	0,20	0,22

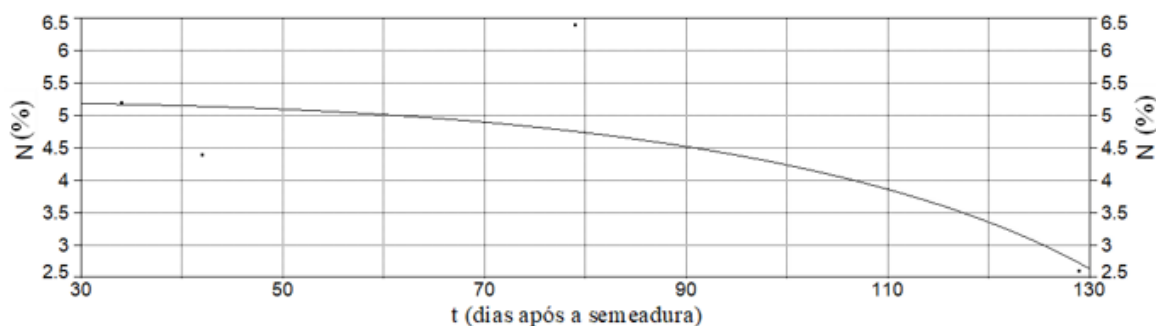
As Tabelas 36, 37, 38, 39, 40 e 41 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de nitrogênio (equação 84 e Figura 31), fósforo (equação 85 e Figura 32), potássio (equação 86 e Figura 33), cálcio (equação 87 e Figura 34), magnésio (equação 88 e Figura 35) e enxofre (equação 89 e Figura 36) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).

#### 4.6.2.1 Teor de nitrogênio

Para caracterização da variação temporal do teor de nitrogênio ( $\tau_{1,II}(t)$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{1,II}(t) = \sqrt{27,14859370 - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^3} \quad (84)$$

em que  $a_{0,1,II}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,1,II}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 31. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 36. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

<b>Pm</b>	<b>Valor</b>	<b>Ep</b>	<b>Valor t</b>	<b>IC (Inf)</b>	<b>IC (Sup)</b>	<b>P&gt; t </b>
$a_{0,1,II}$	27,14859370	4,088479332	6,640266831	9,557286939	44,73990046	0,02194
$a_{1,1,II}$	$-9,213.10^{-6}$	$2,51813.10^6$	-3,65865085	$-2,0048.10^5$	$1,62168.10^6$	0,06726
<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P&gt;F</b>	
<b>Regressão</b>	4,3545436	1	4,3545436	2,65889	0,24454	
<b>Erro</b>	3,2754564	2	1,6377282			
<b>Total</b>	7,63	3				

$r^2$ : 0.5707134425.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo realizado por várias fabáceas, incluindo a soja, para produzir a energia necessária para sua sobrevivência (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2023). A FBN envolve a capacidade de certos gêneros de bactérias em captar o nitrogênio ( $N_2$ ) presente no ar, que compõe cerca de 78% da atmosfera, e convertê-lo em uma forma de nitrogênio assimilável pelas plantas. Essa capacidade é essencial para o desenvolvimento da cultura, atuando como uma "fábrica biológica" que supre as necessidades de nitrogênio, dispensando a adubação química nitrogenada.

Ao analisar a caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja precoce em sistema de sequeiro, observa-se que o teor de nitrogênio presente na cultura é elevado ao longo do ciclo. No entanto, é importante destacar que, ao final do ciclo da cultura, quando a planta está entrando em senescência, as atividades fisiológicas para assimilação do nitrogênio diminuem.

Esse desempenho é esperado, uma vez que a fixação biológica de nitrogênio é um processo ativo durante todo o ciclo da cultura de soja, fornecendo um suprimento contínuo de nitrogênio assimilável. À medida que a planta amadurece e se aproxima do final de seu ciclo, ocorre naturalmente uma redução nas atividades metabólicas e fisiológicas, incluindo a assimilação do nitrogênio. Isso ocorre devido à alocação de energia e nutrientes para a formação

e enchimento dos grãos, resultando na diminuição do teor de nitrogênio na matéria seca total da cultura.

#### 4.6.2.2 Teor de fósforo

Para caracterização da variação temporal do teor de fósforo ( $\tau_{2II}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{2II} = \sqrt{0.075798163 - 1.3271 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (85)$$

em que  $a_{0,2,II}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,2,II}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

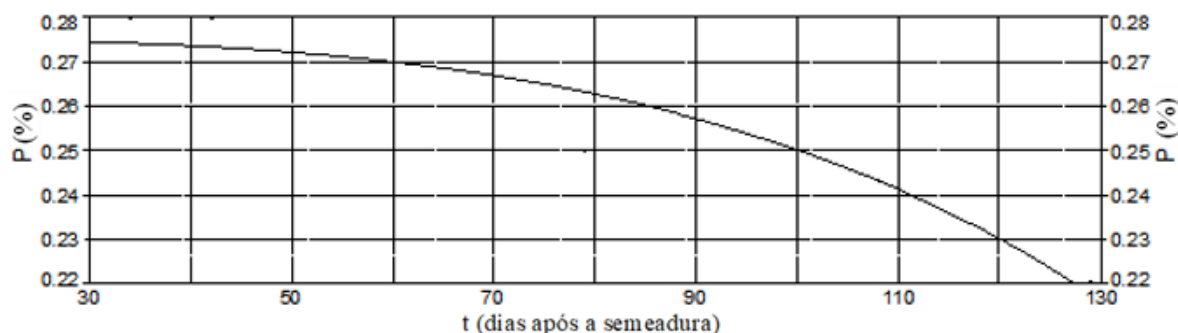


Figura 32. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 37. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,2,II}$	0,075798163	0,001955279	38,76590608	0,067385276	0,084211050	0,00066
$a_{1,2,II}$	$-1,3271 \cdot 10^{-8}$	$1,54799 \cdot 10^9$	-8,57284935	$-1,9931 \cdot 10^{-8}$	$-6,6102 \cdot 10^{-8}$	0,01334
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,0022218154	1	0,0022218154	17,5509	0,05253	
Erro	0,00025318464	2	0,00012659232			
Total	0,002475	3				

$r^2$ : 0,8977031761.

O fósforo desempenha um papel essencial na fotossíntese, uma vez que está envolvido na ativação de enzimas-chave no processo de conversão da energia luminosa em energia química. Além disso, desempenha um papel crítico na respiração das plantas, auxiliando na produção de ATP, que é a principal fonte de energia para as atividades metabólicas.

Durante o ciclo da cultura de soja, o teor de fósforo na matéria seca total da planta é alto em comparação aos demais nutrientes. Isso é importante para suportar os processos de crescimento e desenvolvimento da planta, como a formação e alongamento das raízes, o desenvolvimento de estruturas vegetativas e a síntese de substâncias vitais para a formação de grãos e sementes.

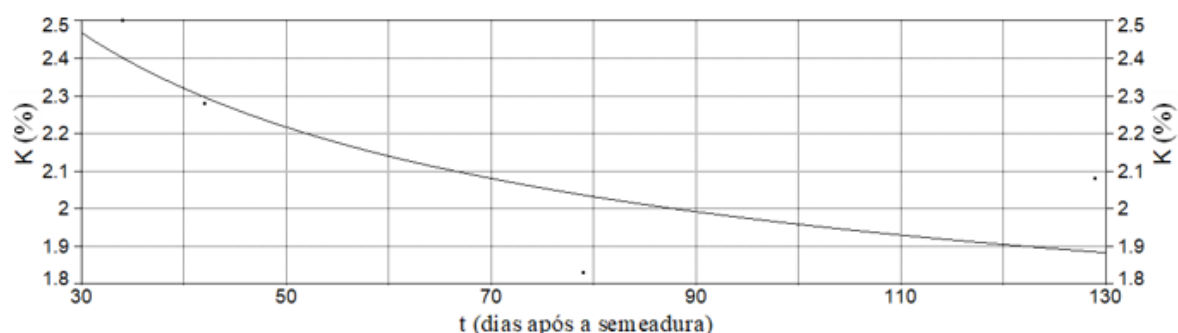
No entanto, ao final do ciclo da cultura, quando a planta de soja está entrando em senescência, ocorre uma diminuição nas atividades fisiológicas, incluindo a absorção e utilização de nutrientes. Consequentemente, o teor de fósforo na cultura de soja também diminui nessa fase.

#### 4.6.2.3 Teor de potássio

Para caracterização da variação temporal do teor de potássio ( $\tau_{3,II}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{3,II} = \sqrt{2,288078329 + 33,62325525 \cdot \frac{\ln(t)}{t}} \quad (86)$$

em que  $a_{0,3,II}$  ( $\%^2$ ) e  $a_{1,3,II}$  ( $\%^2 \text{ d} [\ln\{d\}]^{-1}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 33.** Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 38.** Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,3,II}$	2,288078329	0,646919064	3,536884993	-0,49538975	5,071546405	0,07147
$a_{1,3,II}$	33,62325525	9,071433927	3,706498391	-5,40797470	72,65448520	0,06570

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	$P > F$	
Regressão	0,15443291	1	0,15443291	3,42264	0,20553	
Erro	0,090242088	2	0,045121044			
Total	0,244675	3				

$r^2$ : 0,6311756903.

A análise da curva relacionada ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, demonstra uma diminuição ao longo do ciclo de crescimento. Essa observação pode ser justificada pelo amplo espectro de funções vitais desempenhadas pelo potássio nas plantas. Ele desempenha um papel crucial como cofator em várias enzimas, contribui significativamente para a manutenção do turgor celular e desempenha um papel essencial na preservação da eletroneutralidade celular (TAIZ, 2017).

Entretanto, é relevante enfatizar que as variações nos teores de potássio podem ser influenciadas por uma variedade de fatores, incluindo as características específicas do solo, o tipo de cultivar, o ambiente de cultivo e as condições climáticas. O potássio é um nutriente de extrema importância para o desenvolvimento da cultura de soja, e a planta apresenta respostas notáveis a incrementos desse nutriente. Estudos que abordam o nível crítico de potássio em

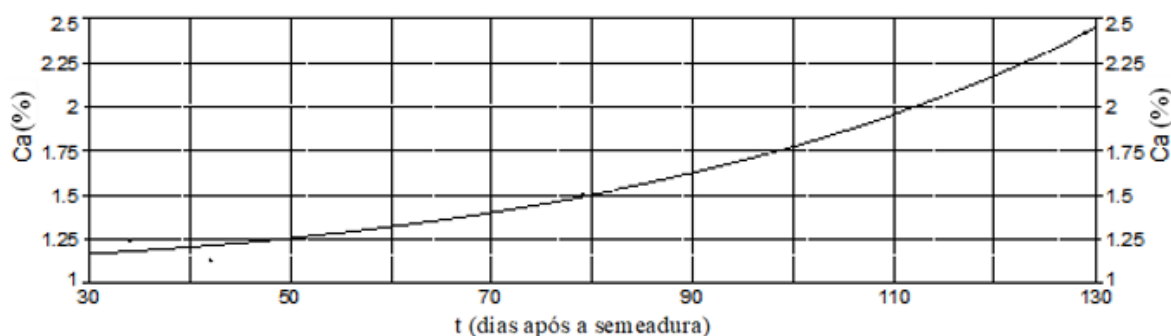
folhas de variedades de soja de crescimento indeterminado destacam que a maior demanda por potássio em variedades recentes deriva de dois principais fatores: o maior potencial de produção e a precocidade do ciclo (JORDÃO et al., 2015).

#### 4.6.2.4 Teor de cálcio

Para caracterização da variação temporal do teor de cálcio ( $\tau_{4II}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{4II} = e^{0,107667342 + 0,0000466496.t^2} \quad (87)$$

em que  $a_{0,4,II}$  ( $\%^{-1}$ ) e  $a_{1,4,II}$  ( $\%^{-1} d^{-2}$ ) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 34.** Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.



**Tabela 39. Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,4,II}$	0,107667342	0,044251503	2,433077611	-0,08273151	0,298066194	0,13544
$a_{1,4,II}$	$4,66496 \cdot 10^{-5}$	$3,52721 \cdot 10^{-6}$	13,22564543	$3,14732 \cdot 10^{-5}$	$6,18259 \cdot 10^{-5}$	0,00567
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	1,0265691	1	1,0265691	167,865	0,00590	
Erro	0,012230876	2	0,0061154379			
Total	1,0388	3				

$r^2$ : 0,9882259570.

A curva que caracteriza o teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, revela uma tendência consistente durante todo o ciclo, sendo acompanhada por um aumento no teor de cálcio ao final do ciclo.

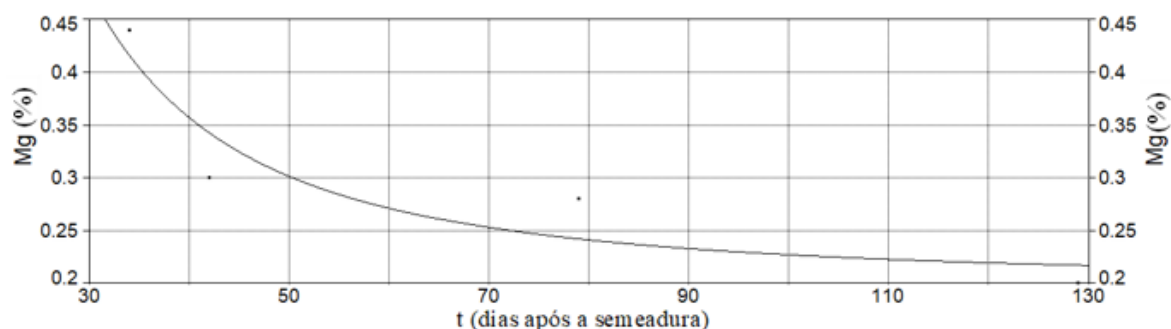
O cálcio, enquadrado como um macronutriente, desempenha um papel de extrema importância no crescimento e desenvolvimento da cultura de soja, ocupando um lugar crucial em suas atividades metabólicas. Assegurar uma disponibilidade apropriada desse nutriente para a planta é de notável relevância. Entre as fontes mais fundamentais e amplamente empregadas de cálcio encontra-se o uso de calcário, que auxilia em fornecer o nutriente necessário para a cultura de soja, porém é um macronutriente imóvel sendo encontrado em maiores quantidades nas folhas ao final do ciclo.

#### 4.6.2.5 Teor de magnésio

Para caracterização da variação temporal do teor de magnésio ( $\tau_{5,II}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{5,II} = 0,202214708 + \frac{248,8343405}{t^2} \quad (88)$$

em que  $a_{0,5,II}$  (%) e  $a_{1,5,II}$  (% d<sup>2</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 35.** Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 40.** Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,5,II}$	0,202214708	0,036831863	5,490211281	0,043739994	0,360689423	0,03161
$a_{1,5,II}$	248,8343405	70,26857799	3,541189357	-53,5069484	551,1756294	0,07132

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F	$P>F$
Regressão	0,025787214	1	0,025787214	12,54	0,07132
Erro	0,0041127861	2	0,002056393		
Total	0,0299	3			

$r^2$ : 0,8624486268.

A análise da curva que representa os teores de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, revela uma quantidade maior ao início do ciclo da planta, cerca de 34 dias após a semeadura.

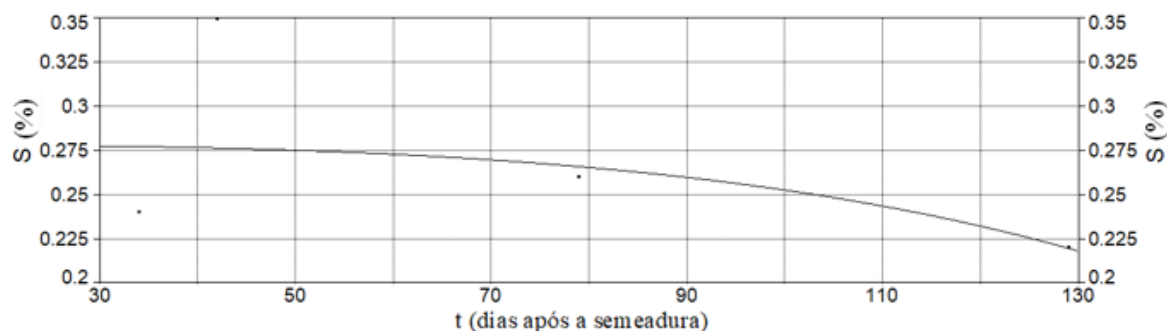
O teor mais elevado de magnésio no início do ciclo da cultura de soja pode indicar uma necessidade inicial mais aguda desse nutriente para alimentar processos metabólicos essenciais, que são vitais para o crescimento das plantas. Vale ressaltar que o magnésio desempenha um papel crucial em atividades que envolvem a transferência de energia química, a estabilidade estrutural de moléculas e a ativação de enzimas, todos fundamentais para o sucesso da planta em seu desenvolvimento.

#### 4.6.2.6 Teor de enxofre

Para caracterização da variação temporal do teor de enxofre ( $\tau_{6II}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{6II} = \sqrt{0,077391751 - 1,3587 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (89)$$

em que  $a_{0,6,II}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,6,II}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 36.** Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 41.** Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,6,II}$	0,077391751	0,010236815	7,560139324	0,033346289	0,121437212	0,01705
$a_{1,6,II}$	-1,3587.10 <sup>8</sup>	8,03895.10 <sup>9</sup>	-1,69018767	-4,8176.10 <sup>8</sup>	2,10015.10 <sup>8</sup>	0,23306
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,0030338941	1	0,0030338941	0,88696	0,44572	
Erro	0,0068411059	2	0,0034205529			
Total	0,009875	3				

$r^2$ : 0,3072297857.

A função do enxofre nas plantas tem semelhança com a função do nitrogênio, porém, o enxofre está presente em quantidades menores nas estruturas vegetais, variando geralmente de 3% a 5% do total. Esse elemento está envolvido em uma série de processos bioquímicos, incluindo reações de oxidação-redução, além de atuar como componente essencial de

aminoácidos e coenzimas vitais para o funcionamento da planta (REZENDE et al., 2009). As assimilações de N e S são bem coordenadas, ou seja, a deficiência de um elemento reprime a via assimilatória do outro (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Assim sendo, ao observar a caracterização da curva que traça os teores de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, nota-se uma constância e equilíbrio ao longo de todo o ciclo da planta. A variação máxima no teor de enxofre é de apenas 0,12% entre os dias após a semeadura de 42 e 129. Esse padrão demonstra a habilidade da planta de manter uma proporção relativamente estável de enxofre, essencial para suas atividades metabólicas cruciais, ao longo das diversas fases do ciclo de crescimento.

#### 4.6.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

A Tabela 42 ilustra a composição (macronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III).

**Tabela 42. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	N	P	K	Ca	Mg	S
34	24	4,89	0,32	2,65	1,21	0,43	0,29
42	32	5,67	0,28	2,79	1,08	0,35	0,29
80	70	6,31	0,27	2,4	1,23	0,35	0,23
140	130	2,49	0,22	2,46	2,38	0,25	0,21

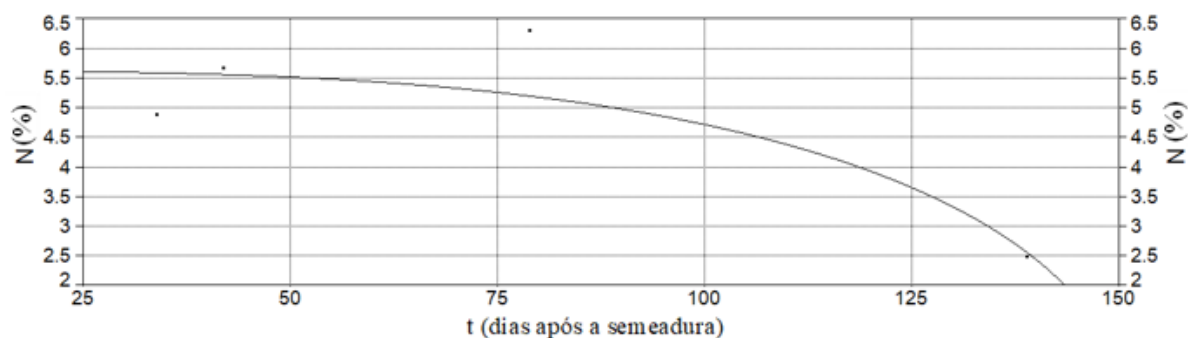
As Tabelas 43, 44, 45, 46, 47 e 48 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de nitrogênio (equação 90 e Figura 37), fósforo (equação 91 e Figura 38), potássio (equação 92 e Figura 39), cálcio (equação 93 e Figura 40), magnésio (equação 94 e Figura 41) e enxofre (equação 95 e Figura 42) da matéria seca total referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III).

#### 4.6.3.1 Teor de nitrogênio

Para caracterização da variação temporal do teor de nitrogênio ( $\tau_{1,III}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{1,III} = \sqrt{31,58383448 - 9,323 \cdot 10^{-6} \cdot t^3} \quad (90)$$

em que  $a_{0,1,III}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,1,III}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 37.** Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 43.** Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,1,III}$	31,58383448	3,175886480	9,944887726	17,91909784	45,24857111	0,00996
$a_{1,1,III}$	$-9,323 \cdot 10^{-6}$	$1,49542 \cdot 10^6$	-6,23435068	$-1,5757 \cdot 10^5$	$-2,8887 \cdot 10^6$	0,02478
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	6,6280441	1	6,6280441	7,58898	0,11038	
Erro	1,7467559	2	0,87337796			
Total	8,3748	3				

$r^2$ : 0,7914271487.

O nitrogênio é o nutriente mais abundante para a cultura de soja e pode ser obtido através da capacidade de certas bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (rizóbios). Essas bactérias têm a

capacidade de capturar o nitrogênio molecular ( $N_2$ ) presente na atmosfera e convertê-lo em uma forma assimilável pelas plantas.

Devido à alta demanda de nitrogênio no início do crescimento vegetativo e durante o enchimento de grãos, os teores desse nutriente na massa seca da cultura são mais elevados. Isso se reflete na caracterização da curva de teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivares tardios cultivados em sistema de irrigação.

Ao longo do ciclo da cultura de soja, observa-se um padrão característico nessa curva, com os teores de nitrogênio atingindo valores mais altos no início do crescimento vegetativo, quando a planta está em rápida expansão e desenvolvimento das estruturas vegetativas. Essa fase inicial requer uma quantidade significativa de nitrogênio para suportar o crescimento da planta.

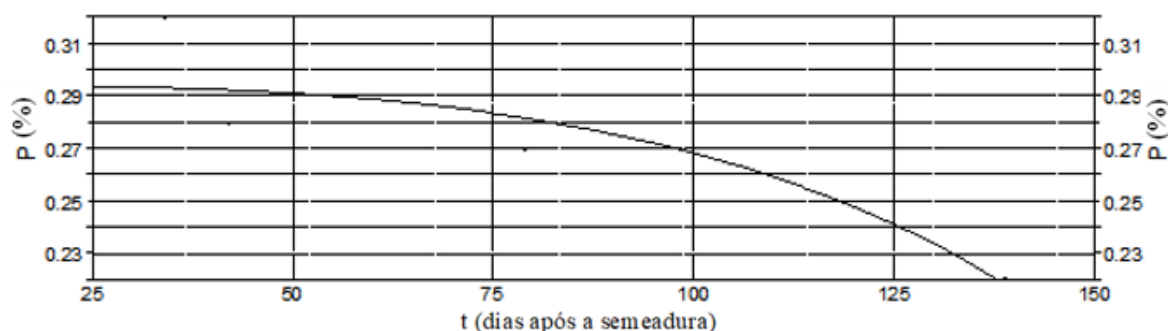
Além disso, durante o enchimento de grãos, período em que a planta aloca nutrientes para a formação e desenvolvimento dos grãos de soja, também há uma demanda considerável por nitrogênio. Nesse estágio, os teores de nitrogênio na matéria seca total da cultura permanecem elevados, já que a planta necessita desse nutriente para a síntese de proteínas e o preenchimento adequado dos grãos. Isto reflete a alta demanda por nitrogênio nesses estágios-chave do ciclo de desenvolvimento de soja e a capacidade das bactérias (rizóbios) em fornecer esse nutriente de forma assimilável pela planta.

#### 4.6.3.2 Teor de fósforo

Para caracterização da variação temporal do teor de fósforo ( $\tau_{2,III}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{2,III} = \sqrt{0,086466292 - 1,4468 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (91)$$

em que  $a_{0,2,III}$  ( $\%^2$ ) e  $a_{1,2,III}$  ( $\%^2 \text{ d}^{-3}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 38.** Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 44.** Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,2,III}$	0,086466292	0,004083402	21,17506443	0,068896833	0,104035751	0,00222
$a_{1,2,III}$	$-1,4468 \cdot 10^{-8}$	$2,49475 \cdot 10^9$	-5,79935019	$-2,5202 \cdot 10^{-8}$	$-3,7339 \cdot 10^{-9}$	0,02847
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,0040618424	1	0,0040618424	8,01818	0,10537	
Erro	0,0010131576	2	0,00050657879			
Total	0,005075	3				

$r^2$ : 0,8003630373.

O fósforo é considerado o nutriente mais limitante em solos tropicais devido à seu baixo teor nos solos brasileiros. Essa limitação afeta diretamente a produtividade, uma vez que o fósforo desempenha um papel crucial na fotossíntese e no crescimento das plantas (RISSI, 2020). Essa característica influencia a curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja de cultivar tardio em sistema de irrigação.

Nos solos, o fósforo se encontra em uma forma pouco disponível, sendo considerado como um nutriente lábil. No entanto, quando disponível no solo, é prontamente absorvido pelas raízes das plantas e rapidamente incorporado aos processos metabólicos.

A baixa disponibilidade natural de fósforo nos solos tropicais é um fator limitante para a produtividade da cultura de soja. Portanto, é fundamental garantir uma adequada adubação fosfatada para suprir as necessidades dessa cultura.

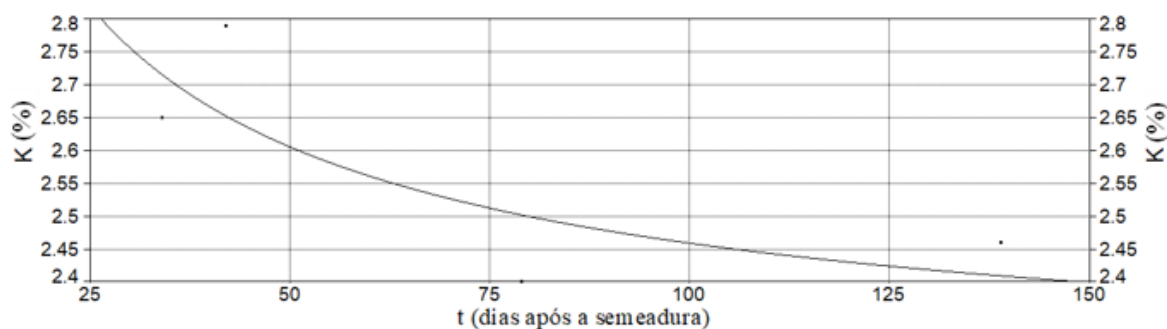
A adição de fertilizantes fosfatados ao solo é uma prática comum para aumentar a disponibilidade desse nutriente e atender às demandas da cultura. Dessa forma, a caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja em cultivar tardio em sistema de irrigação reflete a importância desse nutriente como um fator limitante e a necessidade de manejo adequado para garantir a disponibilidade suficiente de fósforo ao longo do ciclo da cultura.

#### 4.6.3.3 Teor de potássio

Para caracterização da variação temporal do teor de potássio ( $\tau_{3III}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{3III} = \sqrt{4,986875754 + 23,02330232 \cdot \frac{\ln(t)}{t}} \quad (92)$$

em que  $a_{0,3,III}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,3,III}$  (%<sup>2</sup> d [ln{d}]<sup>-1</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 39.** Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.



**Tabela 45. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,3,III}$	4,986875754	0,470742527	10,59363764	2,961434134	7,012317373	0,00879
$a_{1,3,III}$	23,02330232	6,409833184	3,591872309	-4,55598393	50,60258857	0,06952
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,059487099	1	0,059487099	3,28541	0,21158	
Erro	0,036212901	2	0,01810645			
Total	0,0957	3				

$r^2$ : 0,6215997827.

A manutenção dos níveis adequados de potássio é de extrema importância para os produtores de soja, uma vez que a deficiência desse nutriente pode acarretar uma série de impactos negativos na cultura. Essas consequências incluem desde a redução na eficiência da fixação biológica do nitrogênio, até a diminuição no número de vagens por planta e a diminuição tanto na quantidade quanto no tamanho dos grãos, além da redução na quantidade de óleo presente nas sementes (MORAIS; LANDGRAF, 2015).

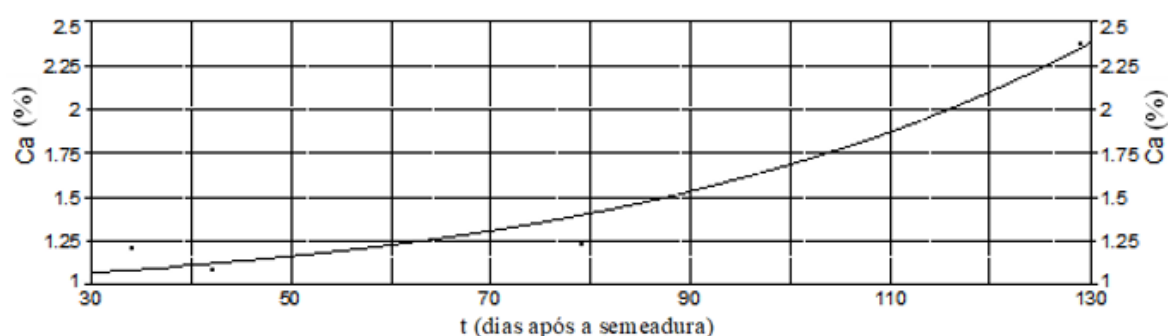
Dessa forma, ao analisar a curva que representa os teores de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de irrigação, é possível observar uma diminuição na manutenção desses teores ao longo de todo o ciclo de cultivo. Importante ressaltar que esses valores se mantêm consistentemente sem atingir níveis muito baixos. A estabilidade dos teores de potássio evidencia que a cultura de soja está sendo adequadamente suprida com esse nutriente vital, o que é um fator importante para um bom desenvolvimento e a obtenção de um bom rendimento.

#### 4.6.3.4 Teor de cálcio

Para caracterização da variação temporal do teor de cálcio ( $\tau_{4,III}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{4,III} = e^{0,020302571 + 0,0000502034.t^2} \quad (93)$$

em que  $a_{0,4,III}$  ( $\%^{-1}$ ) e  $a_{1,4,III}$  ( $\%^{-1} d^{-2}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 40.** Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 46.** Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,4,III}$	0,020302571	0,091682448	0,221444467	-0,37417516	0,414780304	0,84530
$a_{1,4,III}$	$5,02034 \cdot 10^{-5}$	$7,10499 \cdot 10^{-6}$	7,065940596	$1,96331 \cdot 10^{-5}$	$8,07738 \cdot 10^{-5}$	0,01945

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	1,0592748	1	1,0592748	46,0302	0,02104	
Erro	0,04602518	2	0,02301259			
Total	1,1053	3				

$r^2$ : 0,9583595581.

O cálcio se configura como um nutriente tanto para as plantas quanto para o solo, cumprindo uma gama diversificada de atividades bioquímicas de alta importância. Esse elemento assume um papel estrutural fundamental nas plantas e desempenha uma função importante no solo para manter o equilíbrio nutricional (SANTOS, 2021).

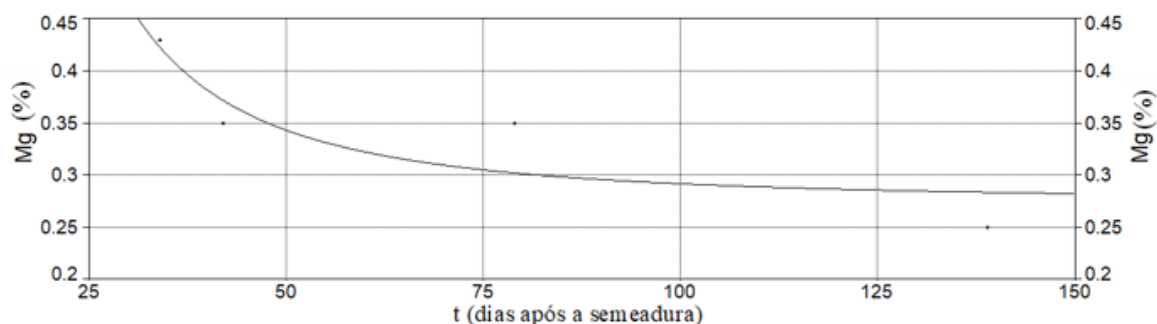
Ao avaliar a caracterização da curva que representa os teores de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de irrigação, percebe-se que os níveis de cálcio (%) aumentam durante o período de desenvolvimento da cultura. Essa característica reflete a contínua disponibilidade desse nutriente ao longo do ciclo da planta, corroborando a importância do cálcio para o desenvolvimento da cultura.

#### 4.6.3.5 Teor de magnésio

Para caracterização da variação temporal do teor de magnésio ( $\tau_{5,III}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{5,III} = 0,274705719 + \frac{171,0392633}{t^2} \quad (94)$$

em que  $a_{0,5,III}$  (%) e  $a_{1,5,III}$  (% d<sup>2</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 41.** Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 47.** Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,5,III}$	0,274705719	0,035792897	7,674866785	0,120701311	0,428710126	0,01656
$a_{1,5,III}$	171,0392633	68,31540250	2,503670579	-122,898190	464,9767164	0,12930
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,012357262	1	0,012357262	6,26837	0,12930	
Erro	0,0039427377	2	0,0019713689			
Total	0,0163	3				

$r^2$ : 0,7581142500.

As plantas absorvem o magnésio na forma de  $Mg^{2+}$ , o qual é então transportado através do xilema para diferentes partes da planta. Ao contrário do cálcio, o magnésio é um nutriente

móvel na planta, sendo prontamente transportado através do floema das folhas mais antigas para as mais jovens, permitindo uma redistribuição eficiente (DALL'AGNOL; NOGUEIRA, 2021).

Dessa forma, ao caracterizar a curva que retrata os teores de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema sob irrigação, é perceptível que há um teor mais alto detectada na análise realizada no início do ciclo quando comparada à análise realizada no final do ciclo da cultura.

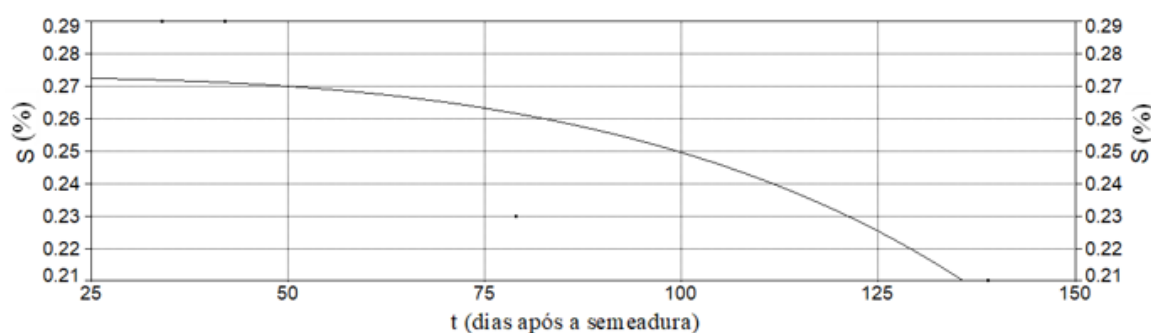
Essa característica pode ser explicado pela mobilidade do magnésio dentro da planta, permitindo que seja realocado das folhas mais velhas, onde o teor inicial foi detectado, para as folhas em crescimento ao longo do ciclo. Isso destaca a importância da pronta disponibilidade de magnésio para as fases iniciais do desenvolvimento, as quais exigem quantidades mais significativas desse nutriente para as atividades metabólicas e de energia.

#### 4.6.3.6 Teor de enxofre

Para caracterização da variação temporal do teor de enxofre ( $\tau_{6III}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{6III} = \sqrt{0,074452748 - 1,2104 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (95)$$

em que  $a_{0,6,III}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,6,III}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 42. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 48. Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,6,III}$	0,074452748	0,004947212	15,04943617	0,053166614	0,095738882	0,00439
$a_{1,6,III}$	-1,2104.10 <sup>8</sup>	3,08367.10 <sup>9</sup>	-3,92530868	-2,5372.10 <sup>8</sup>	1,16361.10 <sup>9</sup>	0,05920
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,0033909191	1	0,0033909191	3,96812	0,18459	
Erro	0,0017090809	2	0,00085454043			
Total	0,0051	3				

$r^2$ : 0,6648861046.

O teor de enxofre (%) presente na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio sob condição irrigada, embora constituindo uma fração relativamente pequena da composição da planta, a quantidade de enxofre necessária para produzir cada 1000 kg de produtividade é comparável à quantidade de fósforo exigida. Entretanto, é notável que nem sempre ambos os nutrientes recebem a mesma ênfase em termos de importância no manejo nutricional das plantas (SFREDO; LANTMANN, 2007).

A cultura de soja se destaca em relação a outros grãos agrícolas quando se trata da demanda por enxofre para completar com sucesso seu ciclo produtivo. Embora o teor de enxofre na planta seja baixo, sua função é importante para uma variedade de processos metabólicos essenciais, incluindo a formação de aminoácidos, proteínas e coenzimas. A identificação dessa exigência nutricional singular na soja destaca a necessidade de garantir um suprimento adequado de enxofre para otimizar a produtividade e a qualidade dos grãos.

#### 4.6.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

A Tabela 49 ilustra a composição (macronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV).

**Tabela 49. Composição da matéria seca total: teor de macronutrientes. Teor de nitrogênio (N, %), fósforo (P, %), potássio (K, %), cálcio (Ca, %), magnésio (Mg, %) e enxofre (S, %) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	N	P	K	Ca	Mg	S
34	24	5,48	0,36	2,94	1,04	0,42	0,27
42	32	5,03	0,27	3,13	1,12	0,35	0,31
80	70	5,55	0,28	2,44	1,29	0,31	0,23
140	130	2,42	0,21	2,35	3,03	0,37	0,17

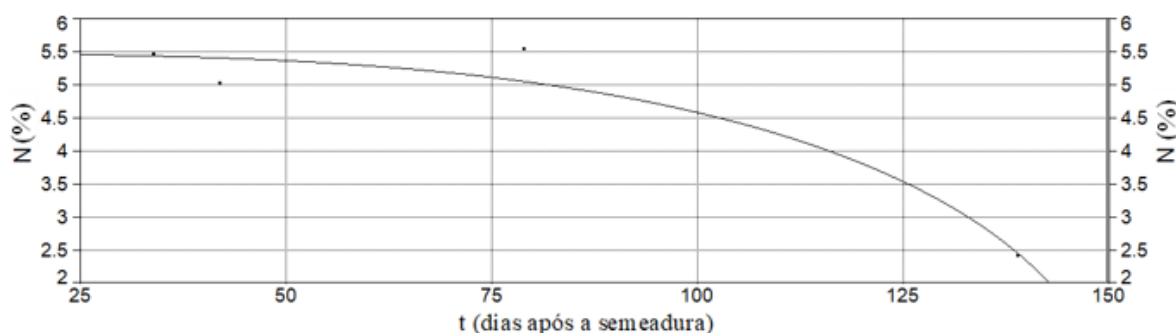
As Tabelas 50, 51, 52, 53, 54 e 55 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de nitrogênio (equação 96 e Figura 43), fósforo (equação 97 e Figura 44), potássio (equação 98 e Figura 45), cálcio (equação 99 e Figura 46), magnésio (equação 100 e Figura 47) e enxofre (equação 101 e Figura 48) da matéria seca total referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV).

#### 4.6.4.1 Teor de nitrogênio

Para caracterização da variação temporal do teor de nitrogênio ( $\tau_{1,IV}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{1,IV} = \sqrt{29,94873613 - 8,9117 \cdot 10^6 \cdot t^3} \quad (96)$$

em que  $a_{0,1,IV}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,1,IV}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 43. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 50. Caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,1,IV}$	29,94873613	1,469180528	20,38465360	23,62736252	36,27010974	0,00240
$a_{1,1,IV}$	$-8,9117 \cdot 10^6$	$6,93266 \cdot 10^7$	-12,8546502	$-1,1895 \cdot 10^5$	$-5,9288 \cdot 10^6$	0,00600
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	6,2192975	1	6,2192975	31,626	0,03019	
Erro	0,3933025	2	0,19665125			
Total	6,6126	3				

$r^2$ : 0,9405222607.

Ao analisar a curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja em cultivar tardio em sistema de sequeiro, observa-se um padrão característico. No início do ciclo da cultura, há um alto teor de nitrogênio, seguido por uma queda gradual no teor de N ao longo do tempo. Essa variação pode ser atribuída ao processo de alta demanda de nitrogênio no início do crescimento vegetativo e no enchimento de grãos da cultura de soja.

Os grãos de soja, por exemplo, apresentam um teor médio de 6,5% de nitrogênio, ou seja, para produzir 1.000 kg de grãos de soja, são necessários aproximadamente 65 kg de nitrogênio. Além disso, é necessário adicionar cerca de 15 kg de nitrogênio para atender às necessidades das folhas, caule e raízes, totalizando uma necessidade total de aproximadamente 80 kg de nitrogênio (CRISPINO et al., 2001). Isso evidencia o alto teor de nitrogênio no início do ciclo da cultura.

Ao longo do ciclo da cultura de soja tardio em sistema de sequeiro, o teor de nitrogênio na matéria seca total da planta diminui gradualmente. Esse declínio pode ser atribuído a um trabalho desenvolvido por Tanner e Anderson (1964), no qual observou-se que os rizóbios, responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio, tornam-se inativos a partir do estágio de desenvolvimento R5 da planta de soja. Com a diminuição da atividade de fixação de nitrogênio, ocorre uma redução na assimilação desse nutriente pela planta.

Essa queda no teor de nitrogênio ao final do ciclo da cultura de soja pode ser explicada pela alocação de nutrientes para o preenchimento dos grãos e a conclusão do ciclo reprodutivo da planta. Nesse estágio, as atividades fisiológicas e metabólicas estão voltadas para a

maturação e a formação dos grãos de soja, resultando em uma redução gradual das necessidades de nitrogênio.

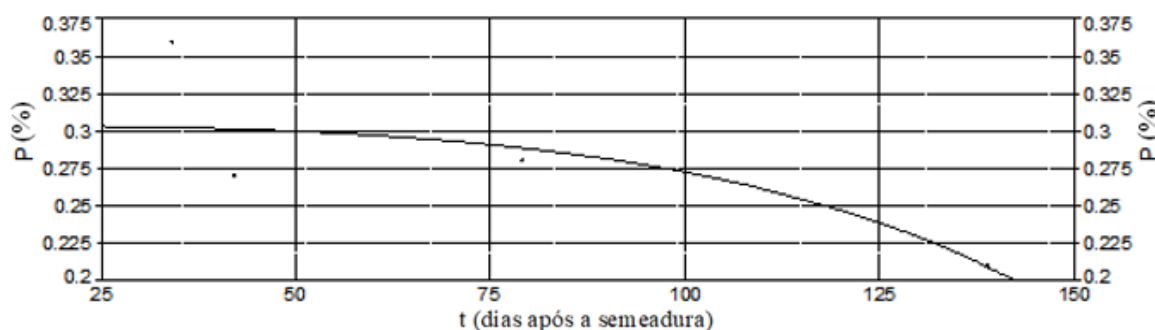
Assim, pode-se concluir que a caracterização da curva referente ao teor de nitrogênio (%) na matéria seca total da cultura de soja em cultivar tardio em sistema de sequeiro mostra um alto teor no início do ciclo, seguido de uma queda gradual ao longo do tempo. Dinâmica associada à alta demanda de nitrogênio no início do crescimento vegetativo e no enchimento de grãos, bem como à diminuição das atividades de assimilação de nitrogênio causada pela inatividade dos rizóbios em estádios avançados do desenvolvimento da planta.

#### 4.6.4.2 Teor de fósforo

Para caracterização da variação temporal do teor de fósforo ( $\tau_{2IV}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{2IV} = \sqrt{0,092188784 - 1.8133 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (97)$$

em que  $a_{0,2,IV}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,2,IV}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 44. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**



**Tabela 51. Caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,2,IV}$	0,092188784	0,008725908	10,56495064	0,054644233	0,129733334	0,00884
$a_{1,2,IV}$	$-1,8133 \cdot 10^{-8}$	$5,09581 \cdot 10^{-9}$	-3,55846551	$-4,0059 \cdot 10^{-8}$	$3,79224 \cdot 10^{-9}$	0,07070
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,0070268485	1	0,0070268485	3,21363	0,21489	
Erro	0,0043731515	2	0,0021865758			
Total	0,0114	3				

$r^2$ : 0,6163902164.

Ao analisar a curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja em cultivar tardio em sistema de sequeiro, observa-se um padrão característico. Inicialmente, há um teor mais elevado de fósforo no início do ciclo da cultura, seguido por uma queda no teor de P ao final do ciclo.

Os teores mais altos de fósforo presentes na planta de soja durante os primeiros 75 dias após a semeadura estão relacionados à demanda do nutriente para o crescimento vegetativo e o enchimento dos grãos. O fósforo desempenha um papel fundamental na formação do ATP (Trifosfato de adenosina), que é a principal fonte de energia utilizada no aparato fotossintético das plantas. Além disso, o fósforo está envolvido na divisão celular e no desenvolvimento geral da cultura de soja (RISSI, 2020).

Conforme a cultura de soja avança para as fases posteriores do ciclo, ocorre uma diminuição no teor de fósforo na matéria seca total. Isso pode ser atribuído ao fato de que, à medida que a planta se aproxima do final do seu ciclo de crescimento, as atividades fisiológicas diminuem, incluindo a absorção e utilização de nutrientes como o fósforo. Essa queda no teor de P reflete o processo natural de senescência da planta, em que as atividades metabólicas diminuem em preparação para o fim do ciclo de vida da cultura.

Portanto, a caracterização da curva referente ao teor de fósforo (%) na matéria seca total da cultura de soja em cultivar tardio em sistema de sequeiro mostra um teor mais alto de fósforo no início do ciclo, devido à demanda para o crescimento vegetativo e enchimento dos grãos. Em seguida, ocorre uma diminuição gradual no teor de P ao final do ciclo, à medida que a planta

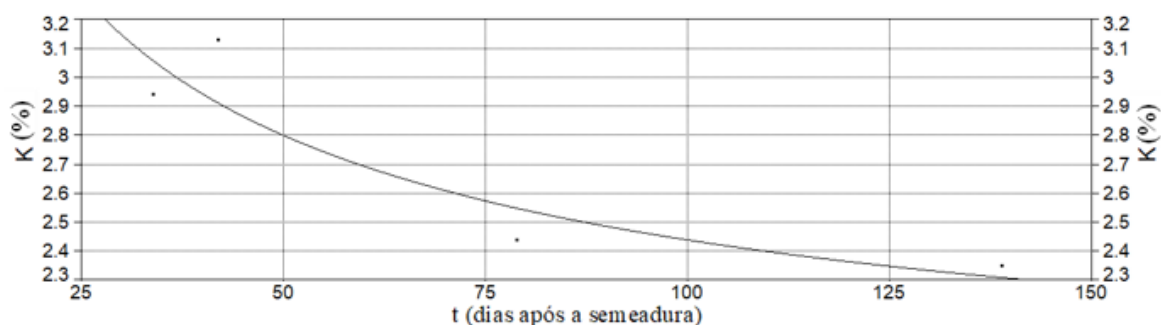
se aproxima da senescência. O fósforo desempenha um papel essencial na produção de energia, divisão celular e no desenvolvimento geral da cultura de soja.

#### 4.6.4.3 Teor de potássio

Para caracterização da variação temporal do teor de potássio ( $\tau_{3IV}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{3IV} = \sqrt{3,245032902 + 58,71236815 \cdot \frac{\ln(t)}{t}} \quad (98)$$

em que  $a_{0,3,IV}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,3,IV}$  (%<sup>2</sup> d [ln{d}]<sup>-1</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 45.** Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 52. Caracterização da curva referente ao teor de potássio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,3,IV}$	3,245032902	0,674923966	4,807997740	0,341069459	6,148996345	0,04064
$a_{1,3,IV}$	58,71236815	9,611428914	6,108599323	17,35772730	100,0670090	0,02577
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,35677473	1	0,35677473	9,52348	0,09091	
Erro	0,074925268	2	0,037462634			
Total	0,4317	3				

$r^2$ : 0,8264413539.

Considerando a importância do potássio para a produtividade e sucesso da cultura de soja, a análise da curva que representa os teores de potássio (%) na matéria seca total da cultura, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, nota-se uma diminuição ao longo de todo o ciclo vegetativo. Esse nutriente possui uma relação direta com fatores cruciais como o rendimento dos grãos, a produção de matéria seca e a altura das plantas.

Estudos realizados sobre a resposta das lavouras de soja à adubação potássica têm comprovado a influência positiva desse nutriente na produtividade. Incrementos significativos foram observados, aumentos de até 31% na produtividade dos grãos, incrementos de até 26% na produção de matéria seca e um acréscimo na altura das plantas, alcançando até 92 cm (ANTIGO, et al., 2020).

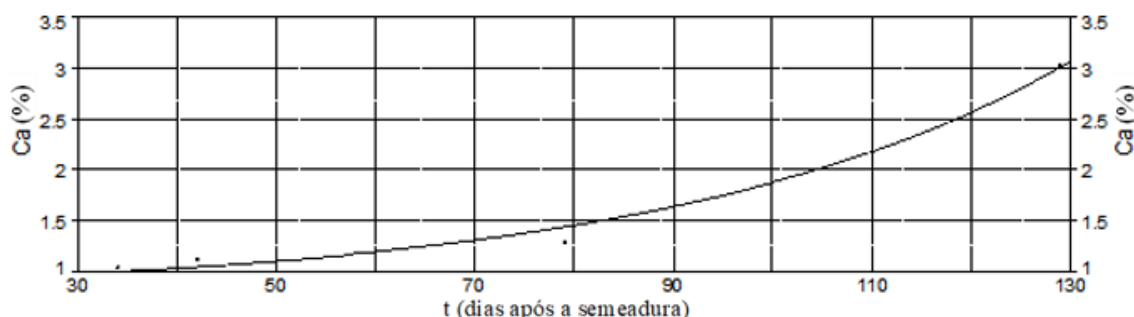
Em vista disso, é de suma importância conduzir um manejo adequado da adubação de base, levando em consideração a quantidade de fertilizantes necessária, de acordo com as projeções de produtividade e os resultados obtidos na análise química do solo. A garantia de um fornecimento apropriado de potássio para a cultura de soja desempenha um papel em maximizar o potencial produtivo, assegurar o crescimento robusto das plantas e atingir bons rendimentos de grãos.

#### 4.6.4.4 Teor de cálcio

Para caracterização da variação temporal do teor de cálcio ( $\tau_{4IV}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{4,IV} = e^{-0,07984958 + 0,000071047.t^2} \quad (99)$$

em que  $a_{0,4,IV}$  ( $\%^{-1}$ ) e  $a_{1,4,IV}$  ( $\%^{-1} d^{-2}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 46.** Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 53.** Caracterização da curva referente ao teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,4,IV}$	-0,07984958	0,075607873	-1,05610139	-0,40516400	0,245464843	0,40165
$a_{1,4,IV}$	$7,1047.10^{-5}$	$5,37041.10^{-6}$	13,22934675	$4,794.10^{-5}$	$9,4154.10^{-5}$	0,00567

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	2,654205	1	2,654205	181,826	0,00545	
Erro	0,029194998	2	0,014597499			
Total	2,6834	3				

$r^2$ : 0,9891201469.

Ao analisar a curva de teor de cálcio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, é possível observar um aumento contínuo ao longo do ciclo vegetativo, com uma quantidade maior no teor desse elemento no estágio final do ciclo. Esse aumento pode ser atribuído ao fato de que o cálcio se comporta como um nutriente imóvel dentro da planta.

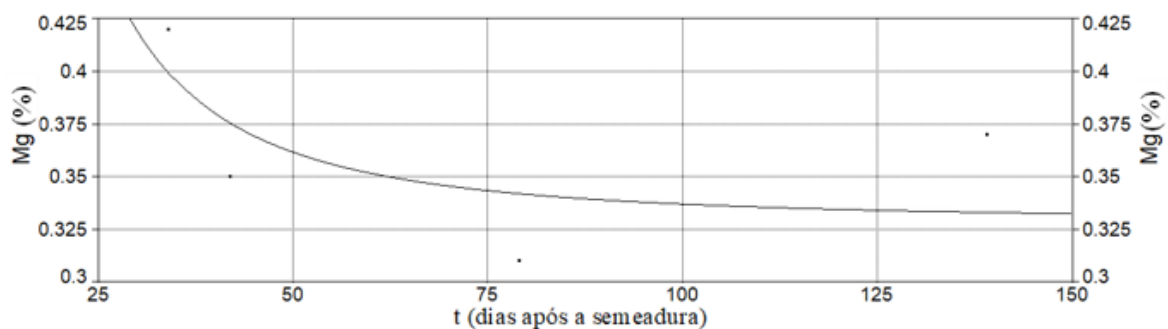
A deficiência de cálcio pode acarretar a inibição do crescimento do tecido meristemático, afetando o desenvolvimento dos caules, folhas e pontas das raízes. Geralmente, essa deficiência inicialmente se manifesta nas folhas mais jovens e nos pontos de crescimento, como o meristema apical. Essa observação provavelmente está relacionada à propriedade de imobilidade do cálcio dentro da planta (BORKERT et al., 1994), assim, podendo ser observado no gráfico maiores teores de cálcio ao final do ciclo da cultura.

#### 4.6.4.5 Teor de magnésio

Para caracterização da variação temporal do teor de magnésio ( $\tau_{5IV}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{5IV} = 0,328806135 + \frac{81,98353689}{t^2} \quad (100)$$

em que  $a_{0,5,IV}$  (%) e  $a_{1,5,IV}$  (% d<sup>2</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 47. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Ao analisar a curva que descreve os teores de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, é possível observar uma queda com pouca constância nos teores ao longo do ciclo. A diferença de porcentagem de magnésio entre o início do ciclo, aos 34 dias após a semeadura, e o final do ciclo, com 139 dias após a semeadura, é de apenas 0,05%. Isso sugere a manutenção de um equilíbrio nas porcentagens desse nutriente na planta ao longo do seu ciclo de crescimento.

Pesquisas relatam que a demanda por magnésio pelas plantas é altamente influenciada pela intensidade luminosa. Plantas cultivadas em ambientes com alta insolação, como em regiões tropicais, tendem a requerer maior quantidade deste nutriente em comparação com

aquelas cultivadas em ambientes de menor intensidade luminosa (DALL'AGNOL; NOGUEIRA, 2021). Além disso, o magnésio desempenha um papel vital no metabolismo das plantas, sendo essencial para atividades como a fotossíntese, onde atua como componente estrutural da clorofila, desempenhando um papel central na molécula.

Cerca de 75% do magnésio presente nas folhas das plantas está direcionado para a síntese de proteínas. Essa característica é particularmente relevante para a cultura de soja, uma vez que seus grãos acumulam aproximadamente 40% de proteínas (DALL'AGNOL; NOGUEIRA, 202).

**Tabela 54. Caracterização da curva referente ao teor de magnésio (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,5,IV}$	0,328806135	0,033413104	9,840634098	0,185041150	0,472571120	0,01017
$a_{1,5,IV}$	81,98353689	63,77325821	1,285547253	-192,410647	356,3777204	0,32736
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	0,0028391212	1	0,0028391212	1,65263	0,32736	
Erro	0,0034358788	2	0,0017179394			
Total	0,006275	3				

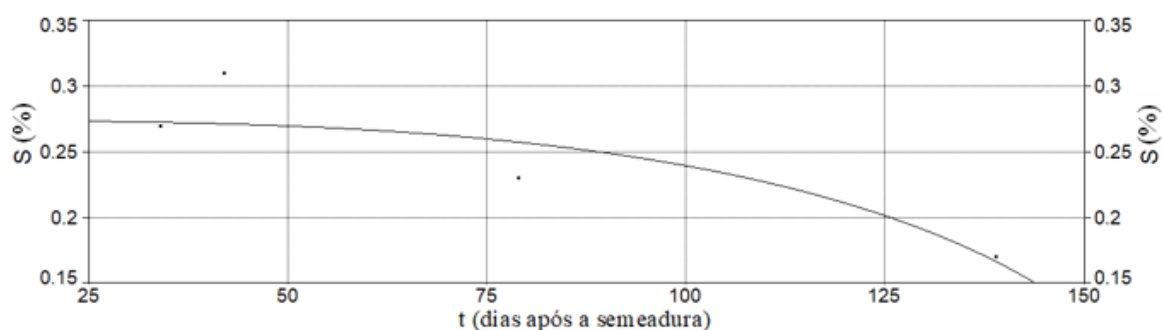
r<sup>2</sup>: 0,9954864957.

#### 4.6.4.6 Teor de enxofre

Para caracterização da variação temporal do teor de enxofre ( $\tau_{6IV}$ , %) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{6IV} = \sqrt{0,075014630 - 1,7607 \cdot 10^{-8} \cdot t^3} \quad (101)$$

em que  $a_{0,6,IV}$  (%<sup>2</sup>) e  $a_{1,6,IV}$  (%<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 48.** Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 55.** Caracterização da curva referente ao teor de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,6,IV}$	0,075014630	0,005646955	13,28408389	0,05071774	0,099311519	0,00562
$a_{1,6,IV}$	$-1,7606551 \cdot 10^{-8}$	$3,12034 \cdot 10^9$	-5,64251116	$-3,1032 \cdot 10^8$	$-4,1808 \cdot 10^9$	0,03000

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F	$P > F$
Regressão	0,0084392935	1	0,0084392935	7,46607	0,11190
Erro	0,0022607065	2	0,0011303533		
Total	0,0107	3			

$r^2$ : 0,78871902.

Ao caracterizar a curva dos teores de enxofre (%) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, é notável a presença de teores constantes com queda na curva. Esse padrão indica um equilíbrio consistente na disponibilidade de enxofre ao longo de todo o ciclo de crescimento da cultura de soja.

A relevância do enxofre para a planta é enfatizada pelo fato de que ele é um componente essencial de cada célula viva, contribuindo para a formação de 21 aminoácidos que, por sua vez, constituem as proteínas. Além disso, o enxofre desempenha várias funções vitais nas plantas, tais como: (i) a contribuição no desenvolvimento de enzimas e vitaminas, (ii) a promoção da nodulação para a fixação de nitrogênio em fabáceas, (iii) a participação na formação da clorofila, apesar de não ser um componente direto dela, (iv) o aumento do teor de

óleo em sementes oleaginosas como a soja, (v) o incremento da resistência à deficiência hídrica e (vi) o controle de certas doenças transmitidas pelo solo (SFREDO; LANTMANN, 2007).

Esses atributos do enxofre destacam sua influência no crescimento e desenvolvimento da cultura de soja.

#### 4.7 Caracterização da composição da matéria seca total: teor de micronutrientes

##### 4.7.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

A Tabela 56 ilustra a composição (micronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).

**Tabela 56. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
34	24	31,4	10	455	48	53	93
42	32	35,7	13	237	44	45	41
79	69	40,0	16	110	69	52	13
129	119	39,8	9	251	61	26	23

As Tabelas 57, 58, 59, 60, 61 e 62 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de boro (equação 102 e Figura 49), cobre (equação 103 e Figura 50), ferro (equação 104 e Figura 51), manganês (equação 105 e Figura 52), zinco (equação 106 e Figura 53) e sódio (equação 107 e Figura 95) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I).

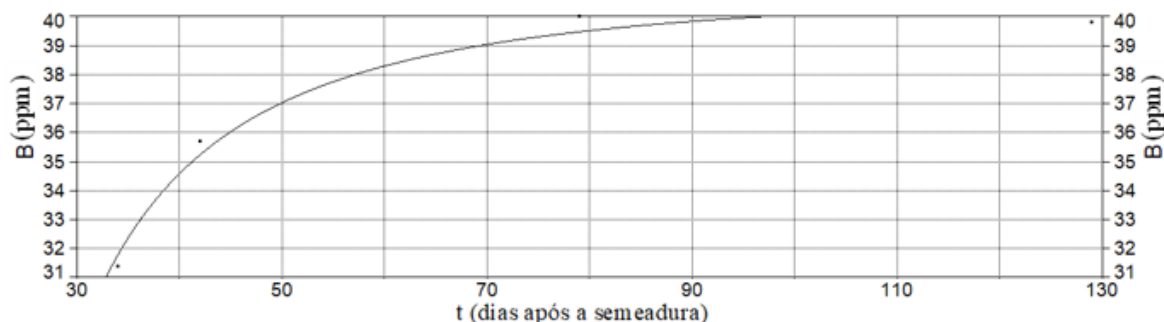
##### 4.7.1.1 Teor de boro

Para caracterização da variação temporal do teor de boro ( $\tau_{71}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):



$$\tau_{7I} = \sqrt{1683,512009 - \frac{783020,568}{t^2}} \quad (102)$$

em que  $a_{0,7,I}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,7,I}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>2</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 49.** Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 57.** Caracterização da curva referente ao teor de boro na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>). Coeficiente de determinação ajustado (r<sub>a</sub><sup>2</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,7,I}$	1683,512009	23,09455862	72,89647908	1584,144143	1782,879875	0,00019
$a_{1,7,I}$	-783020,568	39785,43909	-19,6810840	-954203,496	-611837,639	0,00257

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F	P>F
Regressão	48,538027	1	48,538027	92,4998	0,01064
Erro	1,0494735	2	0,52473675		
Total	49,5875	3			

r<sup>2</sup>: 0,9788359265.

Ao analisar a caracterização da curva dos teores de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, é perceptível o gradual e contínuo acúmulo desse micronutriente. O boro desempenha um papel vital, uma vez que é considerado um micronutriente para o crescimento e desenvolvimento da soja.

Sua importância é especialmente destacada em processos celulares fundamentais, como a divisão e alongação celular, bem como em estádios críticos do ciclo reprodutivo da planta. O

boro é essencial na germinação do pólen, na alongação do tubo polínico e na fecundação, desempenhando um papel crucial na formação adequada dos frutos ou sementes. Como resultado, o teor adequado de boro se torna um fator determinante para a produção eficaz da cultura (FURLANI et al., 2001).

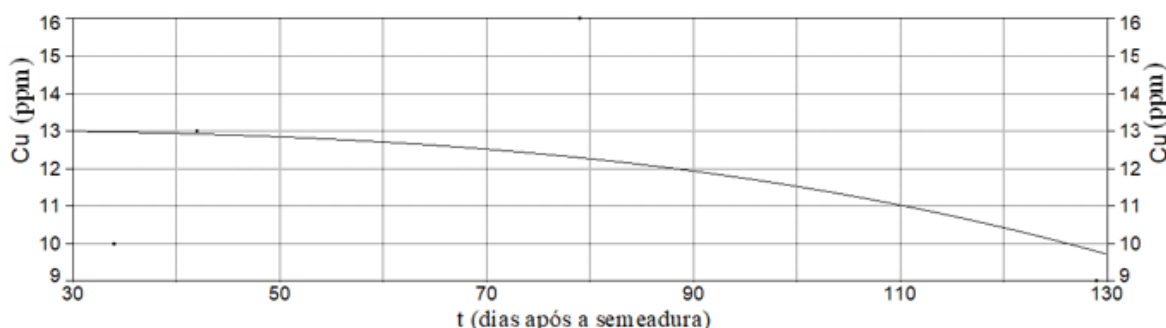
A observação do aumento gradual dos teores de boro ao longo do ciclo da cultura de soja reforça a necessidade de fornecer esse micronutriente em quantidades adequadas para garantir o pleno desenvolvimento das atividades celulares e reprodutivas da planta, culminando em uma produção otimizada.

#### 4.7.1.2 Teor de cobre

Para caracterização da variação temporal do teor de cobre ( $\tau_{8,I}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{8,I} = 13,03874073 - 1,5092 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 \quad (103)$$

em que  $a_{0,8,I}$  (ppm) e  $a_{1,8,I}$  (ppm d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 50.** Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

O cobre (Cu) é um micronutriente de significativa importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ele tem a capacidade de reagir diretamente com o oxigênio molecular, catalisando, preferencialmente, processos de oxidação terminal. Várias proteínas que contêm cobre desempenham funções cruciais nos processos de fotossíntese, respiração, desintoxicação dos radicais livres de superóxidos e lignificação (KERBAUY, 2004).

Com isso, ao caracterizar a curva que descreve os teores de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, observa-se uma tendência de maiores teores durante os estádios vegetativo e de florescimento. No entanto, há uma diminuição desses teores no estágio final do ciclo da cultura.

Essa variação nos teores de cobre ao longo do ciclo da cultura de soja pode estar relacionada às suas diversas funções, incluindo seu papel em processos metabólicos vitais. O aumento durante os estádios vegetativo e de florescimento pode refletir a demanda aumentada por cobre para suportar processos fisiológicos ativos, enquanto a queda nos níveis no final do ciclo pode ser atribuída a ajustes nas necessidades da planta à medida que ela se aproxima da maturidade e da colheita.

**Tabela 58. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,8,I}$	13,03874073	2,182803815	5,973391032	3,646893939	22,43058752	0,02690
$a_{1,8,I}$	$-1,5092 \cdot 10^{-6}$	$1,98061 \cdot 10^6$	-0,76198026	$-1,0031 \cdot 10^5$	$7,01268 \cdot 10^6$	0,52567
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	6,7497185	1	6,7497185	0,580614	0,52567	
Erro	23,250281	2	11,625141			
Total	30	3				

$r^2$ : 0,2249906167.

#### 4.7.1.3 Teor de ferro

Para caracterização da variação temporal do teor de ferro ( $\tau_{9,I}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{9,I} = 199,3005334 + 1,49198 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t} \quad (104)$$

em que  $a_{0,9,I}$  (ppm) e  $a_{1,9,I}$  (ppm  $\frac{e}{d}$ ) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 51.** Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 59.** Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,9,I}$	199,3005334	44,84214493	4,444491532	6,360356115	392,2407107	0,04708
$a_{1,9,I}$	$1,49198 \cdot 10^{17}$	$5,23273 \cdot 10^{16}$	2,851247408	$-7,5948 \cdot 10^{16}$	$3,74345 \cdot 10^{17}$	0,10414

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	49030,54	1	49030,54	8,12961	0,10414	
Erro	12062,21	2	6031,1048			
Total	61092,75	3				

$r^2$ : 0,8025590671.

O ferro desempenha diversas funções vitais nas plantas, incluindo a síntese de proteínas, a formação da clorofila e a contribuição fundamental para a divisão celular. Na cultura de soja, sua importância é notável na fixação biológica de nitrogênio, no desenvolvimento do caule e das raízes, além de ter participação nos processos de fotossíntese e respiração (DALL’AGNOL; NOGUEIRA, 2021).

Nesse contexto, a caracterização da curva que representa os teores de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, exibe um padrão interessante. Inicialmente, há um valor alto de teor de ferro no início do ciclo, seguido por uma queda durante o período de florescimento e enchimento dos grãos.

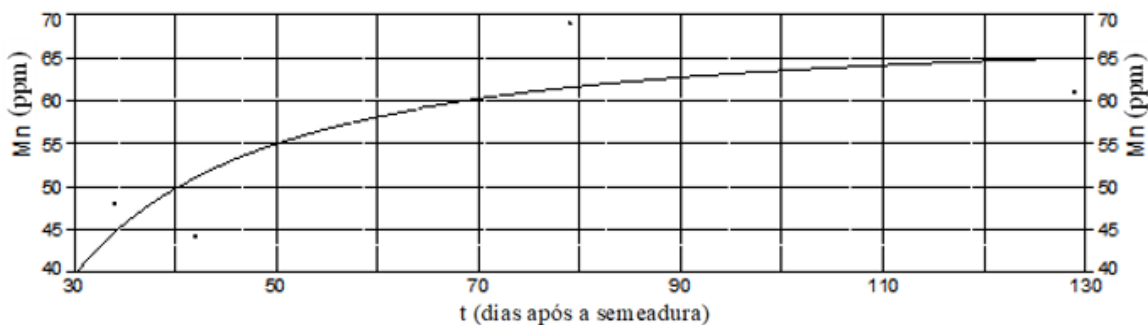
Essa variação nos teores de ferro ao longo do ciclo de crescimento da cultura pode estar relacionada à sua distribuição e uso nas diferentes fases de desenvolvimento. O aumento inicial pode estar ligado à demanda por ferro na síntese de proteínas e clorofila, enquanto a queda durante o florescimento e enchimento dos grãos pode indicar realocações dentro da planta para atender às necessidades de crescimento e reprodução nesses estádios cruciais.

#### 4.7.1.4 Teor de manganês

Para caracterização da variação temporal do teor de manganês ( $\tau_{10,t}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{10,t} = 68,22734201 + \frac{-4703,09717}{t^{1,5}} \quad (105)$$

em que  $a_{0,10,I}$  (ppm) e  $a_{1,10,I}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 52. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

O manganês é um micronutriente com funções essenciais nas plantas, sendo que uma de suas funções mais bem definidas é a participação na reação fotossintética, na qual o oxigênio é gerado a partir da água (BASSO et al., 2011).

No contexto da caracterização da curva relacionada ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, observa-se níveis mais elevados de manganês durante o período de enchimento de grãos e no estágio final do desenvolvimento da planta.

É importante esta caracterização de maiores teores de manganês ao final do ciclo, principalmente durante o período de enchimento dos grãos. Em um trabalho realizado por Mann et al. (2002), em Minas Gerais, avaliando a influência da aplicação de manganês na folha e no

solo, sobre a qualidade de sementes de soja, em duas cultivares, concluíram que os menores teores de proteína foram detectados nos tratamentos testemunha, sem aplicação de manganês e os maiores teores foram encontrados nos tratamentos que receberam as maiores doses de manganês. Os teores de óleo também apresentaram um acréscimo de 20% nos tratamentos que receberam manganês. Wilson et al. (1982) também verificaram alteração no teor de óleo em condições de baixos níveis de manganês nas folhas (<10 ppm), sendo observada ainda a importância das condições climáticas e localização geográfica como fatores que influenciam os níveis de ácidos graxos nos teores de óleo em soja.

**Tabela 60. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,10,I}$	68,22734201	7,516866840	9,076566536	35,88487438	100,5698096	0,01192
$a_{1,10,I}$	-4703,09717	2335,539320	-2,01370926	-14752,1118	5345,917466	0,18165
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
<b>Regressão</b>	268,54803	1	268,54803	4,05503	0,18165	
<b>Erro</b>	132,45197	2	66,225986			
<b>Total</b>	401	3				

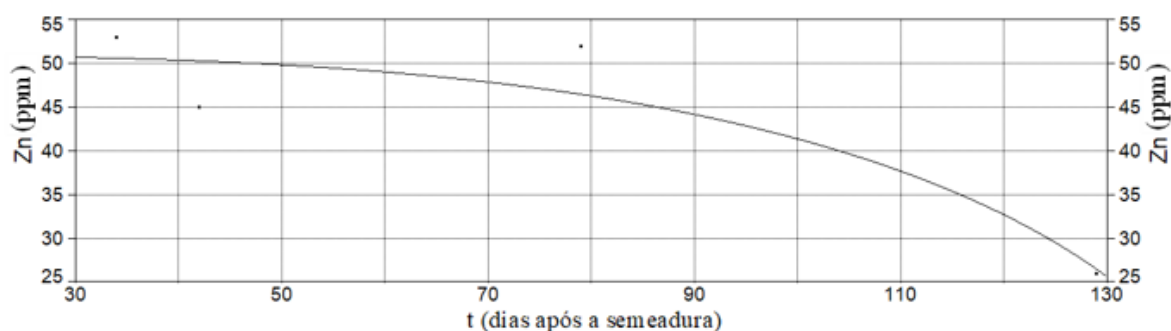
$r^2$ : 0,6696958312.

#### 4.7.1.5 Teor de zinco

Para caracterização da variação temporal do teor de zinco ( $\tau_{11,I}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{11,I} = \sqrt{2596,132522 - 0,00088215 \cdot t^3} \quad (106)$$

em que  $a_{0,11,I}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,11,I}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 53.** Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

O zinco é um micronutriente de grande importância para as plantas e em diversas situações, são limitantes para uma boa produtividade das culturas. Esse elemento desempenha papéis essenciais em uma variedade de processos, incluindo a fotossíntese, respiração, regulação hormonal, síntese de aminoácidos e proteínas, além de participar na redução de nitratos e na desintoxicação de radicais livres (MARSCHNER, 2012).

Ao caracterizar a curva que representa o teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, observa-se que os teores de zinco se mantêm relativamente constantes durante o início do ciclo. A análise registra valores de 53 ppm aos 34 DAS, 45 ppm aos 42 DAS e 52 ppm aos 79 DAS. Entretanto, nota-se uma redução no teor de zinco ao final do ciclo, registrando um valor menor de 26 ppm aos 129 DAS.

**Tabela 61.** Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,11,I}$	2596,132522	178,0148135	14,58380047	1830,196598	3362,068445	0,00467
$a_{1,11,I}$	-0,00088215	0,000111252	-7,92926828	-0,00136083	-0,00040347	0,01554
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	$P > F$	
Regressão	405,50179	1	405,50179	12,574	0,07115	
Erro	64,498207	2	32,249103			
Total	470	3				

$r^2$ : 0,8627697724.

#### 4.7.1.6 Teor de sódio

Para caracterização da variação temporal do teor de sódio ( $\tau_{12,I}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento I):

$$\tau_{12,I} = -0,71773733 + \frac{15970,123}{t^{1,5}} \quad (107)$$

em que  $a_{0,12,I}$  (ppm) e  $a_{1,12,I}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

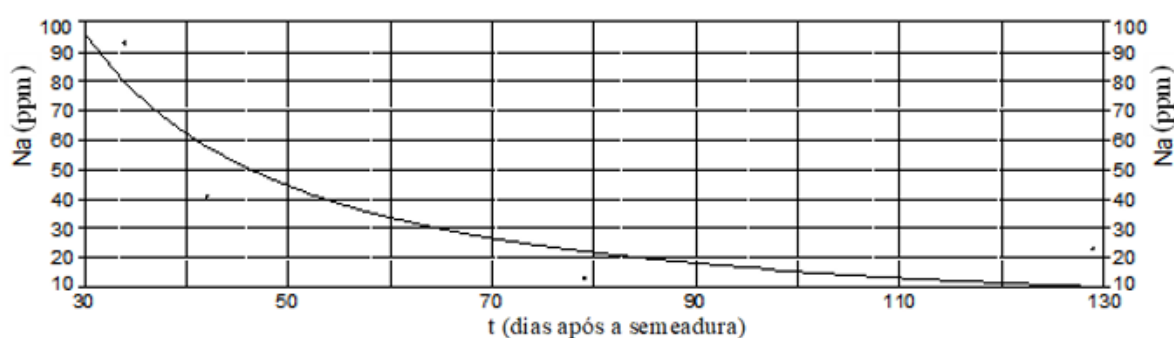


Figura 54. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 62. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,12,I}$	-0,71773733	17,36060315	-0,04134288	-75,4143839	73,97890921	0,97078
$a_{1,12,I}$	15970,12305	5394,052090	2,960691291	-7238,60990	39178,85599	0,09766
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	3096,4965	1	3096,4965	8,76569	0,09766	
Erro	706,50353	2	353,25176			
Total	3803	3				

$r^2$ : 0,8142246844.



O sódio, quando presente em quantidades adequadas, desempenha um papel de nutriente importante para a planta de soja. Ele contribui para várias funções vitais, como a síntese de clorofila (ROMERO, 2008), o estímulo à fotossíntese (MURATA; SEKIVA, 1992), a regeneração do fosfoenolpiruvato (PEP) (ROMERO, 2008), a redução da demanda de potássio pela planta (ROMERO, 2008), o controle osmótico (ROMERO, 2008), a função estomática em algumas plantas (THOMAS, 1970), o transporte de íons em longas distâncias (MARSCHNER, 1995), a ativação de enzimas (WYN JONES; BRADY; SPEIRS, 1979) e a estimulação do crescimento (TAKAHASHI; MAEJIMA, 1998).

É relevante mencionar que a maioria das cultivares de plantas, incluindo a soja, evoluiu em ambientes de baixa salinidade. Assim, ao caracterizar a curva que representa o teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce sob condição irrigada, é possível observar níveis modestos de sódio na planta. Esses níveis tendem a ser mais proeminentes no início do ciclo da cultura, com teores mais baixos nas avaliações subsequentes ao longo do ciclo. Essa caracterização destaca a importância do equilíbrio no teor de sódio, uma vez que a resposta das plantas, incluindo a soja, é mais otimizada em condições de baixa salinidade.

#### 4.7.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

A Tabela 63 ilustra a composição (micronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).

**Tabela 63. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
34	24	26,4	10	279	61	52	24
42	32	29,5	10	136	53	36	29
79	69	44,0	17	92	66	52	35
129	119	35,6	9	294	85	29	32

As Tabelas 64, 65, 66, 67, 68 e 69 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de boro (equação 108 e Figura 55), cobre (equação 109 e Figura 56), ferro (equação 110 e Figura 57), manganês (equação 111 e Figura 58), zinco (equação 112 e

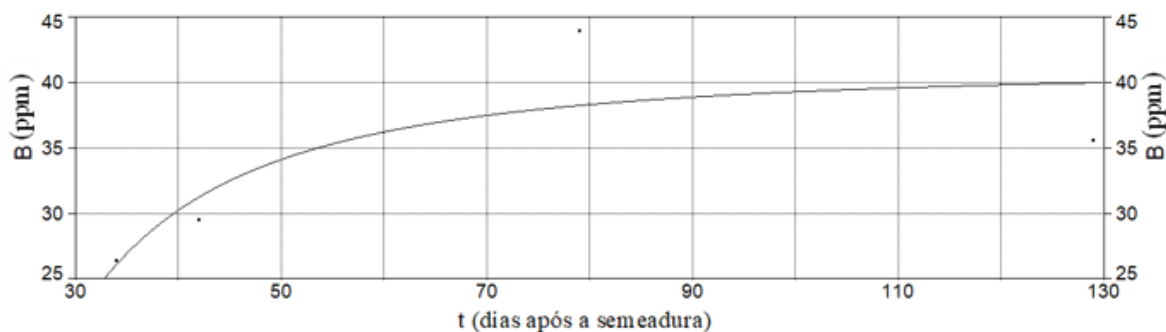
Figura 59) e sódio (equação 113 e Figura 60) da matéria seca total referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II).

#### 4.7.2.1 Teor de boro

Para caracterização da variação temporal do teor de boro ( $\tau_{7,II}(t)$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{7,II}(t) = \sqrt{1575,1574 - \frac{1051292,2}{t^2}} \quad (108)$$

em que  $a_{0,7,II}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,7,II}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>2</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 55.** Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 64. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,7,II}$	1575,157403	4,271873178	9,606190806	22,65604206	59,41681564	0,01066
$a_{1,7,II}$	-1051292,2	8149,966678	-2,12727281	-52403,6789	17729,27384	0,16723
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	123,98184	1	123,98184	4,38675	0,17123	
Erro	56,525658	2	28,262829			
Total	180,5075	3				

$r^2$ : 0,6935001942.

Os teores de boro (ppm) obtidos nas análises realizadas ao longo do ciclo da cultura, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, apresentaram um padrão de crescimento progressivo. Os valores foram de 26,4 ppm aos 34 dias após a semeadura (DAS), 29,5 ppm aos 42 DAS, 44 ppm aos 79 DAS e 35,6 ppm aos 129 DAS. É importante destacar que o teor foliar de boro considerado adequado para a cultura de soja varia de 20 a 55 ppm (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2008).

Diante disso, a curva que representa os teores de boro (ppm) se caracteriza por um aumento progressivo e contínuo. Para as dicotiledôneas, como a soja, é necessário manter concentrações de boro no tecido vegetal na faixa de 20 a 70 ppm, sendo essa exigência superior à observada nas monocotiledôneas, que requerem teores de 5 a 10 ppm (ZAVASCHI, 2020).

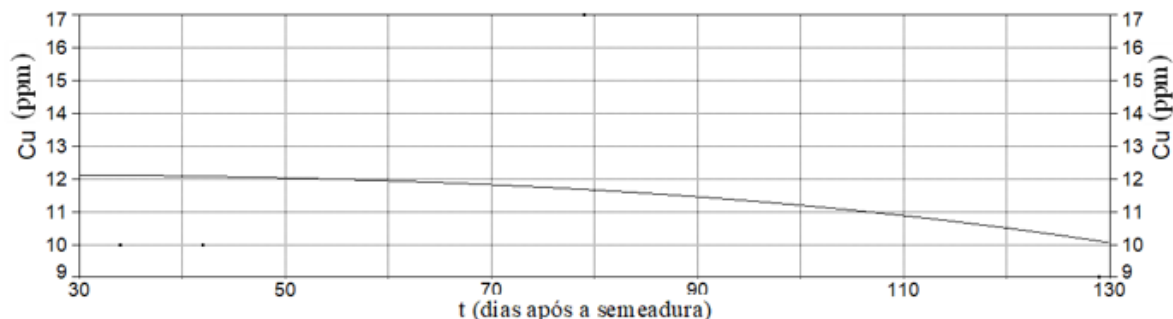
Esta caracterização de aumento nos teores de boro ao longo do ciclo da cultura de soja é indicativo da importância desse micronutriente para os processos de crescimento, reprodução e desenvolvimento da cultura. Em um estudo realizado por Ferrari e Boiago (2022), com diferentes doses via foliar do micronutriente boro na cultura da soja, conclui-se que o uso do fertilizante foliar a base de boro aumentou o número de vagens por planta de soja.

#### 4.7.2.2 Teor de cobre

Para caracterização da variação temporal do teor de cobre ( $\tau_{8,II}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{8,II} = 12,15614032 - 9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 \quad (109)$$

em que  $a_{0,8,II}$  (ppm) e  $a_{1,8,II}$  (ppm d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 56. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Cerca de 70% do cobre presente nas folhas está localizado nos cloroplastos, e é reconhecido como essencial para a fotossíntese, a produção de clorofila e a ativação de enzimas vitais (MALAVOLTA, 2006). É por essa razão que, ao caracterizar a curva que representa os teores de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, observam-se teores mais elevados de cobre no início do ciclo, estendendo-se até o período de enchimento dos grãos, . No período final do ciclo da cultura, quando ocorre a senescência e as atividades fisiológicas diminuem, a presença de cobre tende a ser menor, possivelmente refletindo a redução nas necessidades metabólicas da planta.

**Tabela 65. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,8,II}$	12,15614032	2,801809915	4,338674172	0,100925234	24,21135540	0,04923
$a_{1,8,II}$	$-9,533.10^{-7}$	$2,54227.10^6$	-0,37498105	$-1,1892.10^5$	$9,98522.10^6$	0,74370

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F	P>F
Regressão	2,6931763	1	2,6931763	0,140611	0,74370
Erro	38,306824	2	19,153412		
Total	41	3			

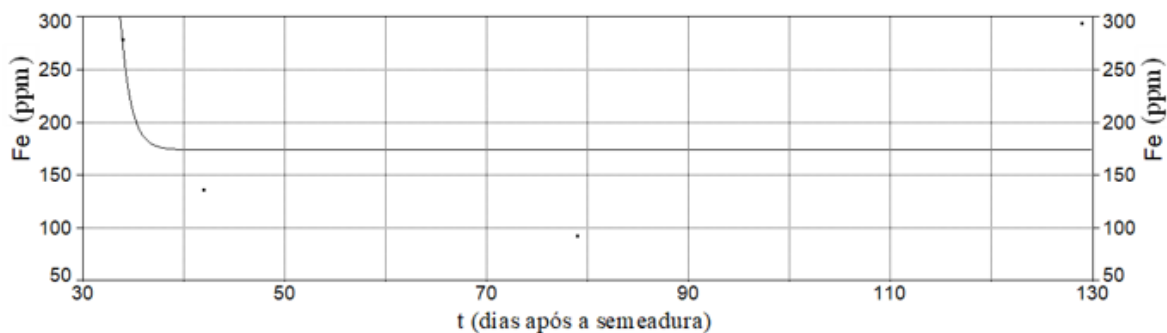
$r^2$ : 0,0656872267.

#### 4.7.2.3 Teor de ferro

Para caracterização da variação temporal do teor de ferro ( $\tau_{9,II}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{9,II} = 173,9925117 + 6,12604.10^{16}.e^{-t} \quad (110)$$

em que  $a_{0,9,II}$  (ppm) e  $a_{1,9,II}$  (ppm  $\frac{e}{d}$ ) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 57. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 66. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

<b>Pm</b>	<b>Valor</b>	<b>Ep</b>	<b>Valor t</b>	<b>IC (Inf)</b>	<b>IC (Sup)</b>	<b>P&gt; t </b>
$a_{0,9,II}$	173,9925117	61,34020810	2,836516489	-89,9331021	437,9181255	0,10506
$a_{1,9,II}$	$6,12604.10^{16}$	$7,15793.10^{16}$	0,855839429	$-2,4672.10^{17}$	$3,69241.10^{17}$	0,48226
<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P&gt;F</b>	
<b>Regressão</b>	8266,0721	1	8266,0721	0,732461	0,48226	
<b>Erro</b>	22570,678	2	11285,339			
<b>Total</b>	30836,75	3				

$r^2$ : 0,2680591210.

Ao caracterizar a curva que descreve os teores de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, foram obtidos os seguintes valores 279 ppm aos 34 dias após a semeadura, 136 ppm aos 42 DAS, 92 ppm aos 79 DAS e 294 ppm aos 129 DAS.

A presença de maiores concentrações de ferro no início do ciclo da cultura pode estar associada ao fato de que o ferro desempenha várias funções importantes enzimáticas na planta. Essas enzimas incluem a catalase, que degrada o peróxido de hidrogênio tóxico para a planta, a peroxidase, que elimina superóxidos, a nitrogenase, que reduz o  $N_2$ , a leghemoglobina, que liga o oxigênio e evita sua inativação excessiva da nitrogenase, e a ferredoxina, que atua como transportadora de elétrons no fotosistema I, reduzindo o  $NADP^+$  a  $NADPH$  (SFREDO; BORKERT, 2004).

No entanto, uma deficiência de ferro pode ter impactos negativos. Isso pode levar a uma redução na quantidade de RNA e uma taxa de síntese de proteínas mais baixa. Dado que cerca de 75% do ferro é encontrado nos cloroplastos, a deficiência de ferro pode resultar em clorose nas folhas jovens devido à diminuição no teor de cloroplastos e de clorofila (SFREDO; BORKERT, 2004).

Portanto, o manejo adequado dos teores de ferro é fundamental para garantir o desenvolvimento eficaz da cultura de soja, bem como a maximização da fotossíntese, fixação de nitrogênio e síntese de proteínas, contribuindo para boas produtividades.

#### 4.7.2.4 Teor de manganês

Para caracterização da variação temporal do teor de manganês ( $\tau_{10,II}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{10,II} = 80,22978056 + \frac{-5165,90709}{t^{1,5}} \quad (40)$$

em que  $a_{0,10,II}$  (ppm) e  $a_{1,10,II}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d – dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.

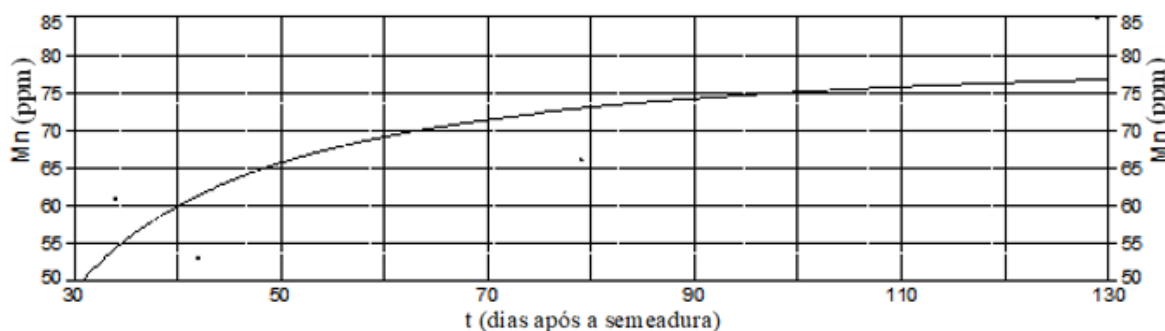


Figura 58. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Tabela 67. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,10,II}$	80,22978056	9,921490642	8,086464369	37,54105177	122,9185094	0,01495
$a_{1,10,II}$	-5165,90709	3082,671544	-1,67578901	-18429,5722	8097,758045	0,23577
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	324,00167	1	324,00167	2,80827	0,23577	
Erro	230,74833	2	115,37417			
Total	554,75	3				

$r^2$ : 0,5840498768.

A caracterização da curva relacionada ao teor de manganês (ppm) revela resultados de 61 ppm aos 34 DAS, 53 ppm aos 42 DAS, 66 ppm aos 79 DAS e 85 ppm aos 129 DAS, em cultivar precoce em sistema de sequeiro.

Os valores constantes de manganês observados nas avaliações ao longo dos diferentes dias após a emergência indicam um aumento nos teores desse micronutriente durante o ciclo da cultura. Vale ressaltar que o manganês é um dos micronutrientes mais abundantes no solo, logo após o ferro. Seu teor no solo pode variar consideravelmente, situando-se dentro da faixa de 20 a 3.000 mg kg<sup>-1</sup>, e sua disponibilidade tende a aumentar conforme ocorre a redução do pH do solo (ADRIANO, 2001; KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 2001).

A relação entre a disponibilidade de manganês na solução do solo e sua absorção pelas raízes é diretamente proporcional. Ou seja, à medida que a solução do solo apresenta maior quantidade desse elemento disponível, a planta tem a capacidade de absorver uma quantidade maior de manganês por unidade de comprimento (ou massa) das raízes (ANDRADE, ROSOLEM, 2011). Essa dinâmica evidencia a influência do suprimento de manganês no solo sobre a sua absorção pelas plantas e, por consequência, sobre a sua disponibilidade para cumprir funções vitais nos processos metabólicos das culturas, como a fotossíntese e a defesa contra estresses oxidativos.

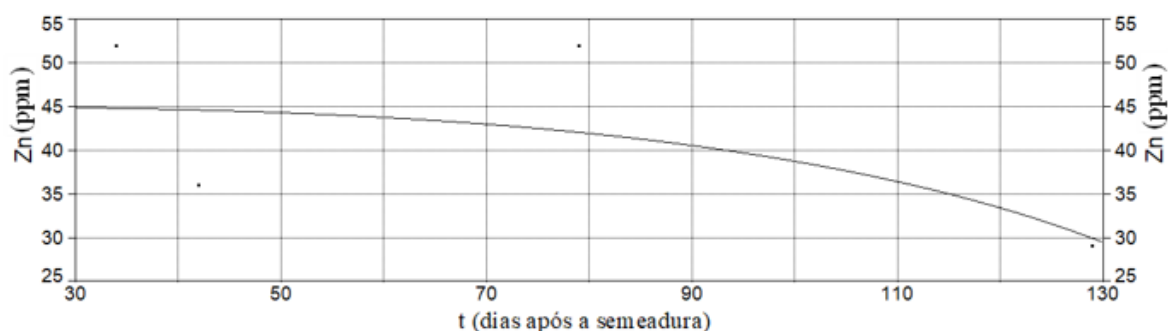
#### 4.7.2.5 Teor de zinco

Para caracterização da variação temporal do teor de zinco ( $\tau_{11,II}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{11,II} = \sqrt{2030,602251 - 0,00052849 \cdot t^3} \quad (41)$$

em que  $a_{0,11,II}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,11,II}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.





**Figura 59.** Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 68.** Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,11,II}$	2030,602251	295,7874916	6,865071407	757,9313930	3303,273110	0,02057
$a_{1,11,II}$	-0,00052849	0,000205871	-2,56710718	-0,00141428	0,000357298	0,12412
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	179,51237	1	179,51237	1,59398	0,33403	
Erro	225,23763	2	112,61881			
Total	404,75	3				

$r^2$ : 0,4435141988.

A curva que representa o teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, demonstra teores relativamente baixos, porém constantes, até aproximadamente a fase de enchimento dos grãos. Essa tendência pode ser explicada pelo fato de o zinco desempenhar um papel importante nas plantas até essa etapa do ciclo da soja. Esse elemento é um ativador essencial e componente de várias enzimas nas plantas, incluindo a sintetase do triptofano, que é responsável pela produção do ácido indolacético (AIA) nas plantas. O AIA é fundamental para o crescimento apical e a expansão celular, influenciando o desenvolvimento da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

É importante destacar que as doses de zinco requeridas pela cultura da soja são relativamente pequenas (FURLANI et al., 2005). No entanto, a eficiência de absorção desse micronutriente pelas plantas é baixa devido a diversos fatores. Isso inclui a má distribuição dos

elementos na cultura, reações no solo que podem torná-los indisponíveis para as plantas e a baixa mobilidade desses nutrientes no solo, especialmente no caso dos micronutrientes (MARSCHNER, 2012).

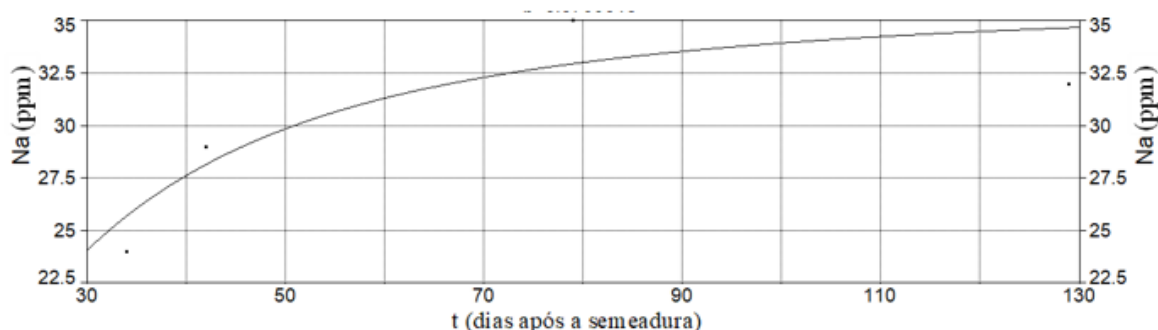
Para superar esses desafios, são necessárias estratégias de manejo que aumentem a precisão da distribuição dos nutrientes no campo e os aproximem da zona de absorção das raízes das plantas. Essas abordagens podem incluir práticas de fertilização mais direcionadas e tecnologias que otimizem a disponibilidade e a eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas (LEMES et al., 2017).

#### 4.7.2.6 Teor de sódio

Para caracterização da variação temporal do teor de sódio ( $\tau_{12,II}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento II):

$$\tau_{12,II} = 35,67322585 - \frac{2096,41042}{t^{1,5}} \quad (42)$$

em que  $a_{0,12,II}$  (ppm) e  $a_{1,12,II}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 60. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 69. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,12,II}$	35,67322585	2,322204510	15,36179337	25,68158627	45,66486542	0,00421
$a_{1,12,II}$	-2096,41042	721,5240151	-2,90553104	-5200,87769	1008,056854	0,10085
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	53,358877	1	53,358877	8,44211	0,10085	
Erro	12,641123	2	6,3205613			
Total	66	3				

$r^2$ : 0,8084678398.

Quando a cultura de soja é estudada em relação à sua tolerância à salinidade, observa-se que ela é moderadamente sensível, embora o desempenho seja diferente nas variedades (GRIEVE; GRATTAN; MAAS, 2011). O estresse devido ao excesso de sal tem sido estudado destacando a inibição da germinação, do crescimento e da produção de sementes como efeitos significativos.

Nesse contexto, ao analisarmos a caracterização da curva que representa o teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar precoce em sistema de sequeiro, podemos observar que se tem um aumento na curva, porém os valores de teores permanecem constantes e baixos ao longo de todo o ciclo da cultura.

Essa abordagem ressalta a importância de compreender a resposta da soja à salinidade do solo, um fator que pode afetar significativamente seu desenvolvimento e produtividade.

#### 4.7.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

A Tabela 70 ilustra a composição (micronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III).

**Tabela 70. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
34	24	26,0	12	465	61	57	52
42	32	33,8	10	128	53	37	63
79	69	48,0	15	87	66	45	17
129	119	40,8	9	243	78	31	19

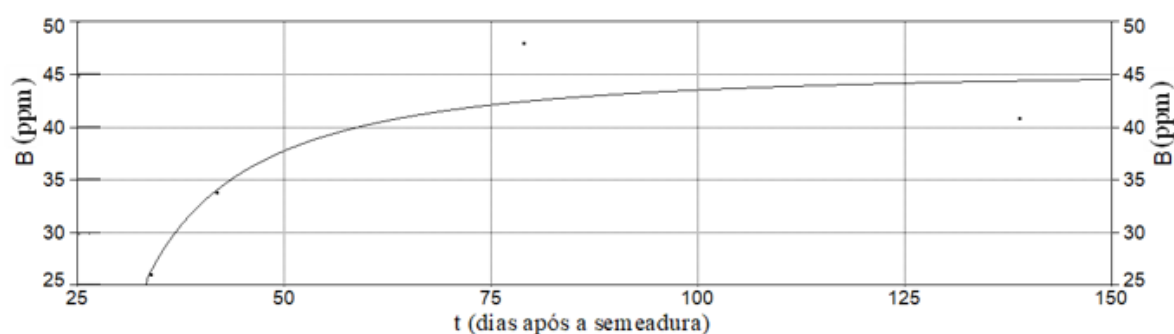
As Tabelas 71, 72, 73, 74, 75 e 76 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de boro (equação 114 e Figura 61), cobre (equação 115 e Figura 62), ferro (equação 116 e Figura 63), manganês (equação 117 e Figura 64), zinco (equação 118 e Figura 65) e sódio (equação 119 e Figura 66) da matéria seca total referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III).

#### 4.7.3.1 Teor de boro

Para caracterização da variação temporal do teor de boro ( $\tau_{7,III}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{7,III} = \sqrt{2052,678559 - \frac{1,5759 \cdot 10^6}{t^2}} \quad (43)$$

em que  $a_{0,7,III}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,7,III}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>2</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 61.** Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 71.** Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,7,III}$	2052,678559	158,6740079	12,93645120	1369,959406	2735,397712	0,00592
$a_{1,7,III}$	$-1,5759 \cdot 10^6$	246798,1596	$-6,38556758$	$-2,6378 \cdot 10^6$	$-514059,553$	0,02366

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	222,47921	1	222,47921	10,0873	0,08647	
Erro	44,110792	2	22,055396			
Total	266,59	3				

$r^2$ : 0,8345369582.

O boro é um micronutriente que tem demonstrado ser altamente responsivo em termos de aumento de produtividade na cultura de soja quando aplicado via fertilizante. Sua presença na planta é de suma importância, o que resulta na caracterização de uma curva referente aos seus teores (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio sob condições de irrigação. Essa curva se apresenta como progressiva e contínua, denotando a crescente acumulação de boro ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Este micronutriente desempenha um papel de grande relevância na produção de soja. No entanto, é importante abordar seu manejo de adubação com cuidado, uma vez que sua ausência pode resultar em perdas consideráveis para aqueles que buscam alta produtividade. A deficiência de boro pode levar à desorganização no crescimento do tubo polínico, à má formação dos vasos condutores e à diminuição da germinação dos grãos de pólen (ZAVASCHI,

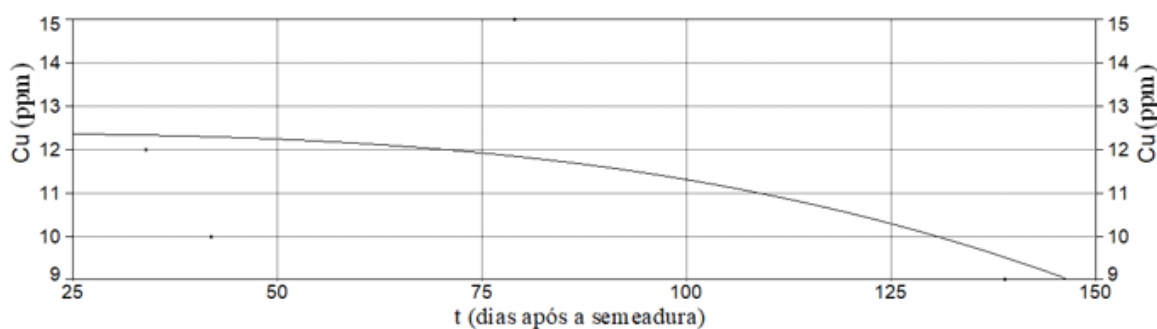
2020). Além disso, a presença adequada de boro nas sementes é de extrema importância, pois sementes deficientes nesse micronutriente têm baixo poder germinativo (RERKASEM et al., 1997).

#### 4.7.3.2 Teor de cobre

Para caracterização da variação temporal do teor de cobre ( $\tau_{8,III}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{8,III} = 12,37956537 - 1,0687 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 \quad (44)$$

em que  $a_{0,8,III}$  (ppm) e  $a_{1,8,III}$  (ppm d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 62.** Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 72. Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,8,III}$	12,37956537	1,748093675	7,081751709	4,858125347	19,90100539	0,01936
$a_{1,8,III}$	$-1,0687 \cdot 10^{-6}$	$1,27982 \cdot 10^6$	-0,83505318	$-6,5753 \cdot 10^6$	$4,43789 \cdot 10^6$	0,49155
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	5,428953	1	5,428953	0,697314	0,49155	
Erro	15,571047	2	7,7855235			
Total	21	3				

$r^2$ : 0,2585215724.

O cobre é absorvido pelas raízes das plantas na forma de  $Cu^{2+}$  e como quelatos solúveis. Desempenha um papel essencial na planta, uma vez que está envolvido em inúmeras enzimas e participa praticamente de todas as vias metabólicas do vegetal. Suas funções são particularmente notáveis nos processos metabólicos relacionados aos carboidratos, ao nitrogênio e à síntese de lignina. Devido a essa ampla gama de atividades metabólicas, a presença de cobre na planta é bastante importante.

Ao analisar a curva que representa os teores de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio sob condição irrigada, observamos que os teores variam ao longo do ciclo de crescimento. Aos 34 dias após a semeadura, os teores são de 12 ppm, diminuindo para 10 ppm aos 42 DAS, aumentando novamente para 15 ppm aos 79 DAS e, por fim, chegando a 9 ppm aos 129 DAS.

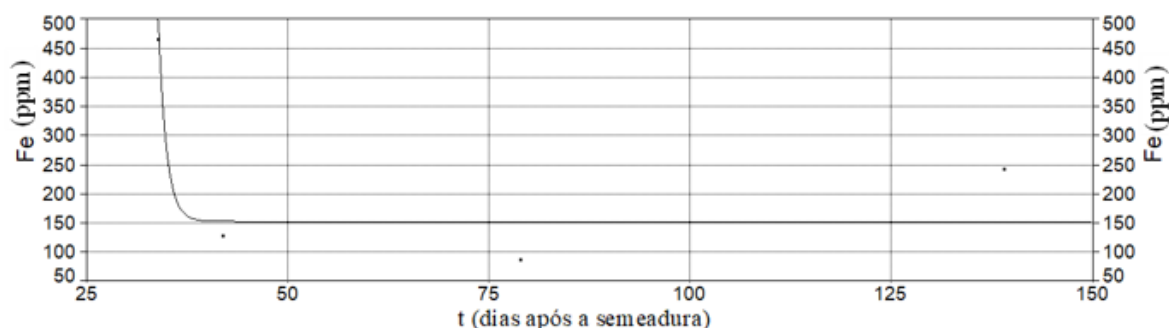
O cobre é caracterizado por ser um elemento de baixa mobilidade nas plantas. Além disso, sua influência se estende para a fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja, contribuindo para a produtividade da cultura. A variação nos teores de cobre ao longo do ciclo de crescimento pode estar relacionada às diversas funções metabólicas que ele desempenha e às necessidades específicas da planta em diferentes estádios de desenvolvimento.

#### 4.7.3.3 Teor de ferro

Para caracterização da variação temporal do teor de ferro ( $\tau_{9,III}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{9,III} = 152,6345050 + 1,82248 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t} \quad (45)$$

em que  $a_{0,9,III}$  (ppm) e  $a_{1,9,III}$  (ppm  $\frac{e}{d}$ ) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 63.** Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 73.** Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,9,III}$	152,6345050	46,70612134	3,267976458	-48,3257155	353,5947255	0,08225
$a_{1,9,III}$	$1,82248 \cdot 10^{17}$	$5,45025 \cdot 10^{16}$	3,343857341	$-5,2257 \cdot 10^{16}$	$4,16754 \cdot 10^{17}$	0,07898

ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	$P > F$	
Regressão	73158,907	1	73158,907	11,1814	0,07898	
Erro	13085,843	2	6542,9217			
Total	86244,75	3				

$r^2$ : 0,8482708405.

As formas iônicas absorvidas pelas plantas são  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , sendo que o  $Fe^{2+}$  é mais solúvel e facilmente absorvido pelas plantas. Assim, ao analisar a curva que caracteriza os teores de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio sob condição irrigada, observou-se um teor mais elevado de ferro no início do ciclo da cultura. Esse aumento inicial pode estar relacionado ao papel essencial do ferro na fotossíntese, não apenas devido à



sua participação na síntese de clorofila (MILLER; PUSHNIK; WELKIE, 1984), mas também devido à sua influência na morfologia dos cloroplastos (TERRY; ABADÍA, 1986; MARSCHNER, 1995).

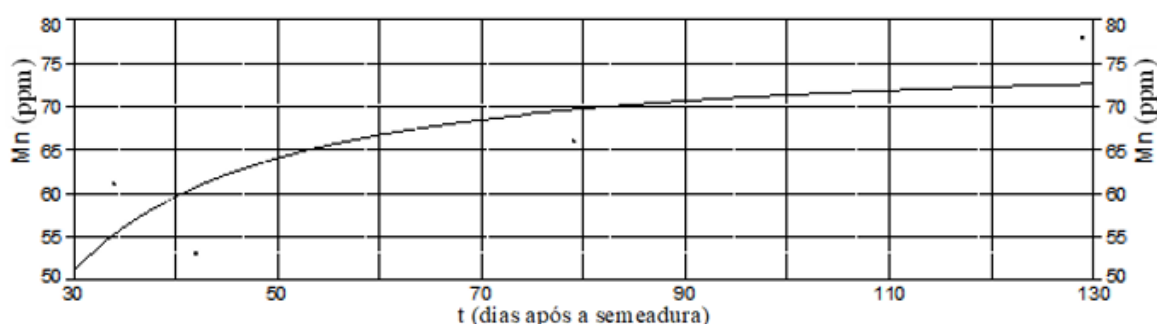
Em uma fase subsequente, houve um aumento adicional nos teores de ferro ao final do ciclo da cultura. É importante destacar que existem várias enzimas menos conhecidas nas quais o ferro atua como componente metálico em reações redox ou como um elemento de ligação entre a enzima e o substrato (MARSCHNER, 1995). Isso inclui as lipoxigenases, que desempenham um papel na regulação da peroxidação lipídica. Essas enzimas estão envolvidas na senescência celular e tecidual, bem como nas interações entre hospedeiro e patógeno, influenciando, portanto, a resistência a doenças (NAGARATHANA et al., 1992). Essa complexa interação pode explicar o aumento no teor de ferro observado na curva de caracterização.

#### 4.7.3.4 Teor de manganês

Para caracterização da variação temporal do teor de manganês ( $\tau_{10,III}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{10,III} = 75,32236775 - \frac{3999,15764}{t^{1,5}} \quad (46)$$

em que  $a_{0,10,III}$  (ppm) e  $a_{1,10,III}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 64.** Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 74. Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

<b>Pm</b>	<b>Valor</b>	<b>Ep</b>	<b>Valor t</b>	<b>IC (Inf)</b>	<b>IC (Sup)</b>	<b>P&gt; t </b>
$a_{0,10,III}$	75,32236775	7,583932205	9,931835586	42,69134114	107,9533943	0,00999
$a_{1,10,III}$	-3999,15764	2356,376964	-1,69716378	-14137,8294	6139,514135	0,23176
<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P&gt;F</b>	
<b>Regressão</b>	194,17402	1	194,17402	2,88036	0,23176	
<b>Erro</b>	134,82598	2	67,412992			
<b>Total</b>	329	3				

$r^2$ : 0,5901945780.

Ao examinar a curva que caracteriza o teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio sob condição irrigada, observa-se um aumento nos teores ao longo dos diferentes dias após a emergência. A presença do manganês desempenha um papel importante no crescimento e desenvolvimento da cultura, com sua participação essencial na síntese de clorofila. Sua função primordial está relacionada à ativação de enzimas que são vitais para vários processos metabólicos das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

Um dos papéis mais documentados e distintivos do manganês em plantas verdes é a sua participação na reação de Hill, que corresponde ao processo de fotólise da água, culminando na produção de oxigênio ( $O_2$ ). Além dessa importante função, o manganês também desempenha um papel fundamental como cofator para várias enzimas-chave envolvidas na biossíntese de metabólitos secundários nas plantas (ANDRADE, ROSOLEM, 2011).

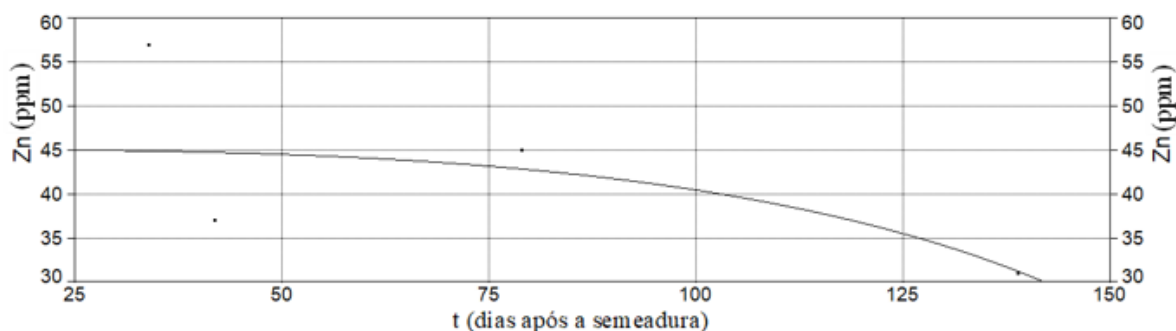
Apesar da leve variação nos teores de manganês ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, a constante presença desse micronutriente é importante para sustentar uma gama de processos metabólicos fundamentais, incluindo os processos de fotossíntese e a ativação de enzimas. Essa caracterização da curva reforça a importância do manganês para o bom funcionamento dos sistemas biológicos da soja e destaca sua contribuição para o desenvolvimento da planta.

#### 4.7.3.5 Teor de zinco

Para caracterização da variação temporal do teor de zinco ( $\tau_{11,III}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{11,III} = \sqrt{2031,559989 - 0,00039510 \cdot t^3} \quad (47)$$

em que  $a_{0,11,III}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,11,III}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 65.** Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 75.** Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,11,III}$	2031,559989	283,8489056	7,157188028	810,2567205	3252,863257	0,01897
$a_{1,11,III}$	-0,00039510	0,000164825	-2,39708961	-0,00110428	0,000314084	0,13872
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	167,96694	1	167,96694	1,59185	0,33428	
Erro	211,03306	2	105,51653			
Total	379	3				

$r^2$ : 0,4431845348.

A curva que representa o teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio sob condição irrigada, tem-se uma diminuição ao longo do ciclo. A presença desse micronutriente é caracterizada por teores relativamente baixos em comparação com os outros nutrientes previamente mencionados. Nesse sentido, a adubação desempenha uma

importante prática uma vez que a deficiência de micronutrientes como o zinco pode resultar em sérios prejuízos para a planta. Isso inclui a redução da taxa de crescimento vegetal, restrição da expansão das folhas, alongamento anormal do caule e inibição do crescimento das raízes (BERGMANN, 1992), o que conseqüentemente pode levar a uma redução na produtividade da cultura.

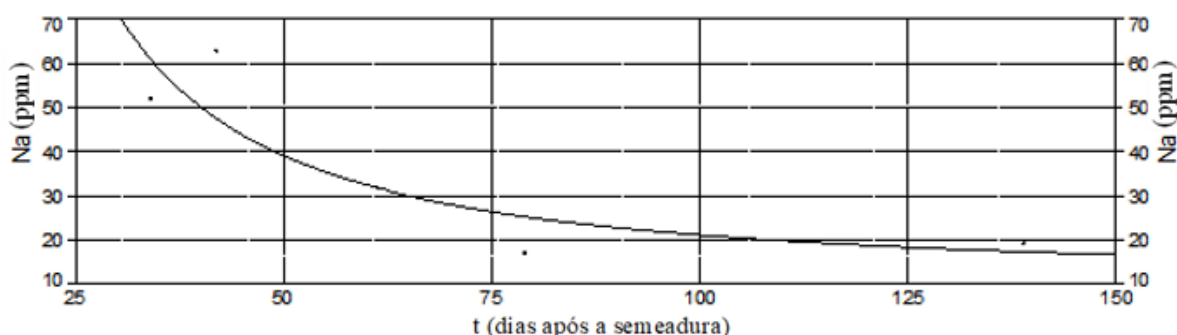
Estudos têm indicado que o zinco desempenha um papel importante na germinação das sementes, influenciando alterações bioquímicas nesse processo. Especificamente, o zinco tem sido identificado como um elemento que acelera o crescimento da radícula, a primeira estrutura que emerge da semente durante a germinação (SINGH, 2007). Além disso, pesquisas também têm demonstrado que o aumento das doses de zinco pode impactar positivamente alguns aspectos do desenvolvimento da cultura de soja, como o número de sementes por planta, o número de legumes por planta e o peso das sementes por planta (LEMES et al., 2017). Isso realça a importância do zinco não apenas para o crescimento inicial, mas também para a produtividade da cultura.

#### 4.7.3.6 Teor de sódio

Para caracterização da variação temporal do teor de sódio ( $\tau_{12,III}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento III):

$$\tau_{12,III} = 11,02580117 + \frac{9941,728425}{t^{1,5}} \quad (48)$$

em que  $a_{0,12,III}$  (ppm) e  $a_{1,12,III}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 66. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 76. Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

<b>Pm</b>	<b>Valor</b>	<b>Ep</b>	<b>Valor t</b>	<b>IC (Inf)</b>	<b>IC (Sup)</b>	<b>P&gt; t </b>
$a_{0,12,III}$	11,02580117	12,78551787	0,862366412	-43,9858422	66,03744452	0,47937
$a_{1,12,III}$	9941,728425	3977,032230	2,499785732	-7170,06016	27053,51701	0,12963
<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P&gt;F</b>	
<b>Regressão</b>	1229,305	1	1229,305	6,24893	0,12963	
<b>Erro</b>	393,44503	2	196,72251			
<b>Total</b>	1622,75	3				

$r^2$ : 0,7575442738.

O sódio é presente nos solos exclusivamente em estados combinados, sendo predominantemente encontrado na forma de sais. Embora seja adsorvido pelos minerais argilosos, sua fixação é menos intensa em comparação aos íons de potássio, tornando o sódio mais suscetível à lixiviação. Em áreas com alta precipitação, como climas tropicais e semitropicais, os solos frequentemente apresentam baixos teores de sódio devido ao arraste desses íons para camadas mais profundas do solo.

Dentro desse contexto, ao caracterizar a curva que descreve os teores de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio sob condição irrigada, podemos observar uma diminuição na curva no qual os teores são mais elevados no início do ciclo. Especificamente, registramos valores de 52 ppm aos 34 DAS e 63 ppm aos 42 DAS, com uma tendência a valores menores ao final do ciclo, com 17 ppm aos 79 DAS e 19 ppm aos 139 DAS.

#### **4.7.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)**

A Tabela 77 ilustra a composição (micronutrientes) da matéria seca total referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV).

**Tabela 77. Composição da matéria seca total: teor de micronutrientes e sódio (Na, ppm). Teor de boro (B, ppm), cobre (Cu, ppm), ferro (Fe, ppm), manganês (Mn, ppm) e zinco (Zn, ppm) em função do número de dias após a semeadura (DAS) e após a emergência (DAE). Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

DAS	DAE	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
34	24	27,6	10	251	72	56	27
42	32	38,8	10	129	61	39	21
79	69	52,8	16	66	69	45	17
129	119	43,8	9	237	135	45	15

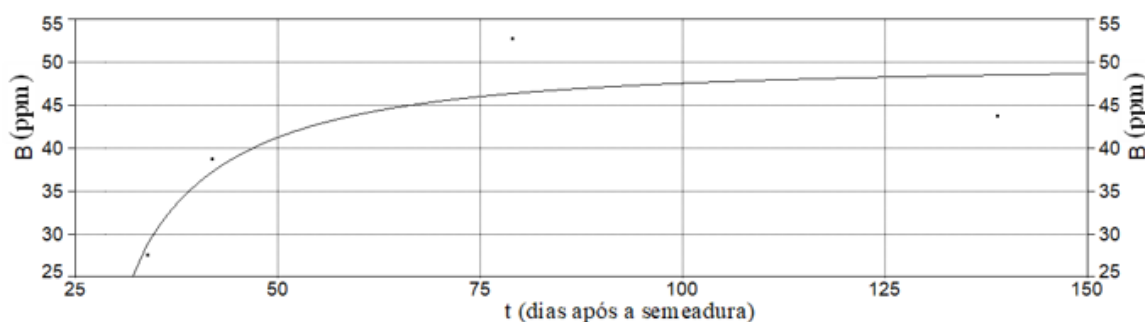
As Tabelas 78, 79, 80, 81, 82 e 83 ilustram a caracterização da variação temporal, respectivamente, do teor de boro (equação 120 e Figura 67), cobre (equação 121 e Figura 68), ferro (equação 122 e Figura 69), manganês (equação 123 e Figura 70), zinco (equação 124 e Figura 71) e sódio (equação 125 e Figura 72) da matéria seca total referente ao Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV).

#### 4.7.4.1 Teor de boro

Para caracterização da variação temporal do teor de boro ( $\tau_{7IV}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{7IV} = \sqrt{2452,225931 - \frac{1,8827 \cdot 10^6}{t^2}} \quad (49)$$

em que  $a_{0,7,IV}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,7,IV}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>2</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 67. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

**Tabela 78. Caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância (P>|t|). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	P> t
$a_{0,7,IV}$	2452,225931	212,7488753	11,52638728	1536,841402	3367,610460	0,00744
$a_{1,7,IV}$	$-1,8827 \cdot 10^6$	327392,8856	-5,75054232	$-3,2913 \cdot 10^6$	-474028,750	0,02893
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	263,88282	1	263,88282	7,83649	0,10743	
Erro	67,347181	2	33,673591			
Total	331,23	3				

$r^2$ : 0,7966754791.

O boro é absorvido pelas plantas como ácido bórico e borato, tanto via radicular como foliar. A caracterização da curva referente ao teor de boro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, segue contínua e gradual durante todo o ciclo da cultura.

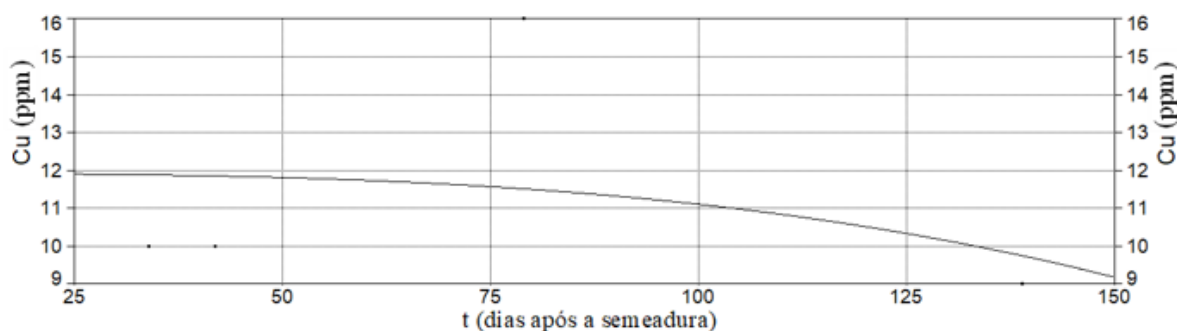
A adubação com boro na soja vem se tornando uma prática para a manutenção e produtividade dessa cultura, uma vez que esse micronutriente está envolvido com importantes processos fisiológicos das plantas, principalmente durante a floração e o desenvolvimento de sementes.

#### 4.7.4.2 Teor de cobre

Para caracterização da variação temporal do teor de cobre ( $\tau_{8,IV}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{8,IV} = 11,91530635 - 8,0838 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 \quad (50)$$

em que  $a_{0,8,IV}$  (ppm) e  $a_{1,8,IV}$  (ppm d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 68.** Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 79.** Caracterização da curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,8,IV}$	11,91530635	2,329190527	5,115642629	1,893608371	21,93700433	0,03615
$a_{1,8,IV}$	$-8,0838 \cdot 10^{-7}$	$1,70525 \cdot 10^6$	-0,47405351	$-8,1455 \cdot 10^6$	$6,52872 \cdot 10^6$	0,68217
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	3,1061554	1	3,1061554	0,224727	0,68217	
Erro	27,643845	2	13,821922			
Total	30,75	3				

$r^2$ : 0,1010131840.

Caracterizando a curva referente ao teor de cobre (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, percebe-se um aumento no teor com posterior queda ao final do ciclo da cultura. Esta queda ao final do ciclo pode estar relacionado a queda das atividades metabólicas da planta que, conseqüentemente, ocorre a senescência, ou seja, o processo de envelhecimento e a morte da planta.

Dessa maneira, em todo ciclo da cultura de soja observou a presença de teor de cobre, pois quando há deficiência de Cu na planta, as atividades das enzimas ficam drasticamente reduzidas. Um exemplo é da enzima plastocianina, que está envolvida no transporte de elétrons



durante reações na catalise de reação redox pelas mitocôndrias e cloroplastos, dependentes da luz na fotossíntese. O decréscimo do transporte fotossintético de elétrons, como consequência especialmente dos menores teores da plastocianina, uma proteína contendo Cu, diminui a taxa de fixação de CO<sub>2</sub>, de tal modo que o teor de amido e de carboidratos solúveis (especialmente sacarose) é diminuído (CAKMAK, 2000; KERBAUY, 2004).

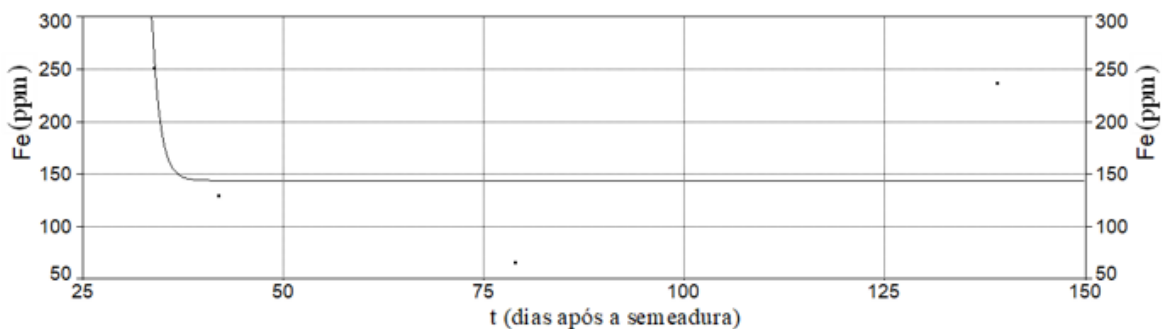
Este é o principal fator que causa a redução da produção de matéria seca em plantas que sofrem deficiência de Cu durante o crescimento vegetativo. Além disso, a falta de suprimento de carboidratos para os nódulos das fabáceas, como a soja causa crescimento restrito e deficiência de N na planta hospedeira, efeito indireto da deficiência de Cu. Sendo que a deficiência de Cu afeta grãos, sementes e a formação dos frutos mais do que o crescimento vegetativo (CAKMAK, 2000; KERBAUY, 2004).

#### 4.7.4.3 Teor de ferro

Para caracterização da variação temporal do teor de ferro ( $\tau_{9,IV}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{9,IV} = 143,9897148 + 6,24335 \cdot 10^{16} \cdot e^{-t} \quad (51)$$

em que  $a_{0,9,IV}$  (ppm) e  $a_{1,9,IV}$  (ppm  $\frac{e}{d}$ ) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 69.** Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Além de sua presença na matéria orgânica, a coloração dos solos é diretamente influenciada pela quantidade de ferro presente em formas de óxidos, como a hematita (que confere uma coloração avermelhada) e a goethita (que resulta em coloração amarelada). Apesar de ser necessário em quantidades relativamente pequenas para as plantas, o ferro desempenha

um papel fundamental em várias funções essenciais. Embora sua quantidade seja pequena, sua influência é significativa para o funcionamento básico das plantas. No entanto, sua mobilidade nos tecidos vegetais é limitada, o que significa que deficiências tendem a ser mais aparentes nas folhas mais jovens, especialmente na parte superior da planta.

**Tabela 80. Caracterização da curva referente ao teor de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,9,IV}$	143,9897148	49,93733407	2,883408124	-70,8732920	358,8527215	0,10218
$a_{1,9,IV}$	$6,24335 \cdot 10^{16}$	$5,8273 \cdot 10^{16}$	1,071395307	$-1,883 \cdot 10^{17}$	$3,13162 \cdot 10^{17}$	0,39613
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	8585,6722	1	8585,6722	1,14789	0,39613	
Erro	14959,078	2	7479,5389			
Total	23544,75	3				

$r^2$ : 0,3646533609.

Ao caracterizar a curva que descreve os teores de ferro (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, é possível observar um teor mais elevado de ferro no início do ciclo. Especificamente, foram registrados 251 ppm aos 34 dias após a semeadura, seguidos por quedas nos teores para 129 ppm aos 42 DAS e 66 ppm aos 79 DAS. No final do ciclo da cultura, o teor de ferro apresentou um aumento para 237 ppm aos 139 DAS.

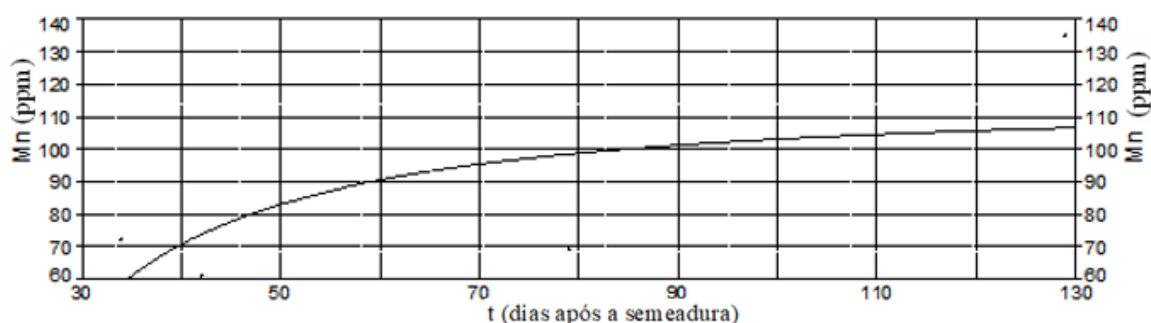
Esse padrão pode ser associado à importância do ferro no desenvolvimento inicial das plantas, incluindo a formação de enzimas e proteínas essenciais para crescimento da planta. No entanto, as flutuações nos teores de ferro também podem refletir a disponibilidade desse micronutriente no solo ao longo do ciclo da cultura, bem como suas interações com outros elementos do ambiente de cultivo.

#### 4.7.4.4 Teor de manganês

Para caracterização da variação temporal do teor de manganês ( $\tau_{10IV}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{10IV} = 114,1821767 - \frac{11060,749}{t^{1,5}} \quad (52)$$

em que  $a_{0,10,IV}$  (ppm) e  $a_{1,10,IV}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 70.** Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 81.** Caracterização da curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,10,IV}$	114,1821767	29,30722934	3,896041329	-11,9166536	240,2810071	0,06001
$a_{1,10,IV}$	-11060,7490	9105,946393	-1,21467320	-50240,4741	28118,97609	0,34844
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	1485,3306	1	1485,3306	1,47543	0,34844	
Erro	2013,4194	2	1006,7097			
Total	3498,75	3				

$r^2$ : 0,4245318022.

O manganês é absorvido pelas raízes na forma de  $Mn^{2+}$  e se acumula em diferentes compartimentos do apoplasto e simplasto em três frações distintas. A forma trocável está associada ao apoplasto e está adsorvida às cargas negativas presentes na matriz péctica da

parede celular. A forma lábil é relacionada ao Mn presente no citoplasma, enquanto a forma não-lábil corresponde ao Mn armazenado nos vacúolos (WANG, 2003).

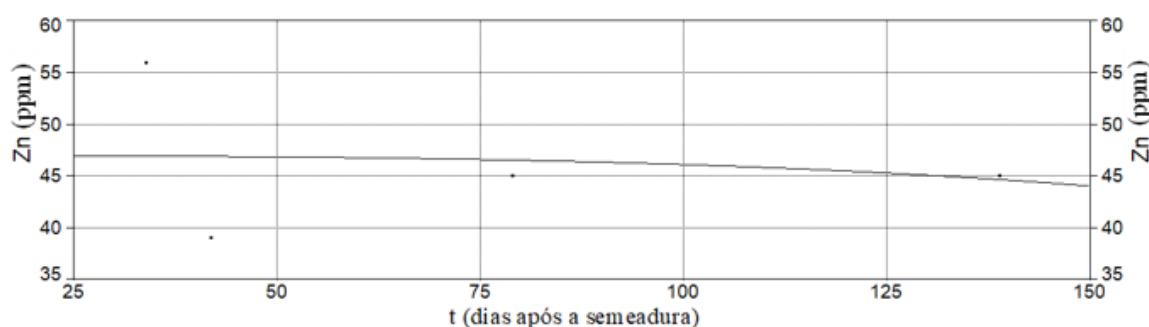
Nesse contexto, ao caracterizar a curva referente ao teor de manganês (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, observa-se um aumento nos valores com uma tendência de maior teor ao final do ciclo. Em um estudo que explorou os mecanismos de tolerância ao manganês em plantas de soja, foi observado que a planta é capaz de absorver quantidades consideráveis de Mn sem que isso prejudique seu crescimento, uma vez que o manganês desempenha funções fundamentais para o desenvolvimento eficaz da cultura. No entanto, a planta regula a absorção radicular, evitando o transporte em longas distâncias (LAVRES JR et al., 2008). Esse fenômeno pode explicar a maior presença de teores de Mn nas folhas ao final do ciclo da cultura de soja.

#### 4.7.4.5 Teor de zinco

Para caracterização da variação temporal do teor de zinco ( $\tau_{11,IV}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{11,IV} = \sqrt{2204,683152 - 7,8655 \cdot 10^{-5} \cdot t^3} \quad (53)$$

em que  $a_{0,11,IV}$  (ppm<sup>2</sup>) e  $a_{1,11,IV}$  (ppm<sup>2</sup> d<sup>-3</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 71. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Nos solos do Cerrado, a disponibilidade de zinco é geralmente baixa. Embora as plantas exijam esse micronutriente em quantidades relativamente pequenas, sua absorção ocorre na

forma de  $Zn^{2+}$ . A maior parte, que varia de 33% a 60%, é absorvida por difusão, enquanto de 20% a 33% é absorvida através do fluxo de massa e da interceptação radicular. Tanto no solo quanto nas plantas, o zinco é pouco móvel (MACHADO, 2022). Apesar da exigência modesta em termos quantitativos, a disponibilidade adequada de zinco é essencial para o desenvolvimento das plantas.

Portanto, na análise da curva que descreve o teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, foram obtidos teores baixos e consistentes nas análises foliares realizadas. A soja é classificada como uma cultura de resposta moderada ao zinco (MALAVOLTA; KLIEMANN, 1985). Além disso, a acumulação desse micronutriente na soja é gradual nos primeiros 30 dias após a semeadura, atingindo seu teor máximo entre 60 e 90 dias. Isso sugere que diferentes respostas da cultura podem ocorrer com a aplicação de zinco em diferentes estádios de desenvolvimento (BATAGLIA; MASCARENHAS, 1977).

**Tabela 82. Caracterização da curva referente ao teor de zinco (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P>|t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P> t $
$a_{0,11,IV}$	2204,683152	502,9485687	4,383516107	40,67011965	4368,696184	0,04830
$a_{1,11,IV}$	$-7,8655 \cdot 10^{-5}$	0,000356168	-0,22083583	-0,00161112	0,001453811	0,84572
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	3,5477431	1	3,5477431	0,0482023	0,84659	
Erro	147,20226	2	73,601128			
Total	150,75	3				

$r^2$ : 0,0235339511.

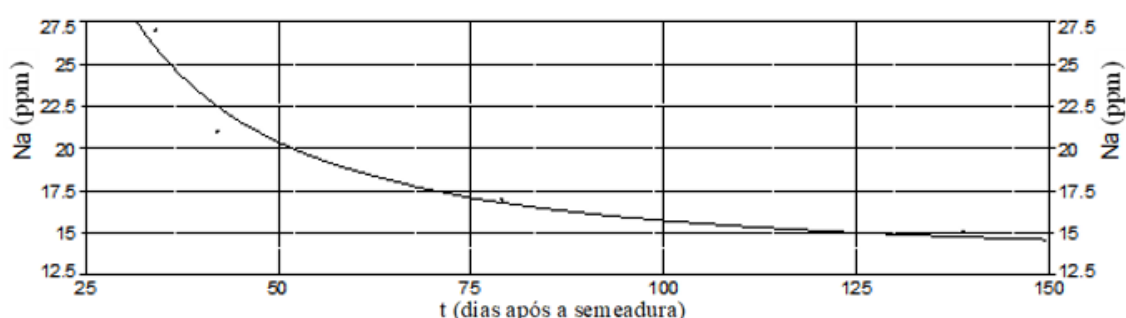
Estudos têm indicado que a soja pode responder positivamente à adubação com zinco. A aplicação tanto na forma de tratamento de sementes quanto como adubação foliar de zinco e cobre resultou em um melhor desenvolvimento e maior produtividade de soja (GARCIA, SILVA, SECCO, 2009). Além disso, foi observado um aumento na produtividade de soja com a aplicação de zinco, mesmo em solos com teores desse micronutriente acima do nível crítico (INOCÊNCIO et al., 2012). Isso demonstra a importância de considerar a disponibilidade de zinco para otimizar o desenvolvimento e a produção da cultura de soja.

#### 4.7.4.6 Teor de sódio

Para caracterização da variação temporal do teor de sódio ( $\tau_{12,IV}$ , ppm) na matéria seca total, foi utilizado o seguinte modelo (Experimento IV):

$$\tau_{12,IV} = 13,15769034 + \frac{2545,42278}{t^{1,5}} \quad (54)$$

em que  $a_{0,12,IV}$  (ppm) e  $a_{1,12,IV}$  (ppm d<sup>1,5</sup>) (d - dias após a semeadura) se referem aos parâmetros empíricos do modelo determinados por análise de regressão não linear.



**Figura 72.** Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

**Tabela 83.** Caracterização da curva referente ao teor de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Parâmetros empíricos do modelo (Pm). Erro padrão (Ep). Valor t. Intervalo de confiança (IC - 95%): valor inferior (Inf) e superior (Sup). Nível de significância ( $P > |t|$ ). Análise de variância (ANOVA): Fonte de Variação (FV). Soma de Quadrados (SQ) da Regressão, do Erro e Total. Graus de Liberdade (GL). Quadrado Médio (QM). Valor F. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

Pm	Valor	Ep	Valor t	IC (Inf)	IC (Sup)	$P >  t $
$a_{0,12,IV}$	13,15769034	1,191116037	11,04652269	8,032731666	18,28264901	0,00810
$a_{1,12,IV}$	2545,422780	370,5056706	6,870131775	951,2655454	4139,580015	0,02054
ANOVA						
FV	SQ	GL	QM	F	P>F	
Regressão	80,585276	1	80,585276	47,1987	0,02054	
Erro	3,4147236	2	1,7073618			
Total	84	3				

$r^2$ : 0,9593485281.

O sódio não é considerado um nutriente para a maioria das espécies vegetais, incluindo a soja. No entanto, ele é considerado benéfico, o que significa que as plantas podem sobreviver sem esse nutriente, mas sua presença pode ter impactos positivos no crescimento e na produção. Uma das funções do sódio é regular a pressão osmótica nas células das plantas, o que resulta em uma utilização mais eficiente da água.

Assim, ao analisar a caracterização da curva que descreve os teores de sódio (ppm) na matéria seca total da cultura de soja, em cultivar tardio em sistema de sequeiro, é possível observar que os valores de teor são baixos ao longo de todo o ciclo. Além disso, uma característica notável é a diminuição dos teores de sódio conforme o aumento dos dias após a semeadura.

Essa tendência de teores mais baixos de sódio está alinhada com a natureza não essencial desse nutriente para a soja. A planta parece não demandar altos níveis de sódio para seu desenvolvimento, e sua presença em quantidades controladas parece ser suficiente para atender às funções benéficas que o sódio desempenha.

## 4.8 Caracterização da variação temporal da extração de macronutrientes essenciais

### 4.8.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da extração de nutrientes ( $N_{iI}$ , kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{iI} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I) (Figura 73), tem-se que [extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 126, fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 127, potássio (K, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 128, cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 129, magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 130, e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 131]:

$$N_{1I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{30,57827079 - 1,0699 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}}{100} \quad (126)$$

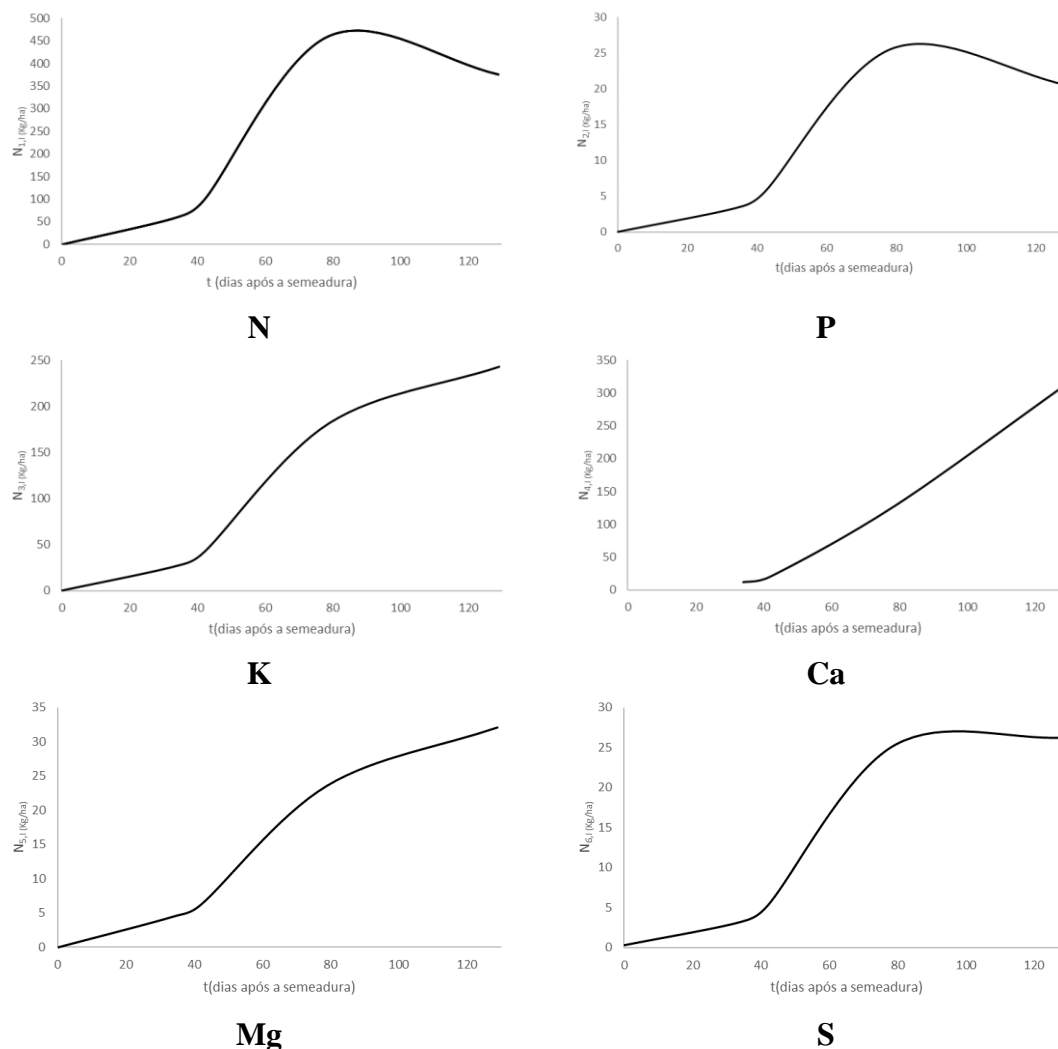
$$N_{2I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,094565127 - 3,3576 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (127)$$

$$N_{3I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{1,544172247 + 43,18453684 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100} \quad (128)$$

$$N_{4I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{0,050383082 + 0,0000467809 \cdot t^2}) \quad (129)$$

$$N_{5I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,222015493 + \frac{219,0551999}{t^2} \right) \quad (130)$$

$$N_{6I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,087333987 - 2,3477 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (131)$$



**Figura 73. Caracterização da curva da extração ( $N_{i,I}$ , kg ha<sup>-1</sup>) de nutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ). Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{1,I}$ ), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{2,I}$ ), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{3,I}$ ), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{4,I}$ ), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{5,I}$ ) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{6,I}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

O cálculo utilizado para determinar a extração de macronutrientes em kg ha<sup>-1</sup> pela planta, baseou-se na multiplicação do teor de cada nutriente pelo total de matéria seca da cultura de soja, em dias após a semeadura ( $N_{i,I}$ , kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{i,I} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ).

Ao analisarmos a caracterização da curva da extração ( $N_{i,I}$ , kg ha<sup>-1</sup>) de nutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ), em cultivar precoce sob



condição irrigada, é evidente que os macronutrientes N, K e Ca são extraídos em quantidades substancialmente maiores ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em comparação com os demais macronutrientes, como P, Mg e S.

O nitrogênio, por exemplo, atinge sua máxima extração em torno de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 79 DAS que corresponde ao período de enchimento dos grãos. Isso caracteriza o macronutriente mais requerido pela cultura de soja. Em seguida, o Ca é extraído em quantidades significativas, atingindo cerca de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 129 DAS, enquanto o K alcança aproximadamente  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  também aos 129 DAS.

Por outro lado, os outros macronutrientes alcançam seus picos máximos de extração durante o período que vai desde o florescimento até o enchimento dos grãos, com valores de extração de cerca de  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 79 DAS para P,  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 129 DAS para o S e  $32 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 129 DAS para o Mg.

#### 4.8.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da extração de nutrientes ( $N_{iII}$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$  -  $N_{iII} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II) (Figura 74), tem-se que [Extração de nitrogênio (N,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) - equação 132, fósforo (P,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) - equação 133, potássio (K,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) - equação 134, cálcio (Ca,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) - equação 135, magnésio (Mg,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) - equação 136, e enxofre (S,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) - equação 137]:

$$N_{1II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{27,14859370 - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}}{100} \quad (132)$$

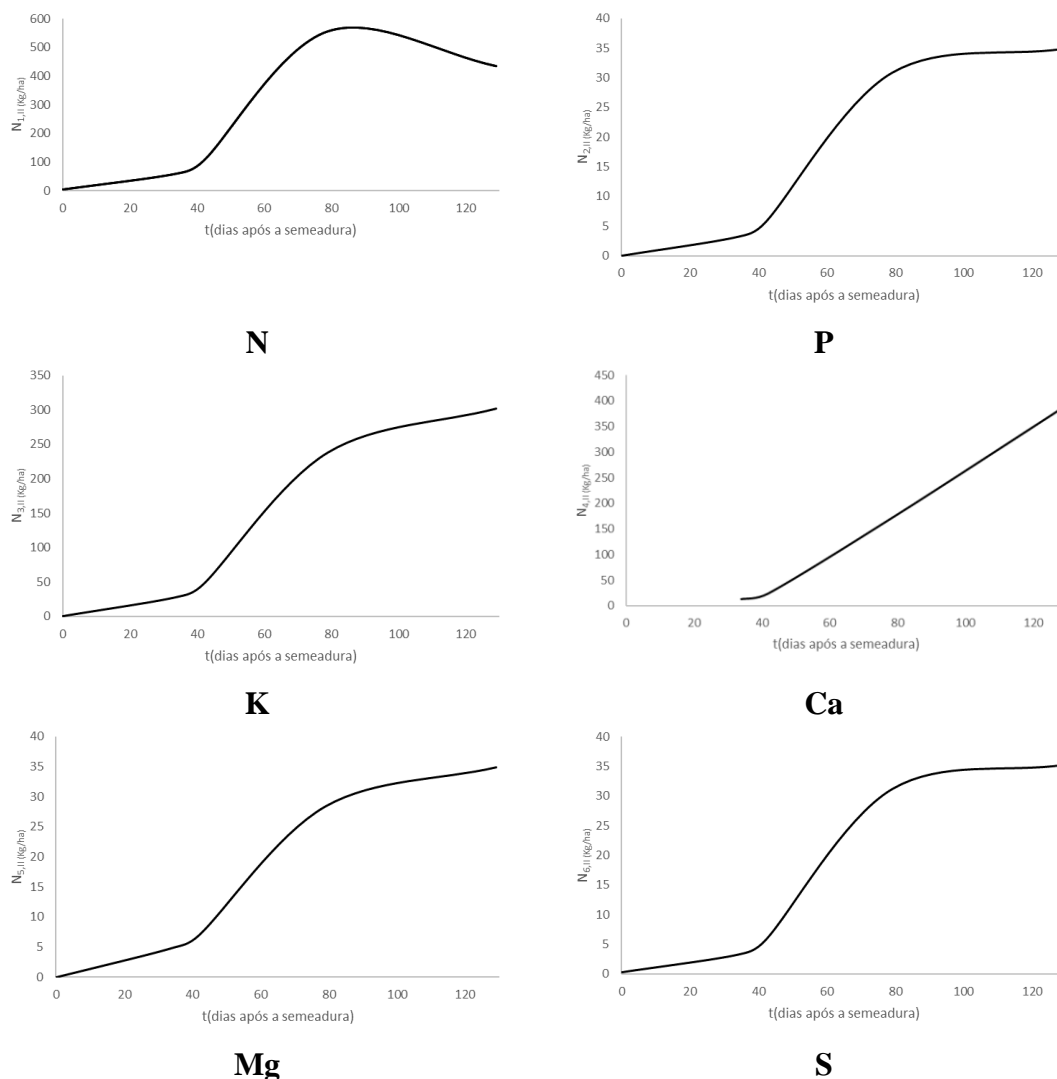
$$N_{2II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,075798163 - 1,3271 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (133)$$

$$N_{3II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{2,288078329 + 33,62325525 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100} \quad (134)$$

$$N_{4II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{0,107667342 + 0,0000466496 \cdot t^2}) \quad (135)$$

$$N_{5II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,202214708 + \frac{248,8343405}{t^2} \right) \quad (136)$$

$$N_{6II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,077391751 - 1,3587 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (137)$$



**Figura 74. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>1,t</sub>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>2,t</sub>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>3,t</sub>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>4,t</sub>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>5,t</sub>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>6,t</sub>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

A caracterização da curva da extração (kg ha<sup>-1</sup>) de macronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura (t), em cultivar precoce em sistema de sequeiro. Nota-se o aumento gradual dessas curvas, à medida que a planta transita do estágio vegetativo para o reprodutivo, especialmente durante o período de enchimento e formação dos grãos.

Portanto, o nutriente mais extraído e requerido pela planta é o nitrogênio, onde a principal fonte de N da soja brasileira vem da atmosfera, não do solo. Cerca de 80% dos gases que compõem a atmosfera são moléculas de nitrogênio (N<sub>2</sub>) e a fixação desse nitrogênio pela

associação de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* com as raízes da soja, transforma o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pela soja, em troca de abrigo, nutrientes e compostos fotoassimilados que as bactérias precisam para sobreviver. É um processo denominado de simbiose (DALL'AGNOL; NOGUEIRA, 2021).

Em seguida, o potássio e o cálcio são os nutrientes mais extraídos. O K sendo o macronutriente exigido em grandes quantidades pela soja, sendo esta exigência inferior apenas à do nitrogênio em termos de absorção e exportação pelos grãos (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2014). Enquanto ao cálcio também considerado um macronutriente para o crescimento e desenvolvimento vegetal, exercendo funções bioquímicas na planta, como atuar na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico (MALAVOLTA, 1976).

Além disso, o fósforo, enxofre e magnésio são os demais macronutrientes para o crescimento e desenvolvimento da planta. O fósforo sendo necessário nos processos da fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão celular e crescimento das células (PROCEDI, 2019). Assim como o enxofre fazendo parte de elementos estruturais e metabólicos, que estão relacionados a processos de respiração, de crescimento, síntese de proteínas, mecanismos de resposta a estresses oxidativos e resistência ao frio. Por fim, o Magnésio presente nas folhas dos vegetais envolvido também na síntese das proteínas, importante para a cultura de soja, cujos grãos acumulam cerca de 40% de proteínas (DALL'AGNOL; NOGUEIRA, 2021).

Esses dados evidenciam a complexa interação entre a cultura de soja e a absorção de diferentes macronutrientes ao longo de seu ciclo de crescimento, demonstrando a importância desses elementos para o sucesso da produção de soja.

#### 4.8.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da extração de nutrientes ( $N_{i_{III}}$ , kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{i_{III}} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) (Figura 75), tem-se que [Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> - equação 138, fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 139, potássio (K, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 140, cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 141, magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 142, e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 143]:

$$N_{1_{III}} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{31,58383448 - 9,323 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}}{100} \quad (138)$$

$$N_{2_{III}} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,086466292 - 1,4468 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (139)$$

$$N_{3III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{4,986875754 + 23,02330232 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100} \quad (140)$$

$$N_{4III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{0,020302571+0,0000502034 \cdot t^2}) \quad (141)$$

$$N_{5III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,274705719 + \frac{171,0392633}{t^2} \right) \quad (142)$$

$$N_{6III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,074452748 - 1,2104 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (143)$$

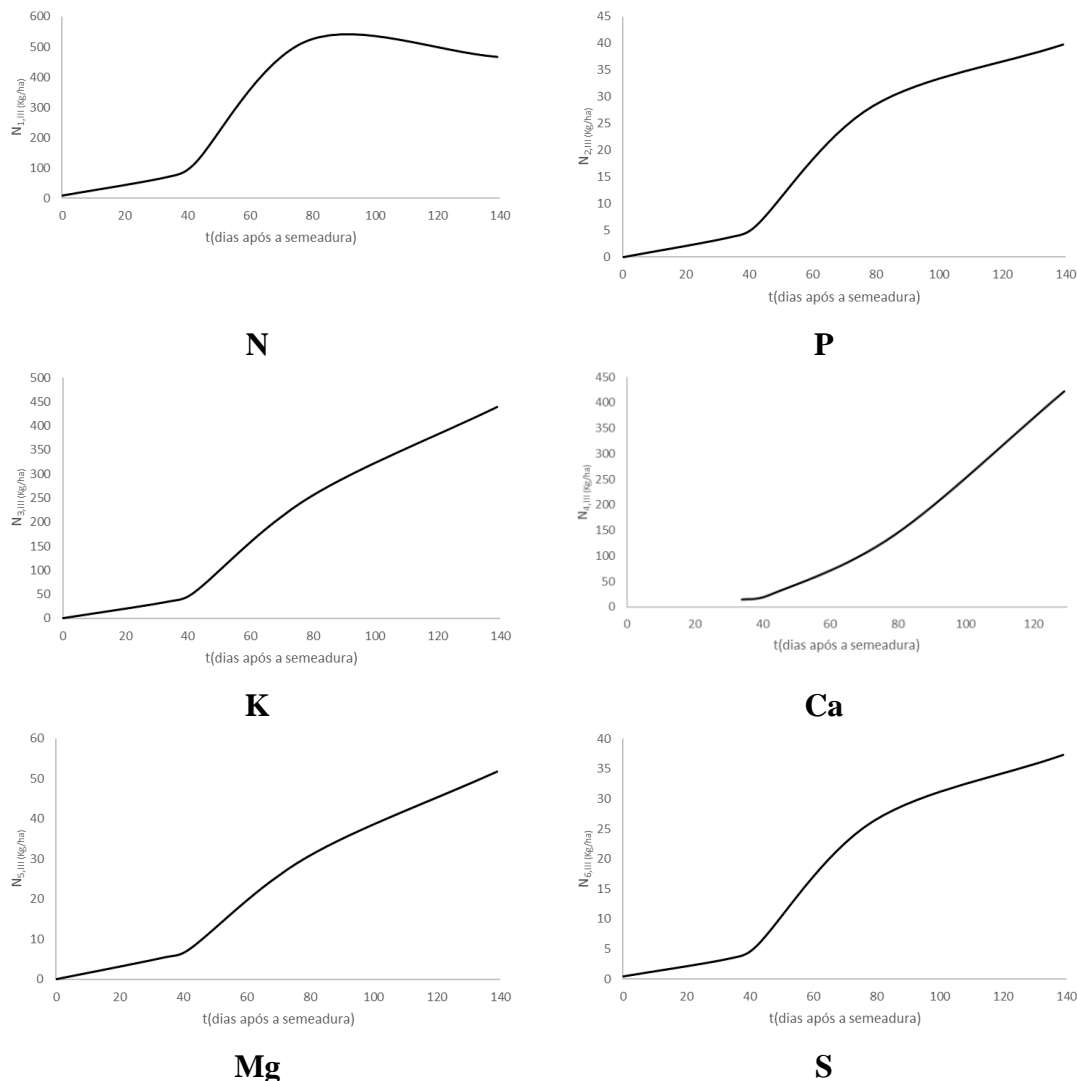
A caracterização da curva da extração ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de macronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ), em cultivar tardio sob condição irrigada. Observa-se novamente N, K e Ca são extraídos em quantidades maiores em comparação com P, S e Mg.

Na curva de extração do nitrogênio, observamos um aumento gradual desse nutriente, com valores de  $72 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 34 DAS,  $112 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 42 DAS, atingindo seu pico máximo aos 79 DAS, com  $522 \text{ kg ha}^{-1}$ , e encerrando o ciclo com uma extração total de  $467 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Para o potássio, a curva também apresenta um aumento contínuo ao longo do ciclo da cultura, começando com  $35 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 34 DAS, aumentando para  $53 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 42 DAS, atingindo  $252 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 79 DAS e chegando a  $439 \text{ kg ha}^{-1}$  no final do ciclo.

A curva de extração do cálcio segue um padrão semelhante de aumento contínuo ao longo do ciclo da soja, começando com  $14 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 34 DAS, subindo para  $22 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 42 DAS, atingindo  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 79 DAS e finalizando com  $422 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Em relação aos macronutrientes com menor extração, como fósforo, enxofre e magnésio, suas curvas de extração também mostram um aumento gradual e contínuo ao longo do ciclo da cultura de soja. Para o fósforo, os valores são de  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 34 DAS,  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 42 DAS,  $28 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 79 DAS e  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 139 DAS. O enxofre obtém  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 34 DAS,  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 42 DAS,  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 79 DAS e  $37 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 139 DAS. Por fim, o magnésio é extraído em quantidades de  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 34 DAS,  $7 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 42 DAS,  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 79 DAS e  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 139 DAS.



**Figura 75. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>1,III</sub>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>2,III</sub>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>3,III</sub>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>4,III</sub>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>5,III</sub>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> - N<sub>6,III</sub>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.8.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da extração de nutrientes ( $N_{iIV}$ , kg ha<sup>-1</sup> -  $N_{iIV} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) (Figura 76), tem-se que [Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 144, fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 145, potássio (K, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 146, cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 147, magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 148, e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup>) - equação 149]:

$$N_{1IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{29,94873613 - 8,9117 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}}{100} \quad (144)$$

$$N_{2IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,092188784 - 1,8133 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (145)$$

$$N_{3IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{3,245032902 + 58,71236815 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100} \quad (146)$$

$$N_{4IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{-0,07984958+0,000071047 \cdot t^2}) \quad (147)$$

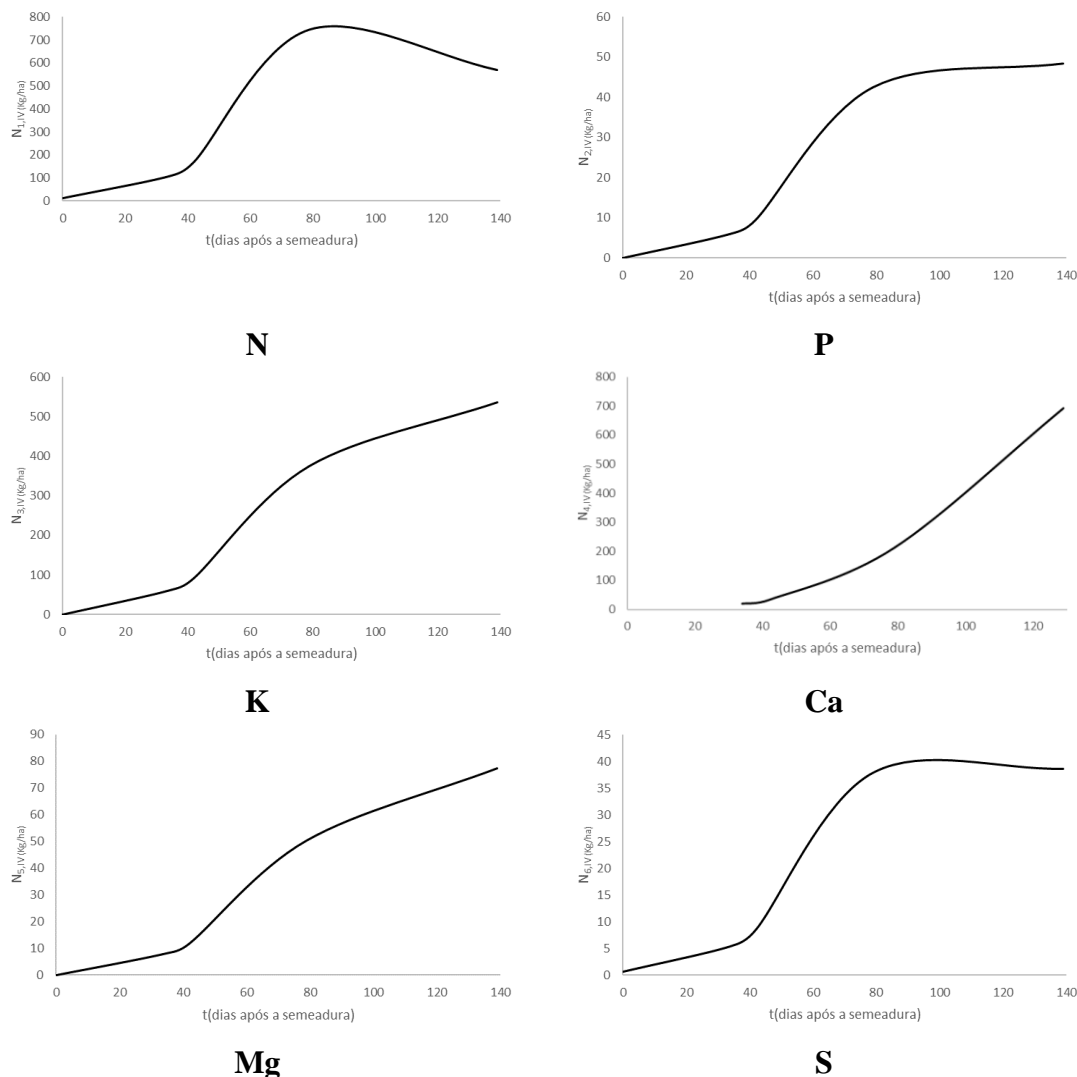
$$N_{5IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,328806135 + \frac{81,98353689}{t^2} \right) \quad (148)$$

$$N_{6IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,075014630 - 1,7607 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100} \quad (149)$$

Em cultivar tardio em sistema de sequeiro, a caracterização da curva da extração (kg ha<sup>-1</sup>) dos nutrientes em função do número de dias após a semeadura segue um padrão semelhante aos experimentos anteriores, com a extração mais significativa dos nutrientes N, K e Ca em comparação com P, S e Mg.

Durante o ciclo de aproximadamente 140 dias, observaram-se as quantidades máximas de extração desses nutrientes: 745 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 536 kg ha<sup>-1</sup> de potássio e 692 kg ha<sup>-1</sup> de cálcio. Por outro lado, os nutrientes P, S e Mg apresentaram quantidades menores de extração, com 48 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, 39 kg ha<sup>-1</sup> de enxofre e 77 kg ha<sup>-1</sup> de magnésio no máximo.

Quanto às quantidades mínimas de extração ao longo do ciclo, foram registradas em 108 kg ha<sup>-1</sup> [N], 61 kg ha<sup>-1</sup> [K], 20 kg ha<sup>-1</sup> [Ca], 6 kg ha<sup>-1</sup> [P], 5 kg ha<sup>-1</sup> [S] e 8 kg ha<sup>-1</sup> [Mg].



**Figura 76. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Extração de nitrogênio (N,  $\text{kg ha}^{-1}$  -  $N_{1,IV}$ ), fósforo (P,  $\text{kg ha}^{-1}$  -  $N_{2,IV}$ ), potássio (K,  $\text{kg ha}^{-1}$  -  $N_{3,IV}$ ), cálcio (Ca,  $\text{kg ha}^{-1}$  -  $N_{4,IV}$ ), magnésio (Mg,  $\text{kg ha}^{-1}$  -  $N_{5,IV}$ ) e enxofre (S,  $\text{kg ha}^{-1}$  -  $N_{6,IV}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.9 Caracterização da variação temporal da extração de micronutrientes essenciais

##### 4.9.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da extração de micronutrientes ( $N_{i_j}$ ,  $\text{g ha}^{-1}$  -  $N_{i_j} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I) (Figura 77), tem-se que [Extração de boro (B,  $\text{g ha}^{-1}$ ) - equação 150, cobre (Cu,  $\text{g ha}^{-1}$ ) - equação 151, ferro (Fe,  $\text{g ha}^{-1}$ ) - equação 152, manganês (Mn,  $\text{g ha}^{-1}$ ) - equação 153, zinco (Zn,  $\text{g ha}^{-1}$ ) - equação 154, e sódio (Na,  $\text{g ha}^{-1}$ ) - equação 155]:

$$N_{7I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{1683,512009 - \frac{783020,568}{t^2}}}{1000} \right) \quad (150)$$

$$N_{8I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \left( \frac{13,03874073 - 1,5092 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}{1000} \right) \quad (151)$$

$$N_{9I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \left( \frac{199,3005334 + 1,49198 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t}}{1000} \right) \quad (152)$$

$$N_{10I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 68,22734201 - \frac{4703,09717}{t^{1,5}} \right) \quad (153)$$

$$N_{11I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2596,132522 - 0,00088215 \cdot t^3}}{1000} \right) \quad (154)$$

$$N_{12I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( -0,71773733 + \frac{15970,123}{t^{1,5}} \right) \quad (155)$$

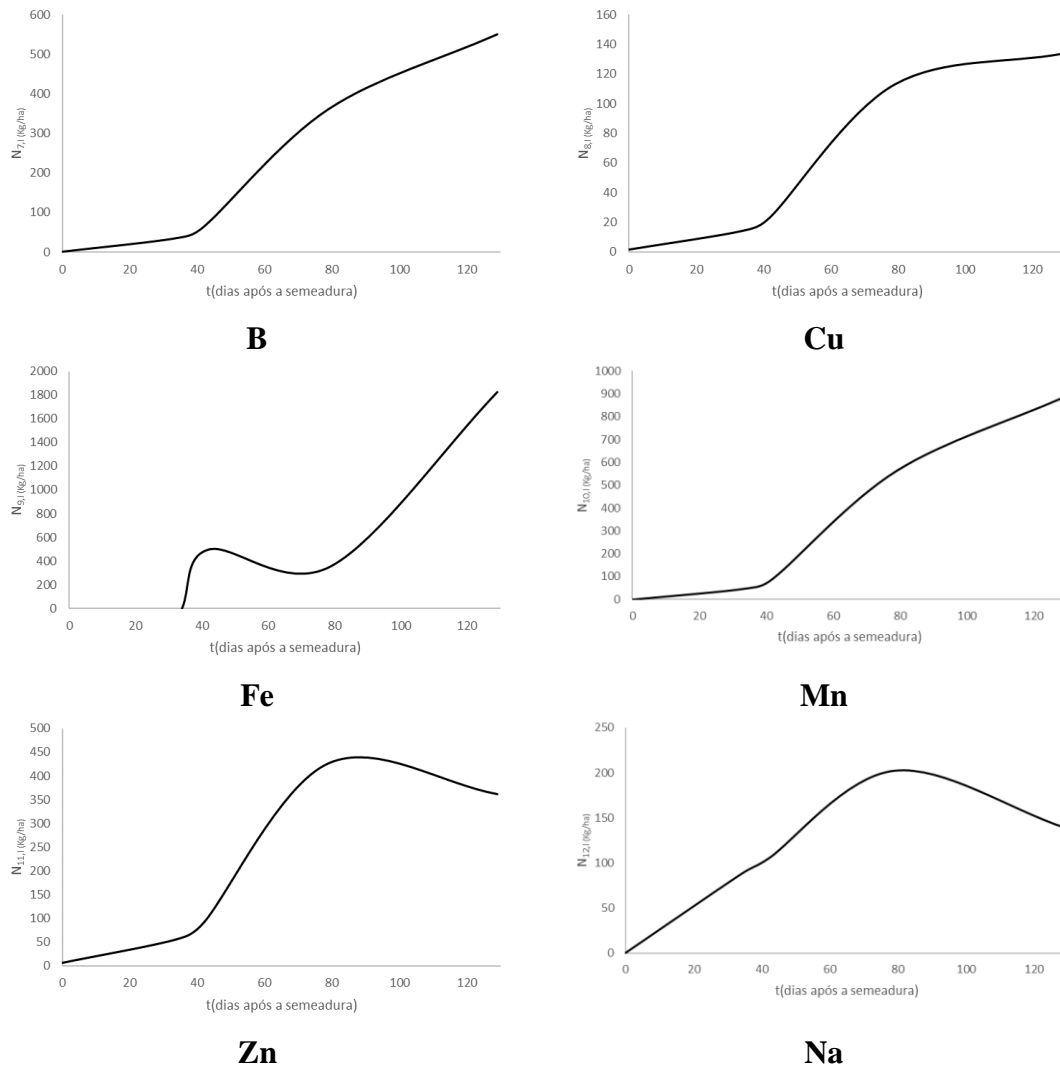
O cálculo realizado para se saber a extração de micronutrientes em  $\text{g ha}^{-1}$  pela planta, foi o teor referente de cada nutriente vezes a matéria seca total da cultura de soja, em dias após a semeadura ( $N_{iI}$ ,  $\text{g ha}^{-1}$  -  $N_{iI} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ).

Sendo assim, observa-se na caracterização da curva da extração ( $N_{iI}$ ,  $\text{g ha}^{-1}$ ) de nutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ), em cultivar precoce sob condição irrigada os micronutriente Fe, Mn e B são extraídos em maiores quantidades ( $\text{g ha}^{-1}$ ) em relação aos demais micronutrientes Zn, Cu e Na (não essencial).

Portanto, ao Fe nota-se a maior extração por volta de  $2717 \text{ g ha}^{-1}$  até ao final do seu ciclo, se caracteriza o micronutriente bastante requerido pela cultura de soja, devido estar envolvido na síntese de proteína, da clorofila e é necessário na divisão celular. Em seguida, Mn com extração de  $886 \text{ g ha}^{-1}$  e B com  $551 \text{ g ha}^{-1}$ .

Os outros micronutrientes, como Zn, Cu e Na, são extraídos em quantidades menores, atingindo até  $426 \text{ g ha}^{-1}$  de Zn,  $134 \text{ g ha}^{-1}$  de Cu e  $202 \text{ g ha}^{-1}$  de Na.





**Figura 77. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.9.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da extração de micronutrientes ( $N_{i,II}$ , g ha<sup>-1</sup> -  $N_{i,II} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II) (Figura 78), tem-se que [Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>) - equação 156, cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>) - equação 157, ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>) - equação 158, manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>) - equação 159, zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) - equação 160, e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>) - equação 161]:

$$N_{7,II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{1575,1574 - \frac{1051292,2}{t^2}}}{1000} \right) \quad (156)$$

$$N_{8II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \left( \frac{12,15614032 - 9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^3}{1000} \right) \quad (157)$$

$$N_{9II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \left( \frac{173,9925117 + 6,12604 \cdot 10^{16} \cdot e^{-t}}{1000} \right) \quad (158)$$

$$N_{10II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 80,22978056 - \frac{5165,90709}{t^{1,5}} \right) \quad (159)$$

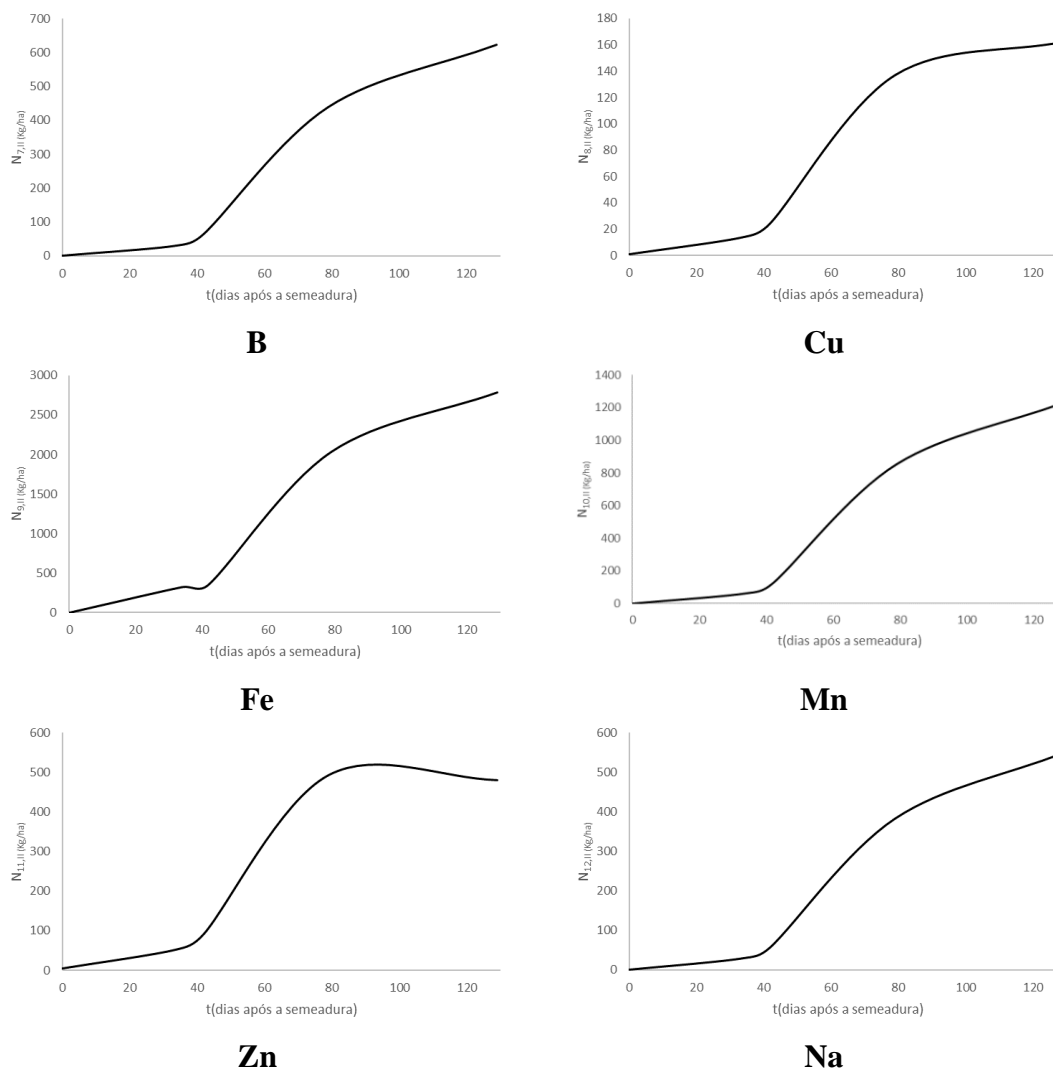
$$N_{11II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2030,602251 - 0,00052849 \cdot t^3}}{1000} \right) \quad (160)$$

$$N_{12II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 35,67322585 - \frac{2096,41042}{t^{1,5}} \right) \quad (161)$$

A caracterização da curva da extração ( $\text{g ha}^{-1}$ ) de micronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ), em cultivar precoce em sistema de sequeiro. Nota-se no geral, exceto ao Zn, o aumento gradativo das curvas da extração no período vegetativo, reprodutivo até ao final do ciclo, ou seja, a partir do crescimento e desenvolvimento da cultura ao período de enchimento e formação dos grãos.

Nesse contexto, podemos identificar a ordem de extração dos nutrientes pela planta em termos crescentes de quantidade extraída em  $\text{g ha}^{-1}$  da seguinte forma: Fe, Mn, B, Na (não essencial), Zn e Cu. O ferro (Fe) se destaca como o micronutriente mais extraído e fundamental para o desenvolvimento da soja, seguido pelo manganês (Mn) e boro (B). O sódio (Na), embora não seja essencial, também é extraído em quantidades significativas. Por outro lado, zinco (Zn) e cobre (Cu) são extraídos em quantidades relativamente menores pela planta.

Esse padrão de extração ressalta a importância de práticas de manejo para fornecer quantidades adequadas de ferro, manganês e boro para promover o desenvolvimento da cultura de soja.



**Figura 78. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.9.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da extração de micronutrientes ( $N_{i,III}$ , g ha<sup>-1</sup> -  $N_{i,III} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) (Figura 79), tem-se que [Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>) - equação 162, cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>) - equação 163, ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>) - equação 164, manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>) - equação 165, zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) - equação 166, e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>) - equação 167]:

$$N_{7,III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2052,678559 - \frac{1,5759 \cdot 10^6}{t^2}}}{1000} \right) \quad (162)$$

$$N_{8III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{12,37956537 - 1,0687 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}{1000} \right) \quad (163)$$

$$N_{9III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{152,6345050 + 1,82248 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t}}{1000} \right) \quad (164)$$

$$N_{10III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 75,32236775 - \frac{3999,15764}{t^{1,5}} \right) \quad (165)$$

$$N_{11III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2031,559989 - 0,00039510 \cdot t^3}}{1000} \right) \quad (166)$$

$$N_{12III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 11,02580117 + \frac{9941,728425}{t^{1,5}} \right) \quad (167)$$

A caracterização da curva da extração ( $\text{g ha}^{-1}$ ) de micronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ), em cultivar tardio sob condição irrigada. Observa-se um padrão consistente onde os nutrientes ferro (Fe), manganês (Mn) e boro (B) são extraídos em quantidades maiores em comparação com os micronutrientes zinco (Zn), sódio (Na, não essencial) e cobre (Cu).

Ao analisar a curva de extração de Fe, tem-se uma extração do nutriente de 597 e 307  $\text{g ha}^{-1}$  aos 34 e 42 DAS, seguido de aumento gradativo da curva de extração, obtendo aos 79 DAS a quantidade de 1535  $\text{g ha}^{-1}$  e encerra o ciclo com uma extração maior em comparação a todo ciclo com 2783  $\text{g ha}^{-1}$ .

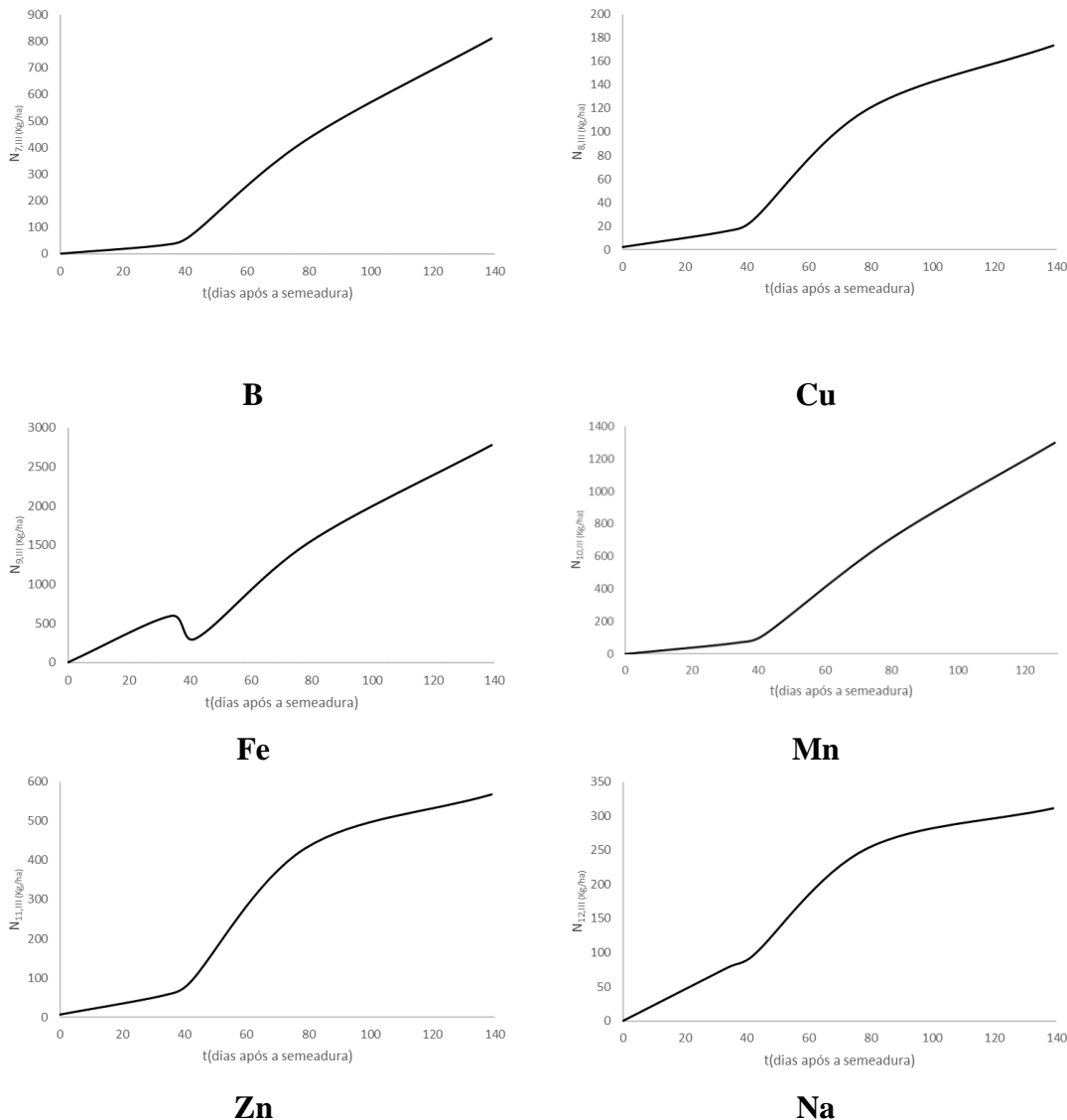
O manganês sua curva houve aumento contínuo até ao final do ciclo da cultura saindo de uma extração de 71  $\text{g ha}^{-1}$  em 34 DAS, 122  $\text{g ha}^{-1}$  em 42 DAS, 700  $\text{g ha}^{-1}$  em 79 DAS e ao final do ciclo 1301  $\text{g ha}^{-1}$ .

A curva de extração de boro (B) segue uma tendência semelhante, com aumento contínuo ao longo do ciclo, iniciando com extração de 34  $\text{g ha}^{-1}$  em 34 DAS, 68  $\text{g ha}^{-1}$  em 42 DAS, 427  $\text{g ha}^{-1}$  em 79 DAS e por fim 810  $\text{g ha}^{-1}$ .

Enquanto isso, aos micronutrientes com menores quantidade extraídas como o Zn e Cu a caracterização da curva de extração em função do número de dias após a semeadura segue o mesmo modelo de manganês e boro, ou seja, apresentam um padrão de aumento gradual na curva de extração ao longo do ciclo da cultura de soja.

O zinco tem-se 58  $\text{g ha}^{-1}$  em 34 DAS, 90  $\text{g ha}^{-1}$  em 42 DAS, 431  $\text{g ha}^{-1}$  em 79 DAS e 568  $\text{g ha}^{-1}$  em 139 DAS; já o cobre com 16  $\text{g ha}^{-1}$  em 34 DAS, 25  $\text{g ha}^{-1}$  em 42 DAS, 119  $\text{g ha}^{-1}$

<sup>1</sup> em 79 DAS e 173 g ha<sup>-1</sup> em 139 DAS, e por fim, o sódio classificado com não essencial a planta tem extração de 79 g ha<sup>-1</sup> em 34 DAS, 96 g ha<sup>-1</sup> em 42 DAS, 253 g ha<sup>-1</sup> em 79 DAS e 312 g ha<sup>-1</sup> em 139 DAS.



**Figura 79. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.9.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da extração de micronutrientes ( $N_{iIV}$ , g ha<sup>-1</sup> -  $N_{iIV} = MST(t) \cdot \tau_i(t)$ ), referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) (Figura 80), tem-se que [Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>) - equação 168, cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>) - equação

169, ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>) - equação 170, manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>) - equação 171, zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) - equação 172, e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>) - equação 173]:

$$N_{7IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2452,225931 - \frac{1,8827 \cdot 10^6}{t^2}}}{1000} \right) \quad (168)$$

$$N_{8IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{11,91530635 - 8,0838 \cdot 10^{-7} \cdot t^3}{1000} \right) \quad (169)$$

$$N_{9IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{143,9897148 + 6,24335 \cdot 10^{16} \cdot e^{-t}}{1000} \right) \quad (170)$$

$$N_{10IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 114,1821767 - \frac{11060,749}{t^{1,5}} \right) \quad (171)$$

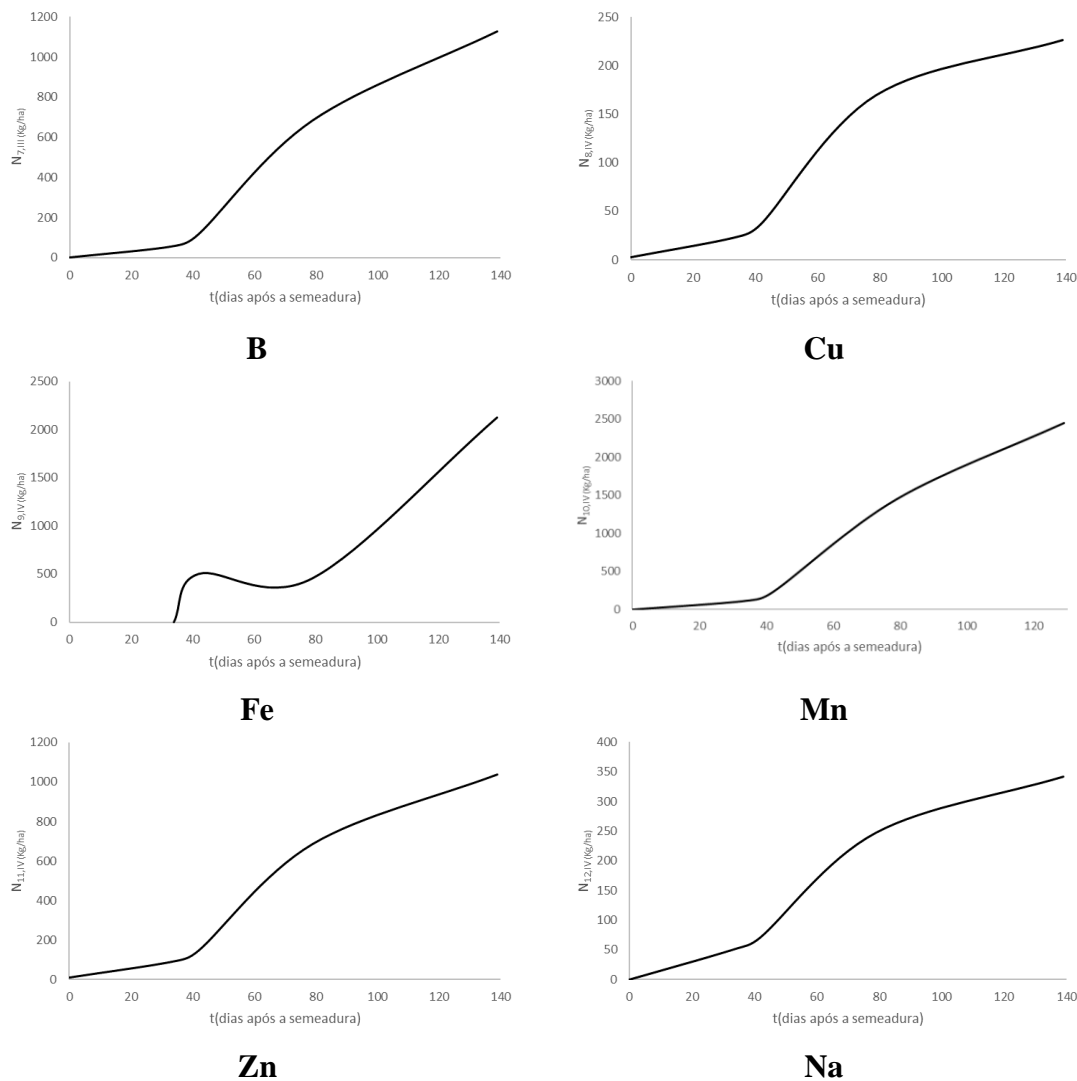
$$N_{11IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2204,683152 - 7,8655 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}}{1000} \right) \quad (172)$$

$$N_{12IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 13,15769034 + \frac{2545,42278}{t^{1,5}} \right) \quad (173)$$

Em cultivar tardio em sistema de sequeiro, a caracterização da curva da extração (g ha<sup>-1</sup>) dos nutrientes em função do número de dias após a semeadura, observa-se o mesmo dos anteriores experimentos. A extração maior nos nutrientes Fe, Mn e B em relação aos nutrientes Zn, Na (não essencial) e Cu.

Portanto, a máxima quantidades de extração destes nutrientes durante o ciclo de aproximadamente 140 dias foram 3345 g ha<sup>-1</sup> [Fe]; 2450 g ha<sup>-1</sup> [Mn]; 1127 g ha<sup>-1</sup> [B]; 1037 g ha<sup>-1</sup> [Zn]; 342 g ha<sup>-1</sup> [Na ] e para 226 g ha<sup>-1</sup> [Cu].

Enquanto, ao mínimo da extração foi de 455 g ha<sup>-1</sup> [Fe]; 116 g ha<sup>-1</sup> [Mn]; 57 g ha<sup>-1</sup> [B]; 94 g ha<sup>-1</sup> [Zn]; 52 g ha<sup>-1</sup> [Na] e para 24 g ha<sup>-1</sup> [Cu] ao longo do ciclo da cultura de soja.



**Figura 80. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.10 Caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes essenciais

##### 4.10.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I) (Figura 81), tem-se que [taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 174, fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 175, potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 176, cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 177, magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 178, e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 179]:

$$\beta_{1,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,30,578 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,069 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}}) \right]}{200,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{30,578 - 1,069 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}} \quad (174)$$

$$\beta_{2,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,094 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 3,357 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}}) \right]}{200,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{0,094 - 3,357 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (175)$$

$$\beta_{3,I} = \frac{13846,236 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (1,544 \cdot t + 43,184 \cdot \log(t)) + 14,390 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1) \cdot (43,184 - 43,184 \cdot \text{Log}(t)) \right)}{200,14,390 \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1)^2 \cdot \sqrt{1,544 + \frac{43,184 \cdot \text{Log}(t)}{t}}} \quad (176)$$

$$\beta_{4,I} = \frac{13846,236 \cdot 4,678 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{0,050+4,678 \cdot 10^{-5} \cdot t^2} + \frac{13846,236 \cdot e^{-\frac{t-69,301}{14,390+0,050+4,678 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot (e^{-\frac{t-69,301}{14,390}} + 1)}}{100,14,390 \cdot (e^{-\frac{t-69,301}{14,390}} + 1)^2} \quad (177)$$

$$\beta_{5,I} = - \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \cdot (2,14,390 \cdot 219,05 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}}) - t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \cdot (0,222 \cdot t^2 + 219,055))}{100,14,390 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2} \quad (178)$$

$$\beta_{6,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,0873 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 2,347 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}}) \right]}{200,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{0,0873 - 2,347 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (179)$$

O cálculo realizado para ter conhecimento da taxa de extração, ou melhor, a caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de macronutrientes em kg ha<sup>-1</sup> pela planta, foi realizado a derivada da função de teor referente de cada nutriente vezes a matéria seca total da cultura de soja, em dias após a semeadura ( $\beta_{1,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>).

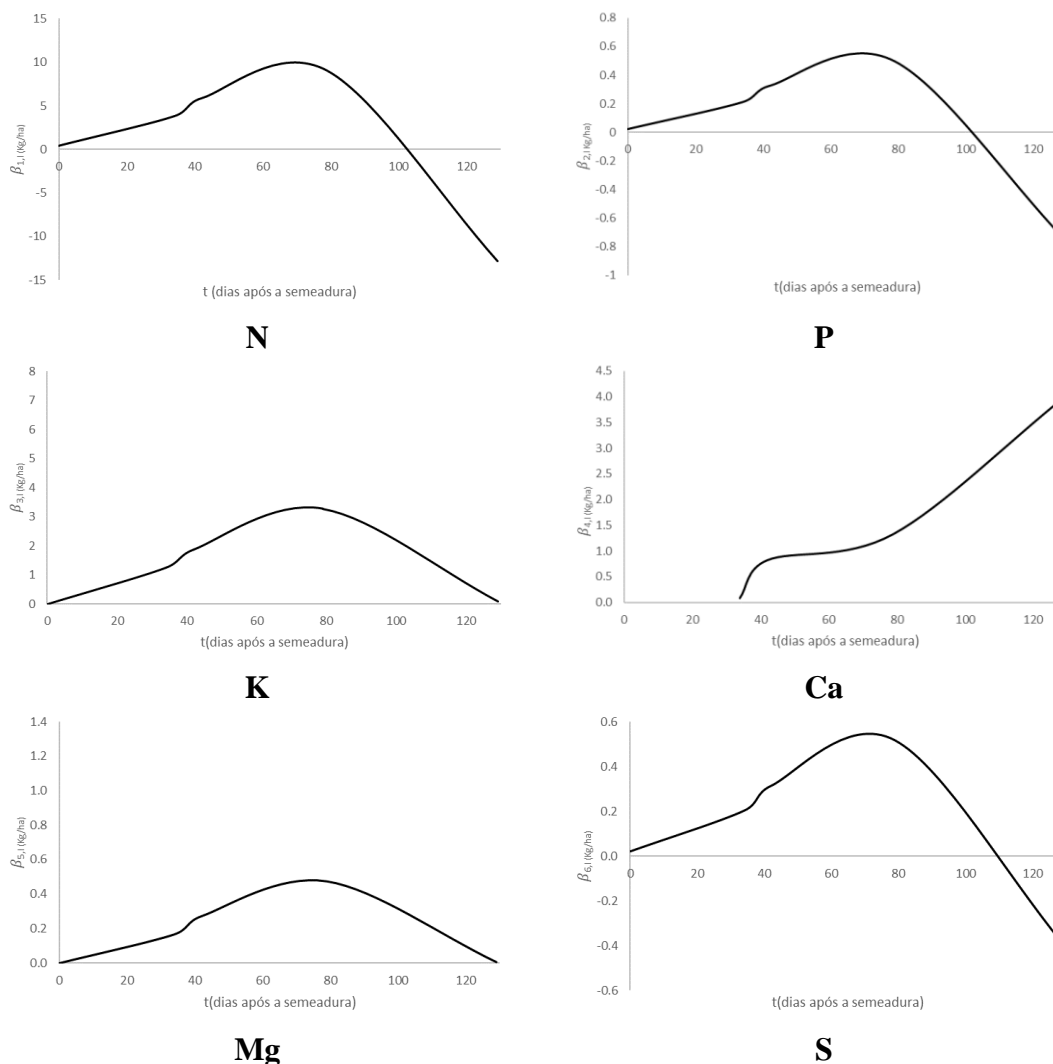
A derivada de uma função descreve a taxa de variação instantânea da função em um certo ponto. Outra interpretação é que a derivada nos dá a inclinação da reta tangente ao gráfico da função em um ponto, onde a derivada é uma propriedade local da função, isto é, para um determinado valor de t como nas funções derivadas no trabalho.

Sendo assim, observa-se na caracterização da curva da taxa de extração ( $\beta_{1,E}$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de nutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura (t), em cultivar precoce sob condição irrigada os macronutriente N, K e Ca foram extraídos em maiores quantidades (Kg ha<sup>-1</sup>) em relação aos demais macronutrientes P, Mg e S. Porém, ao observar os valores da taxa de extração apresentam a variação temporal dentro da função de cada nutriente, não sendo possível comparar tais valores de taxa de extração entre os macronutrientes citados.



Portanto, a curva tangente de N observa-se seu pico de extração aos 79 DAS, com 8,9 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; em K tem-se também aos 79 DAS com 3,2 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e Ca com taxa de extração de 3,9 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> aos 79 DAS.

Aos demais macronutrientes obteve-se os picos de taxa de extração aos 79 DAS com 0,51 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [S]; 0,49 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [P] e 0,47 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [Mg].



**Figura 81.** Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce sob condição irrigada (Experimento I). Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

#### 4.10.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), referente ao cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II) (Figura 82), tem-se que [Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 180, fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 181, potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 182, cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 183, magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 184, e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 185]:

$$\beta_{1,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \cdot \left[ 2,27,148 \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot (3,12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}}) \right]}{200 \cdot 12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right)^2 \cdot \sqrt{27,148 - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}} \quad (180)$$

$$\beta_{2,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \cdot \left[ 2,0,075 \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} + 1,327 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}}) \right]}{200 \cdot 12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right)^2 \cdot \sqrt{0,075 + 1,327 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (181)$$

$$\beta_{3,II} = \frac{16149,905 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (2,288 \cdot t + 33,623 \cdot \log(t)) + 12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right) \cdot (33,623 - 33,623 \cdot \log(t)) \right)}{200 \cdot 12,763 \cdot t^2 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)^2 \cdot \sqrt{2,288 + \frac{33,623 \cdot \log(t)}{t}}} \quad (182)$$

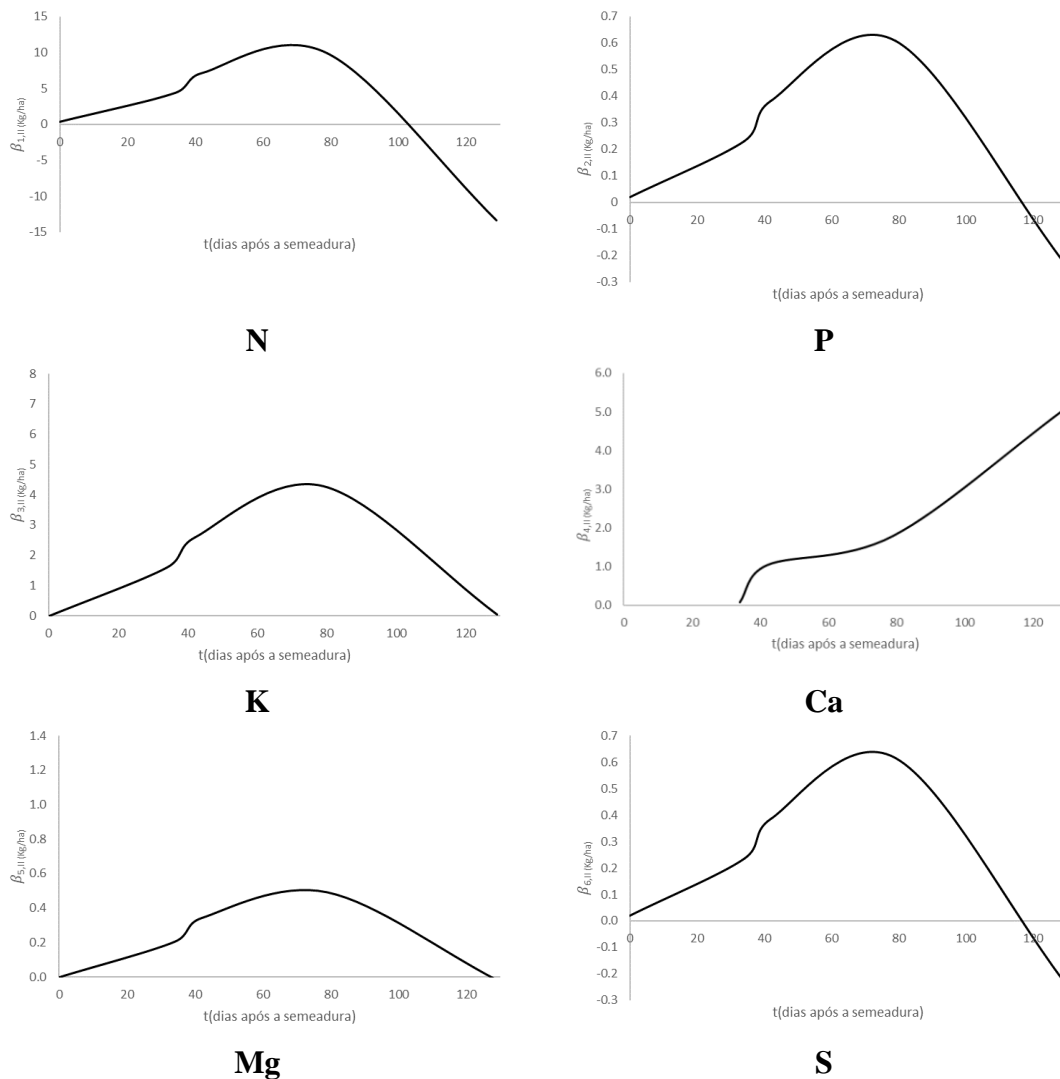
$$\beta_{4,II} = \frac{16149,905 \cdot 4,664 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{0,107+4,664 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}{100 \cdot \left( e^{\frac{t-66,620}{12,763}} + 1 \right)} + \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t-66,620}{12,763+0,107+4,664 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot 12,763 \cdot \left( e^{\frac{t-66,620}{12,763}} + 1 \right)^2} \quad (183)$$

$$\beta_{5,II} = - \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \cdot (2,12,763 \cdot 248,834 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right) - t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} \cdot (0,202 \cdot t^2 + 248,834))}{100 \cdot 12,763 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right)^2} \quad (184)$$

$$\beta_{6,II} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \cdot \left[ 2,0,077 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,358 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}}) \right]}{200 \cdot 14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right)^2 \cdot \sqrt{0,077 - 1,358 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (185)$$

Analisando a caracterização da curva da taxa de extração (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de macronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura (t), em cultivar precoce em sistema de sequeiro. Nota-se o padrão de maiores taxas de extração conforme a variação temporal da taxa de acúmulo de macronutrientes nas curvas de N, K e Ca, em comparação as curvas de taxa de extração de P, Mg e S.

Portanto, a taxa de extração variou conforme cada modelo matemático em função do tempo. Observando que Nitrogênio obteve uma variação de taxa de 4,34 a 13,3 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; potássio de 1,6 a 0,05 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; Cálcio de 1,04 a 4,9 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; Fósforo 0,23 a -0,22 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; Magnésio de 0,20 a -0,01 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e Enxofre 0,23 a -0,22 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.



**Figura 82. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Taxa de extração de nitrogênio (N,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), fósforo (P,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), potássio (K,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), cálcio (Ca,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), magnésio (Mg,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) e enxofre (S,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.10.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ ,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), referente ao cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III) (Figura 83), tem-se que [Taxa de extração de nitrogênio (N,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 186, fósforo (P,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 187, potássio (K,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 188, cálcio (Ca,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 189, magnésio (Mg,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 190, e enxofre (S,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 191:

$$\beta_{1,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \left[ 2,31,583 \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} - 9,323 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}})) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} \right]}{200,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}})^2 \cdot \sqrt{31,583 - 9,323 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}} \quad (186)$$

$$\beta_{2,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \left[ 2,0,086 \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} + 1,446 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}})) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} \right]}{200,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}})^2 \cdot \sqrt{0,086 + 1,446 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (187)$$

$$\beta_{3,III} = \frac{18624,584 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (4,986 \cdot t + 23,023 \cdot \log(t)) + 16,284 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1) \cdot (23,023 - 23,023 \cdot \text{Log}(t)) \right)}{200,16,284 \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1)^2 \cdot \sqrt{4,986 + \frac{23,023 \cdot \text{Log}(t)}{t}}} \quad (188)$$

$$\beta_{4,III} = \frac{18624,584 \cdot 5,020 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{0,0203+5,020 \cdot 10^{-5} \cdot t^2} + 18624,584 \cdot e^{-\frac{t-76,398}{16,284+0,020+5,020 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot (e^{-\frac{t-76,398}{16,284}} + 1)} + \frac{18624,584 \cdot e^{-\frac{t-76,398}{16,284}}}{100,16,284 \cdot (e^{-\frac{t-76,398}{16,284}} + 1)^2} \quad (189)$$

$$\beta_{5,III} = - \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \cdot (2,16,284 \cdot 171,039 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}}) - t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} \cdot (0,274 \cdot t^2 + 171,039))}{100,16,284 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}})^2} \quad (190)$$

$$\beta_{6,III} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,074 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,210 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \right]}{200,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{0,074 - 1,210 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (191)$$

Caracterizando a curva de taxa de extração ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de macronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ), em cultivar tardio sob condição irrigada. Observa-se o padrão de N, S e P com variação das taxas de extração ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) maiores que K, Mg e Ca.

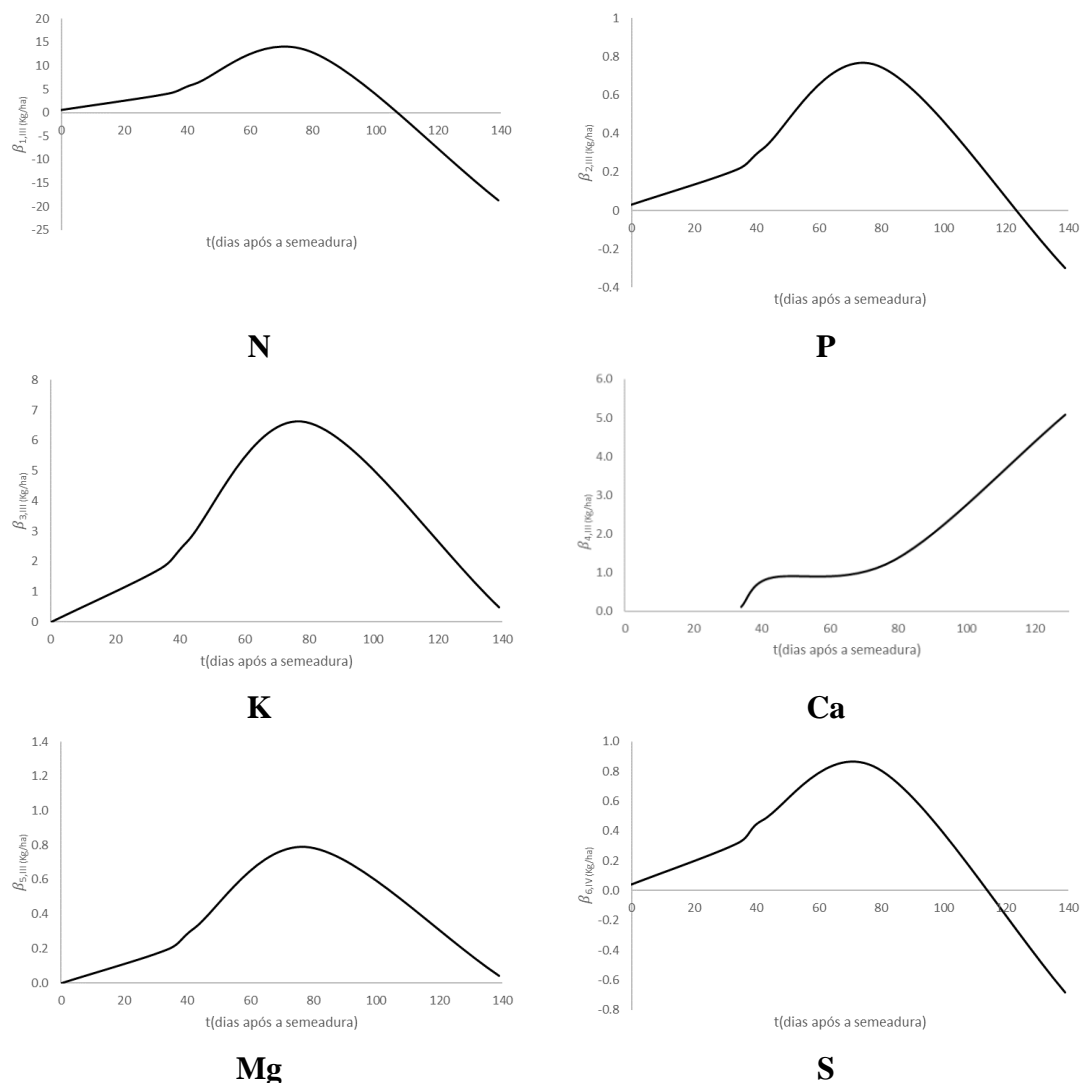
A curva tangente da derivada de uma função em um ponto representa a taxa de variação instantânea da função nesse ponto. A inclinação da reta tangente é igual à inclinação da curva da função naquele ponto específico. Isso nos dá informações sobre como a função está mudando em relação à sua variável independente nesse ponto, no caso a variável sendo os dias após a semeadura.

Assim, as curvas das taxas de variação dos macronutrientes variam conforme a função do desenvolvimento da cultura de soja em dias após a semeadura.

O Nitrogênio tem sua variação  $4,0; 6,0; 13,0$  e  $-18,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  aos  $34,42,79$  e  $139 \text{ DAS}$ , respectivamente. O enxofre em sua curva tem sua variação aos  $34 \text{ DAS}$   $0,19 \text{ kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ;  $42 \text{ DAS}$   $0,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ;  $79 \text{ DAS}$   $0,70 \text{ kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  e aos  $\text{DAS}$   $-0,26 \text{ kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ .

Na curva do fósforo semelhante aos macronutrientes anteriores apresenta as variações 0,21 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 34 DAS; 0,31 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 42 DAS; 0,75 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 79 DAS e no final do ciclo -0,29 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> aos 139 DAS.

Enquanto, aos macronutrientes que possuem valores menores em relação a extração, as curvas apresentam a variação para potássio 1,77 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 34 DAS; 2,63 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 42 DAS; 6,61 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 79 DAS e 0,48 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 139 DAS; já o magnésio com 0,19 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 34 DAS; 0,31 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 42 DAS; 0,78 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 79 DAS e 0,04 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 139 DAS, e por fim, o cálcio com a variação de 0,84 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 34 DAS; 1,32 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 42 DAS; 5,08 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 79 DAS e 6,45 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 139 DAS.



**Figura 83. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.10.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ , kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), referente ao cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV) (Figura 84), tem-se que [Taxa de extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 192, fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 193, potássio (K, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 194, cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 195, magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 196, e enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 197]:

$$\beta_{1,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \left[ 2,29,948 \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} - 8,911 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3,15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}}) \right]}{200 \cdot 15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}})^2 \cdot \sqrt{29,948 - 8,911 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}} \quad (192)$$

$$\beta_{2,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \left[ 2,0,092 \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} + 1,813 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}}) \right]}{200 \cdot 15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}})^2 \cdot \sqrt{0,092 + 1,813 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (193)$$

$$\beta_{3,IV} = \frac{23521,463 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot (3,245 \cdot t + 58,712 \cdot \log(t)) + 15,532 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1) \cdot (58,712 - 58,712 \cdot \log(t)) \right)}{200 \cdot 15,532 \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1)^2 \cdot \sqrt{3,245 + \frac{58,712 \cdot \log(t)}{t}}} \quad (194)$$

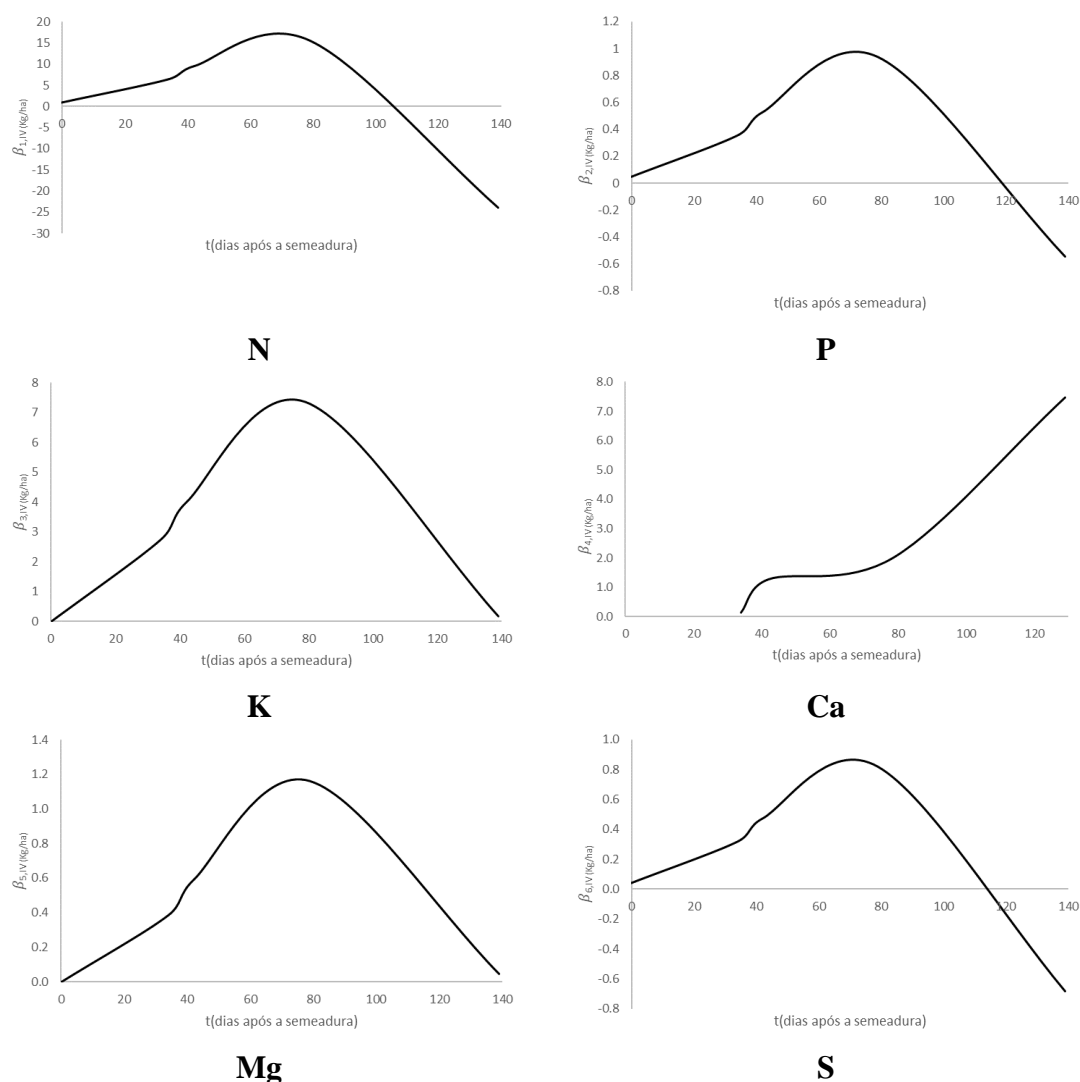
$$\beta_{4,IV} = \frac{23521,463 \cdot 7,104 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{-0,079+7,104 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}{100 \cdot (e^{\frac{t-70,954}{15,532}} + 1)} + \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t-70,954}{15,532-0,079+7,104 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot 15,532 \cdot (e^{\frac{t-70,954}{15,532}} + 1)^2} \quad (195)$$

$$\beta_{5,IV} = - \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \cdot (2,15,532 \cdot 81,983 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}}) - t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} \cdot (0,328 \cdot t^2 + 81,983))}{100 \cdot 15,532 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}})^2} \quad (196)$$

$$\beta_{6,IV} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,075 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,760 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}}) \right]}{200 \cdot 14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{0,075 - 1,760 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}} \quad (197)$$

Em cultivar tardio em sistema de sequeiro, a caracterização da curva da taxa de extração ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) dos nutrientes em função do número de dias após a semeadura, representam curvas simétricas como o macronutriente K, curvas assimétricas como em N, P, Mg e S, e a uma representação gráfica de uma caracterização de J invertido que ocorre com o macronutriente Ca.

Estas curvas tangentes da derivada é uma representação gráfica que mostra a taxa de variação instantânea da função em cada ponto.



**Figura 84. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Taxa de extração de nitrogênio (N,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), fósforo (P,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), potássio (K,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), cálcio (Ca,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), magnésio (Mg,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) e enxofre (S,  $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.11 Caracterização da variação temporal da taxa de extração de micronutrientes essenciais

##### 4.11.1 Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ ,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I) (Figura 85), tem-se que [Taxa de extração de boro (B,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 198, cobre (Cu,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) -



equação 199, ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 200, manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 201, zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 202, e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 203]:

$$\beta_{7,I} = - \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \cdot (2.14,390 - 783020,568 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})) - t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \cdot (1683,512 \cdot t^2 - 783020,568)}{1000 \cdot 14,390 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2} \quad (198)$$

$$\beta_{8,I} = \frac{13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (13,038 - 1,509 \cdot 10^{-6} \cdot t^3) + 3,1,509 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1))}{1000 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1)^2} \quad (199)$$

$$\beta_{9,I} = \frac{13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (199,300 + 1,491 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t}) - 1,491 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1))}{1000 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1)^2} \quad (200)$$

$$\beta_{10,I} = - \frac{0,0015 \cdot 13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (14,390 - 4703,097 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1)) - 0,666 \cdot e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (68,227 - \frac{4703,097}{t^{1,5}}))}{14,390 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1)^2} \quad (201)$$

$$\beta_{11,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \cdot (2.2596,132 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 0,0008 \cdot t^2 \cdot (3.14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}})}{2000 \cdot 14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{2596,132 - 0,0008 \cdot t^3}} \quad (202)$$

$$\beta_{12,I} = - \frac{0,0015 \cdot 13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (14,390 \cdot 15970,123 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1)) - 0,666 \cdot e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (-0,717 + \frac{15970,123}{t^{1,5}}))}{14,390 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1)^2} \quad (55)$$

O cálculo realizado para a caracterização da variação temporal da taxa de acúmulo de micronutrientes em g ha<sup>-1</sup> pela planta, segue a derivação da função de teor referente de cada nutriente vezes a matéria seca total da cultura de soja, em dias após a semeadura ( $\beta_{1,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>).

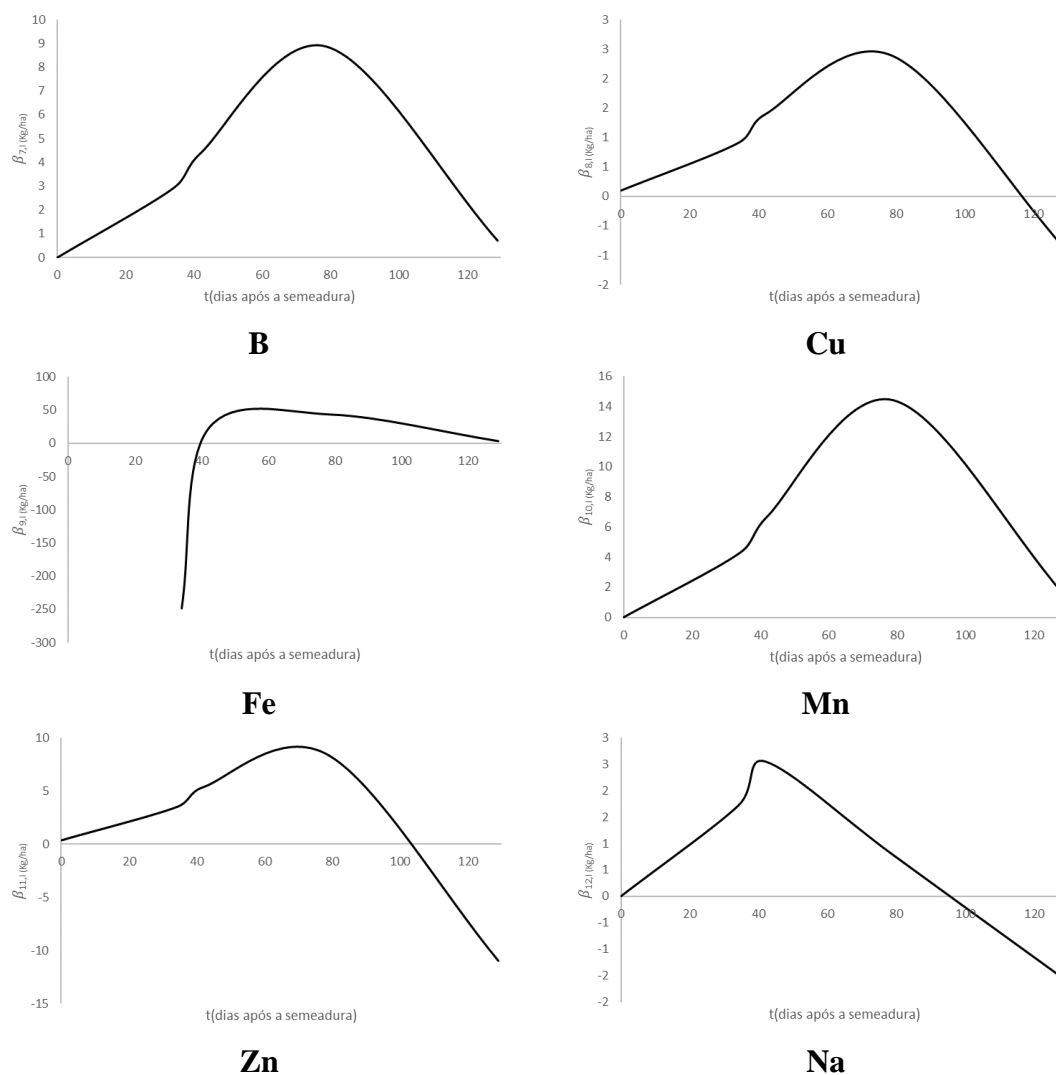
De modo geral, a derivada é a inclinação da reta tangente que passa por uma determinada curva. Onde é possível utilizar a derivada para determinar uma taxa de variação, como ao tempo.

Sendo assim, observa-se na caracterização da curva da taxa de extração ( $\beta_{1,E}$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de nutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura (t), em cultivar precoce sob condição irrigada os micronutrientes Fe, Mn e B foram extraídos em maiores quantidades (g ha<sup>-1</sup>) em relação aos demais micronutrientes Zn, Na (não essencial) e Cu.

Porém, ao observar os valores da taxa de extração apresentam a variação temporal dentro da função de cada nutriente, não sendo possível comparar tais valores de taxa de extração entre os micronutrientes citados.

Portanto, a taxa de variação de Fe observa-se seu pico de extração aos 79 DAS, com 42,8 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; em Mn tem-se também aos 79 DAS com 14,41 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e B com taxa de extração de 8,8 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> aos 79 DAS.

Aos demais micronutrientes obteve-se os picos de taxa de extração aos 79 DAS com  $8,37 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  Zn;  $2,38 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  para Cu e aos 42 DAS para Na com taxa de extração de  $2,54 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .



**Figura 85.** Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento I). Taxa de extração de boro (B,  $\text{g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), cobre (Cu,  $\text{g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), ferro (Fe,  $\text{g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), manganês (Mn,  $\text{g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), zinco (Zn,  $\text{g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) e sódio (Na,  $\text{g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

#### 4.11.2 Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ ,  $\text{g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento II) (Figura 86),

tem-se que [Taxa de extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 204, cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 205, ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 206, manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 207, zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 208, e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 209]:

$$\beta_{7,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \cdot (2.12,763 \cdot -1051292,2 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right) \cdot -t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} \cdot (1575,157 \cdot t^2 - 1051292,2))}{1000 \cdot 12,763 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right)^2} \quad (204)$$

$$\beta_{8,II} = \frac{16149,905 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (12,156 - 9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^3) + 3 \cdot -9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right) \right)}{1000 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)^2} \quad (205)$$

$$\beta_{9,II} = \frac{16149,905 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (173,992 + 6,126 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t}) - 6,126 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right) \right)}{1000 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)^2} \quad (206)$$

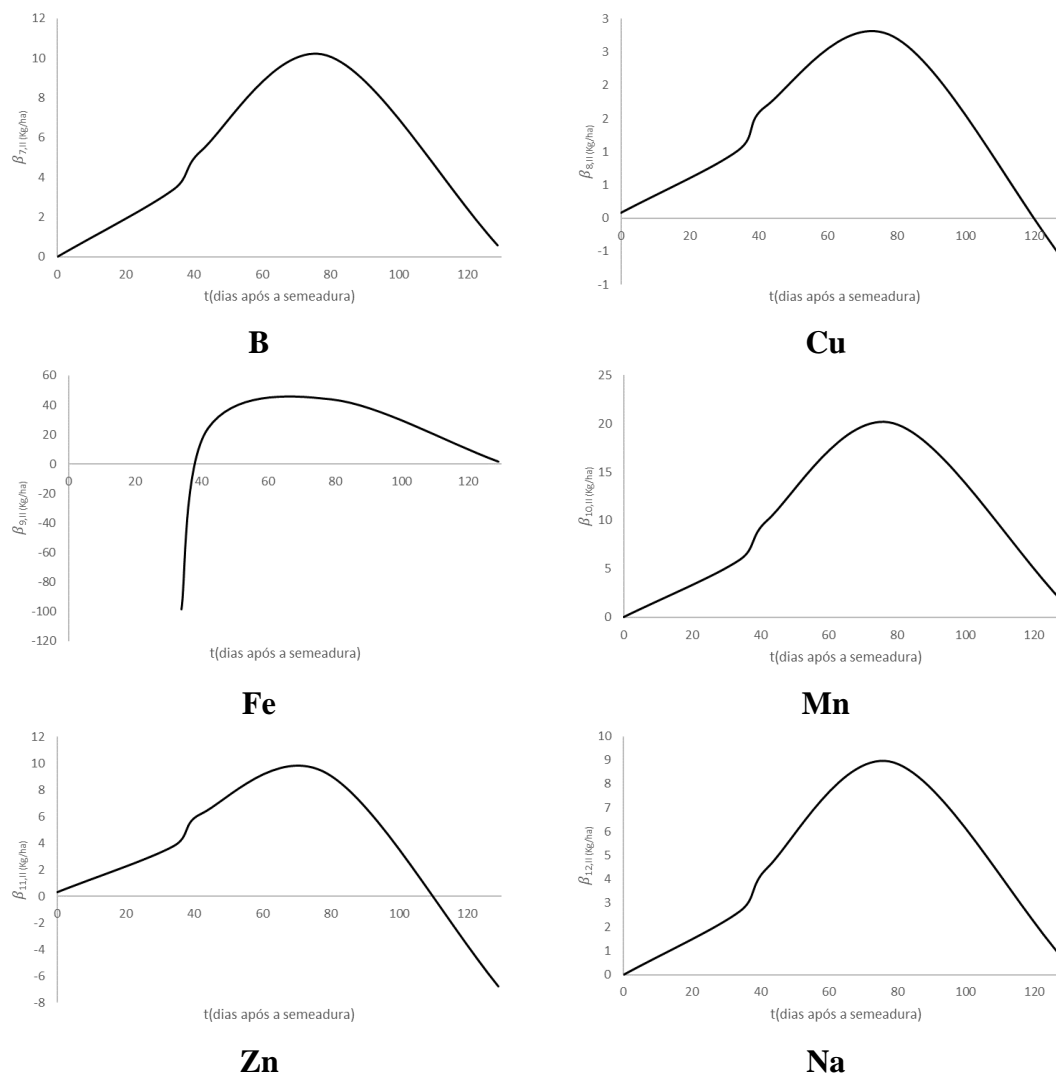
$$\beta_{10,II} = - \frac{0,0015 \cdot 16149,905 \cdot \left( \frac{12,763 \cdot -5165,907 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666 \cdot e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot \left( 80,229 - \frac{5165,907}{t^{1,5}} \right) \right)}{12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)^2} \quad (207)$$

$$\beta_{11,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \cdot (2.2030,602 \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} - 0,0005 \cdot t^2 \cdot (3.12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}})}{2000 \cdot 12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right)^2 \cdot \sqrt{2030,602 - 0,0005 \cdot t^3}} \quad (208)$$

$$\beta_{12,II} = - \frac{0,0015 \cdot 16149,905 \cdot \left( \frac{12,763 \cdot -2096,410 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666 \cdot e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot \left( 35,673 - \frac{2096,410}{t^{1,5}} \right) \right)}{12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)^2} \quad (209)$$

Analisando a caracterização da curva da taxa de extração (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de micronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura (t), em cultivar precoce em sistema de sequeiro. Nota-se o padrão de maiores taxas de extração conforme a variação temporal da taxa de acúmulo de micronutrientes nas curvas de Fe e Mn, em comparação as curvas de taxa de extração de Zn, B, Cu e Na.

Portanto, a taxa de extração variou conforme cada modelo matemático em função do tempo. Observando que Fe obteve uma variação de taxa de -98,5 a 1,63 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; 5,92 a 1,38 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [Mn]; 3,7 a -6,7 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [Zn]; 3,3 a 0,5 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [B]; 1,02 a -0,6 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [Cu] e 2,6 a 0,5 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> [Na].



**Figura 86.** Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar precoce em sistema de sequeiro (Experimento II). Taxa de extração de boro (B,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), cobre (Cu,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), ferro (Fe,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), manganês (Mn,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), zinco (Zn,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) e sódio (Na,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.

#### 4.11.3 Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ ,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento IV) (Figura 88), tem-se que [Taxa de extração de boro (B,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 210, cobre (Cu,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 211, ferro (Fe,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 212, manganês (Mn,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 213, zinco (Zn,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 214, e sódio (Na,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) - equação 215]:

$$\beta_{7,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \cdot (2.16,284 \cdot -1,575 \cdot 10^6 \cdot \left( e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}} \right) - t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} \cdot (2052,678 \cdot t^2 - 1,575 \cdot 10^6))}{1000 \cdot 16,284 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}} \right)^2} \quad (210)$$

$$\beta_{8,III} = \frac{18624,584 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (12,379 - 1,068 \cdot 10^{-6} \cdot t^3) + 3 \cdot -1,068 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right) \right)}{1000 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right)^2} \quad (211)$$

$$\beta_{9,III} = \frac{18624,584 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (152,634 + 1,822 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t}) - 1,822 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right) \right)}{1000 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right)^2} \quad (212)$$

$$\beta_{10,III} = - \frac{0,0015 \cdot 18624,584 \cdot \left( \frac{16,284 \cdot -3999,157 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666 \cdot e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot \left( 75,322 - \frac{3999,157}{t^{1,5}} \right) \right)}{16,284 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right)^2} \quad (213)$$

$$\beta_{11,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \cdot (2.2031,559 \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} - 0,0003 \cdot t^2 \cdot (3.16,284 \cdot \left( e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}})}{2000 \cdot 16,284 \cdot \left( e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}} \right)^2 \cdot \sqrt{2031,559 - 0,0003 \cdot t^3}} \quad (214)$$

$$\beta_{12,III} = - \frac{0,0015 \cdot 18624,584 \cdot \left( \frac{16,284 \cdot 9941,728 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666 \cdot e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot \left( 11,025 + \frac{9941,728}{t^{1,5}} \right) \right)}{16,284 \cdot \left( e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1 \right)^2} \quad (215)$$

Caracterizando a curva de taxa de extração ( $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de micronutrientes da cultura de soja em função do número de dias após a semeadura ( $t$ ), em cultivar tardio sob condição irrigada. Observa-se o padrão de Fe, Mn e B com variação de taxas de extração ( $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) maiores que Zn, Na (não essencial) e Cu.

Esta taxa de variação, é a inclinação da reta tangente a uma função derivada. No presente estudo foi utilizado para se saber a taxa de variação temporal do desenvolvimento e crescimento da cultura de soja em função a cada nutriente.

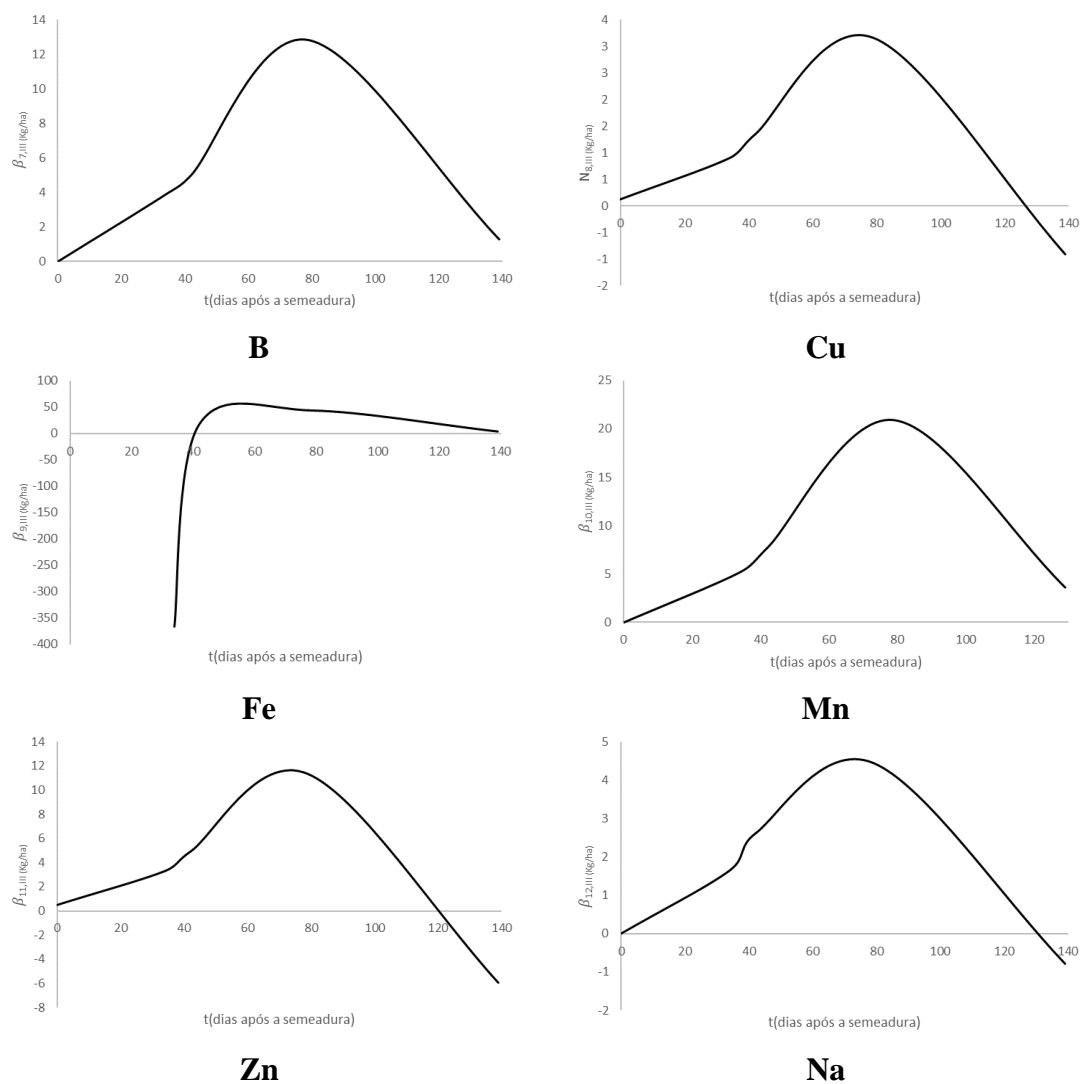
Assim, as curvas das taxas de variação dos micronutrientes variam conforme a função do desenvolvimento da cultura de soja em dias após a semeadura.

O Ferro tem sua variação  $-366,7$ ;  $16,6$ ;  $43,3$  e  $3,5 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  aos  $34,42,79$  e  $139 \text{ DAS}$ , respectivamente. O manganês em sua curva tem sua variação aos  $34 \text{ DAS}$   $5,1 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ;  $42 \text{ DAS}$   $7,7 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ;  $79 \text{ DAS}$   $20,8 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  e aos  $139 \text{ DAS}$   $3,6 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ .

Na curva do boro semelhante aos micronutrientes anteriores apresenta as variações  $3,8 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $34 \text{ DAS}$ ;  $5,0 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $42 \text{ DAS}$ ;  $12,8 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $79 \text{ DAS}$  e no final do ciclo  $1,2 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  aos  $139 \text{ DAS}$ .

Enquanto, aos micronutrientes que possuem valores de variação de taxas menores em relação a extração, as curvas apresentam a variação para zinco  $3,2 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $34 \text{ DAS}$ ;  $4,8 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $42 \text{ DAS}$ ;  $11,3 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $79 \text{ DAS}$  e  $-5,9 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $139 \text{ DAS}$ ; o sódio, elemento não essencial, obteve a variação  $1,65 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $34 \text{ DAS}$ ;  $2,61 \text{ g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  em  $42 \text{ DAS}$ ;

4,45 g g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 79 DAS e 0,79 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 139 DAS, e por fim, o cobre com a variação de 0,9 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 34 DAS; 1,34 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 42 DAS; 3,16 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 79 DAS e -0,9 g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em 139 DAS.



**Figura 87. Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema sob irrigação (Experimento III). Taxa de extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.**

#### 4.11.4 Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV)

Para caracterização da variação temporal da taxa de extração de macronutrientes ( $\beta_i(t)$ , g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), referente ao cultivar precoce em sistema sob irrigação (Experimento IV) (Figura 88),

tem-se que [Taxa de extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 216, cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 217, ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 218, manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 219, zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 220, e sódio (Na, g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) - equação 221]:

$$\beta_{7,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \cdot (2.15,532 \cdot -1,882 \cdot 10^6 \cdot \left( e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}} \right) \cdot -t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} \cdot (2452,225 \cdot t^2 - 1,882 \cdot 10^6))}{1000 \cdot 15,532 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}} \right)^2} \quad (216)$$

$$\beta_{8,IV} = \frac{23521,463 \cdot \left( \frac{e^{\frac{70,954-t}{15,532}}}{15,532} \cdot (11,915 - 8,083 \cdot 10^{-7} \cdot t^3) + 3 \cdot -8,083 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right) \right)}{1000 \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right)^2} \quad (217)$$

$$\beta_{9,IV} = \frac{23521,463 \cdot \left( \frac{e^{\frac{70,954-t}{15,532}}}{15,532} \cdot (143,989 + 6,243 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t}) - 6,243 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right) \right)}{1000 \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right)^2} \quad (218)$$

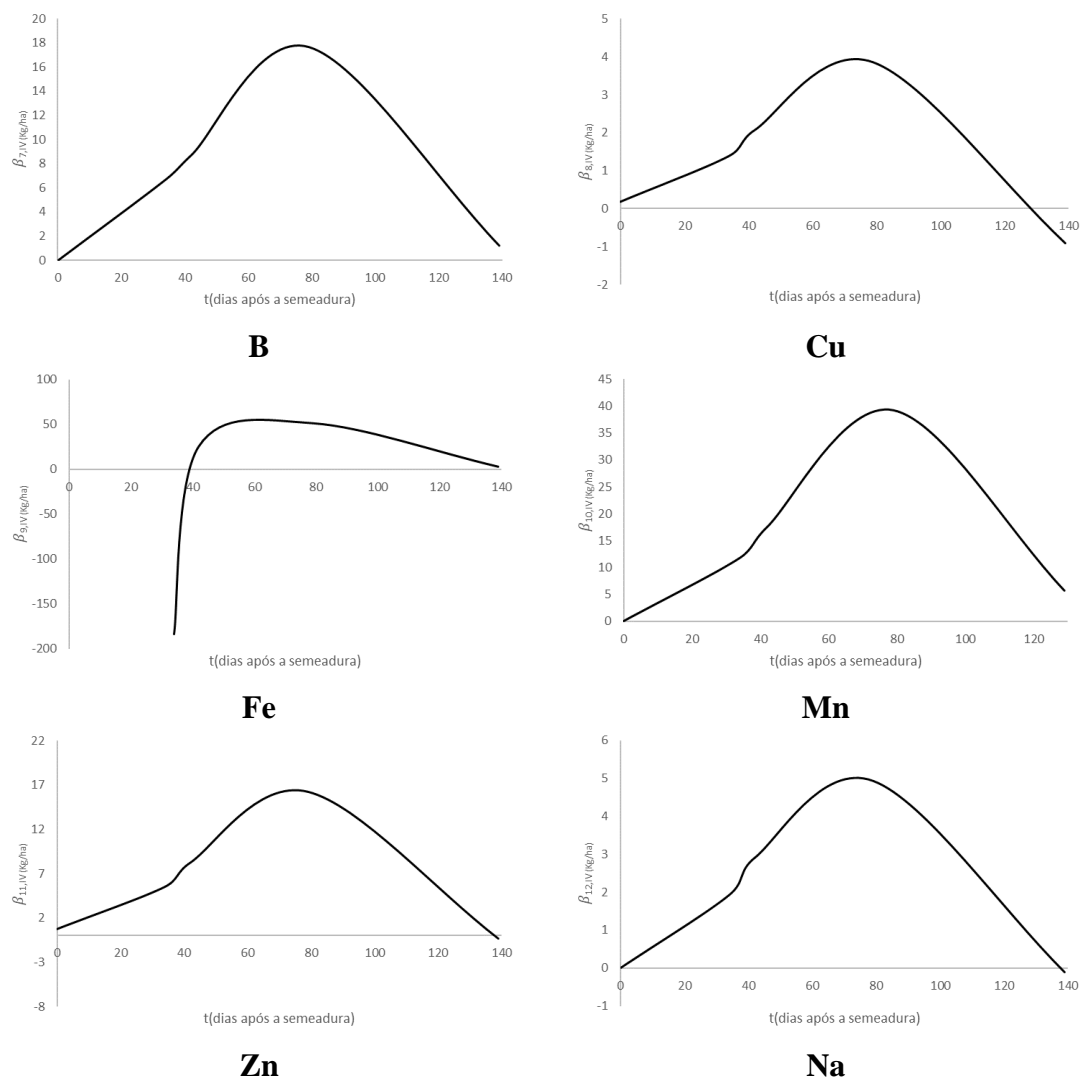
$$\beta_{10,IV} = - \frac{0,0015 \cdot 23521,463 \cdot \left( \frac{15,532 \cdot -11060,749 \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666 \cdot e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot \left( 114,182 - \frac{11060,749}{t^{1,5}} \right) \right)}{15,532 \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right)^2} \quad (56)$$

$$\beta_{11,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \cdot (2.2204,683 \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} - 7,865 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3.15,532 \cdot \left( e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}}))}{2000 \cdot 15,532 \cdot \left( e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}} \right)^2 \cdot \sqrt{2204,683 - 7,865 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}} \quad (57)$$

$$\beta_{12,IV} = - \frac{0,0015 \cdot 23521,463 \cdot \left( \frac{15,532 \cdot 2545,422 \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right)}{t^{2,5}} - 0,666 \cdot e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot \left( 13,157 + \frac{2545,422}{t^{1,5}} \right) \right)}{15,532 \cdot \left( e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1 \right)^2} \quad (58)$$

Em cultivar tardio em sistema de sequeiro, a caracterização da curva da taxa de extração (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) dos nutrientes em função do número de dias após a semeadura, em uma representação gráfica apresentam curvas simétricas como o micronutriente B e curvas assimétricas como em Cu, Mn, Zn, Fe e Na.

Estas curvas tangentes da derivada é uma representação gráfica que mostra a taxa de variação instantânea da função em cada ponto.



**Figura 88.** Caracterização da curva da extração de nutrientes da cultura de soja. Cultivar tardio em sistema de sequeiro (Experimento IV). Taxa de extração de boro (B,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), cobre (Cu,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), ferro (Fe,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), manganês (Mn,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), zinco (Zn,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) e sódio (Na,  $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, Estado de São Paulo. Safra 2021/2022.



## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos referentes ao ciclo da cultura de soja (cultivares de ciclo precoce e tardio) sob sistema de condição irrigada e de sequeiro, conclui-se que os modelos propostos são adequados para:

(i) caracterizar a curva de acúmulo (curva de crescimento - kg ha<sup>-1</sup>) de massa de matéria seca dos seguintes órgãos: raiz, haste, folha, vagem e total referentes à cultura de soja

<b>E</b>	<b>Raiz</b>
<b>I</b>	$MSR_I(t) = 1376,967417 \cdot e^{-e^{\frac{(t-7,115079283) \cdot \ln[\ln(2)] - 46,13168958}{7,115079283}}}$
<b>II</b>	$MSR_{II}(t) = 1582,415833 \cdot e^{-e^{\frac{(t-8,757152934) \cdot \ln[\ln(2)] - 47,37225634}{8,757152934}}}$
<b>III</b>	$MSR_{III}(t) = 1374,734587 \cdot e^{-e^{\frac{(t-13,33038659) \cdot \ln[\ln(2)] - 48,93949133}{13,33038659}}}$
<b>IV</b>	$MSR_{IV}(t) = 1948,100998 \cdot e^{-e^{\frac{(t-11,52805341) \cdot \ln[\ln(2)] - 48,18938816}{11,52805341}}}$

<b>E</b>	<b>Haste</b>
<b>I</b>	$MSH_I(t) = \frac{4231,393096}{1 + e^{\frac{t-47,90429711}{4,452299764}}}$
<b>II</b>	$MSH_{II}(t) = \frac{4845,808403}{1 + e^{\frac{t-46,49916695}{3,394673614}}}$
<b>III</b>	$MSH_{III}(t) = \frac{5420,409252}{1 + e^{\frac{t-54,04595157}{7,416074612}}}$
<b>IV</b>	$MSH_{IV}(t) = \frac{6997,540221}{1 + e^{\frac{t-50,40617117}{1,900389342}}}$
<b>E</b>	<b>Folha</b>
<b>I</b>	$MSF_I(t) = 0,298453318 \cdot t^2 + 0,005728095 \cdot t^3 - 5,6659 \cdot 10^{-5} \cdot t^4$
<b>II</b>	$MSF_{II}(t) = 0,094540502 \cdot t^2 + 0,014567371 \cdot t^3 + (-0,00011861) \cdot t^4$
<b>III</b>	$MSF_{III}(t) = 0,192349099 \cdot t^2 + 0,011699821 \cdot t^3 - 9,4128 \cdot 10^{-5} \cdot t^4$
<b>IV</b>	$MSF_{IV}(t) = 0,482445722 \cdot t^2 + 0,013113778 \cdot t^3 - 0,00011932 \cdot t^4$

<b>E</b>	<b>Vagem</b>
<b>I</b>	$MSV_I(t) = \frac{1}{0,000119239 + (2,60823 \cdot 10^{31})^{-t}}$
<b>II</b>	$MSV_{II}(t) = \frac{1}{(9,33027 \cdot 10^{-5}) + (1,78566 \cdot 10^{31})^{-t}}$
<b>III</b>	$MSV_{III}(t) = \frac{1}{(8,76662 \cdot 10^{-5}) + (7,70423 \cdot 10^{31})^{-t}}$
<b>IV</b>	$MSV_{IV}(t) = \frac{1}{(7,03665 \cdot 10^{-5}) + (3,73635 \cdot 10^{31})^{-t}}$
<b>E</b>	<b>Total</b>
<b>I</b>	$MST_I(t) = \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}}$
<b>II</b>	$MST_{II}(t) = \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}}$
<b>III</b>	$MST_{III}(t) = \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}}$
<b>IV</b>	$MST_{IV}(t) = \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}}$

(ii) caracterizar a curva referente à taxa de acúmulo de massa de matéria seca (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

<b>E</b>	<b>Total</b>
<b>I</b>	$\frac{dMST_I(t)}{dt} = \frac{13846,23651 \cdot e^{\frac{69,30165234+t}{m_{2,E}}}}{14,39059192 \cdot \left( e^{\frac{69,30165234}{14,39059192}} + e^{\frac{t}{14,39059192}} \right)^2}$
<b>II</b>	$\frac{dMST_{II}(t)}{dt} = \frac{16149,90584 \cdot e^{\frac{66,62087798+t}{m_{2,E}}}}{12,76305241 \cdot \left( e^{\frac{66,62087798}{12,76305241}} + e^{\frac{t}{12,76305241}} \right)^2}$
<b>III</b>	$\frac{dMST_{III}(t)}{dt} = \frac{18624,58493 \cdot e^{\frac{76,39810379+t}{m_{2,E}}}}{16,28463144 \cdot \left( e^{\frac{76,39810379}{16,28463144}} + e^{\frac{t}{16,28463144}} \right)^2}$
<b>IV</b>	$\frac{dMST_{IV}(t)}{dt} = \frac{23521,46394 \cdot e^{\frac{70,95465735+t}{m_{2,E}}}}{15,53296811 \cdot \left( e^{\frac{70,95465735}{15,53296811}} + e^{\frac{t}{15,53296811}} \right)^2}$

(iii) caracterizar a composição média de nutrientes (macronutrientes e micronutrientes) e sódio

**A. Macronutrientes (%)**: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre:

<b>i</b>	<b>Experimento I</b>	<b>Experimento II</b>
<b>Macronutrientes</b>		
<b>N</b>	$\tau_{1I} = \sqrt{30,57827079 - 1,0699 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}$	$\tau_{1II}(t) = \sqrt{27,14859370 - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}$
<b>P</b>	$\tau_{2I} = \sqrt{0,094565127 - 3,3576 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$	$\tau_{2II} = \sqrt{0,075798163 - 1,3271 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$
<b>K</b>	$\tau_{3I} = \sqrt{1,544172247 + 43,1845368 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}$	$\tau_{3II} = \sqrt{2,288078329 + 33,62325525 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}$
<b>Ca</b>	$\tau_{4I} = e^{0,050383082 + 0,0000467809 \cdot t^2}$	$\tau_{4II} = e^{0,107667342 + 0,0000466496 \cdot t^2}$
<b>Mg</b>	$\tau_{5I} = 0,222015493 + \frac{219,0551999}{t^2}$	$\tau_{5II} = 0,202214708 + \frac{248,8343405}{t^2}$
<b>S</b>	$\tau_{6I} = \sqrt{0,087333987 - 2,3477 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$	$\tau_{6II} = \sqrt{0,077391751 - 1,3587 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$
<b>i</b>	<b>Experimento III</b>	<b>Experimento IV</b>
<b>Macronutrientes</b>		
<b>N</b>	$\tau_{1III} = \sqrt{31,58383448 - 9,323 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}$	$\tau_{1IV} = \sqrt{29,94873613 - 8,9117 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}$
<b>P</b>	$\tau_{2III} = \sqrt{0,086466292 - 1,4468 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$	$\tau_{2IV} = \sqrt{0,092188784 - 1,8133 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$
<b>K</b>	$\tau_{3III} = \sqrt{4,986875754 + 23,0233023 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}$	$\tau_{3IV} = \sqrt{3,24503290 + 58,71236815 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}$
<b>Ca</b>	$\tau_{4III} = e^{0,020302571 + 0,0000502034 \cdot t^2}$	$\tau_{4IV} = e^{-0,07984958 + 0,000071047 \cdot t^2}$
<b>Mg</b>	$\tau_{5III} = 0,274705719 + \frac{171,0392633}{t^2}$	$\tau_{5IV} = 0,328806135 + \frac{81,98353689}{t^2}$
<b>S</b>	$\tau_{6III} = \sqrt{0,074452748 - 1,2104 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$	$\tau_{6IV} = \sqrt{0,075014630 - 1,7607 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}$

**B. Micronutrientes (ppm):** boro, cobre, ferro, manganês e zinco, e **C. Outro (ppm):** sódio:

<b>i</b>	<b>Experimento I</b>	<b>Experimento II</b>
<b>Micronutrientes</b>		
<b>B</b>	$\tau_{7I} = \sqrt{1683,512009 - \frac{783020,568}{t^2}}$	$\tau_{7II}(t) = \sqrt{1575,1574 - \frac{1051292,2}{t^2}}$
<b>Cu</b>	$\tau_{8I} = 13,03874073 - 1,5092 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$	$\tau_{8II} = 12,15614032 - 9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^3$
<b>Fe</b>	$\tau_{9I} = 199,3005334 + 1,49198 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t}$	$\tau_{9II} = 173,9925117 + 6,12604 \cdot 10^{16} \cdot e^{-t}$
<b>Mn</b>	$\tau_{10I} = 68,22734201 + \frac{-4703,09717}{t^{1,5}}$	$\tau_{10II} = 80,22978056 + \frac{-5165,90709}{t^{1,5}}$
<b>Zn</b>	$\tau_{11I} = \sqrt{2596,132522 - 0,00088215 \cdot t^3}$	$\tau_{11II} = \sqrt{2030,602251 - 0,00052849 \cdot t^3}$
<b>Outro</b>		
<b>Na</b>	$\tau_{12I} = -0,71773733 + \frac{15970,123}{t^{1,5}}$	$\tau_{12II} = 35,67322585 - \frac{2096,41042}{t^{1,5}}$
<b>i</b>	<b>Experimento III</b>	<b>Experimento IV</b>
<b>Micronutrientes</b>		
<b>B</b>	$\tau_{7III} = \sqrt[2]{2052,678559 - \frac{1,5759 \cdot 10^6}{t^2}}$	$\tau_{7IV} = \sqrt[2]{2452,225931 - \frac{1,8827 \cdot 10^6}{t^2}}$
<b>Cu</b>	$\tau_{8III} = 12,37956537 - 1,0687 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$	$\tau_{8IV} = 11,91530635 - 8,0838 \cdot 10^{-7} \cdot t^3$
<b>Fe</b>	$\tau_{9III} = 152,6345050 + 1,82248 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t}$	$\tau_{9IV} = 143,9897148 + 6,24335 \cdot 10^{16} \cdot e^{-t}$
<b>Mn</b>	$\tau_{10III} = 75,32236775 - \frac{3999,15764}{t^{1,5}}$	$\tau_{10IV} = 114,1821767 - \frac{11060,749}{t^{1,5}}$
<b>Zn</b>	$\tau_{11III} = \sqrt{2031,559989 - 0,00039510 \cdot t^3}$	$\tau_{11IV} = \sqrt{2204,683152 - 7,8655 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}$
<b>Outro</b>		
<b>Na</b>	$\tau_{12III} = 11,02580117 + \frac{9941,728425}{t^{1,5}}$	$\tau_{12IV} = 13,15769034 + \frac{2545,42278}{t^{1,5}}$

e

(iv) caracterizar as curvas de marcha de absorção ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e taxa de absorção ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de nutrientes

**A. Marcha de absorção ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de macronutrientes:** nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre:

<b>i</b>	<b>Experimento I</b>
<b>Extração de Macronutrientes (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	
<b>N</b>	$N_{1I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{30,57827079 - 1,0699^{-5} \cdot t^3}}{100}$
<b>P</b>	$N_{2I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,094565127 - 3,3576 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$
<b>K</b>	$N_{3I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{1,544172247 + 43,18453684 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100}$
<b>Ca</b>	$N_{4I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{0,050383082 + 0,0000467809 \cdot t^2})$
<b>Mg</b>	$N_{5I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,222015493 + \frac{219,0551999}{t^2} \right)$
<b>S</b>	$N_{6I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,087333987 - 2,3477 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$

<b>i</b>	<b>Experimento II</b>
<b>Extração de Macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	
<b>N</b>	$N_{1II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{27,14859370 - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}}{100}$
<b>P</b>	$N_{2II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,075798163 - 1,3271 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$
<b>K</b>	$N_{3II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{2,288078329 + 33,62325525 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100}$
<b>Ca</b>	$N_{4II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{0,107667342+0,0000466496 \cdot t^2})$
<b>Mg</b>	$N_{5II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,202214708 + \frac{248,8343405}{t^2} \right)$
<b>S</b>	$N_{6II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,077391751 - 1,3587 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$

<b>i</b>	<b>Experimento III</b>
<b>Extração de Macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	
<b>N</b>	$N_{1III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{31,58383448 - 9,323 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}}{100}$
<b>P</b>	$N_{2III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,086466292 - 1,4468 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$
<b>K</b>	$N_{3III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{4,986875754 + 23,02330232 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100}$
<b>Ca</b>	$N_{4III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{0,020302571+0,0000502034 \cdot t^2})$
<b>Mg</b>	$N_{5III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,274705719 + \frac{171,0392633}{t^2} \right)$
<b>S</b>	$N_{6III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,074452748 - 1,2104 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$

i	<b>Experimento IV</b>
<b>Extração de Macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	
<b>N</b>	$N_{1IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{29,94873613 - 8,9117 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}}{100}$
<b>P</b>	$N_{2IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,092188784 - 1,8133 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$
<b>K</b>	$N_{3IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{3,245032902 + 58,71236815 \cdot \frac{\ln(t)}{t}}}{100}$
<b>Ca</b>	$N_{4IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot (e^{-0,07984958+0,000071047 \cdot t^2})$
<b>Mg</b>	$N_{5IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{1}{100} \cdot \left( 0,328806135 + \frac{81,98353689}{t^2} \right)$
<b>S</b>	$N_{6IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{0,075014630 - 1,7607 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}{100}$



**B. Marcha de absorção (g ha<sup>-1</sup>) de micronutrientes: boro, cobre, ferro, manganês e zinco, e**

**C. Outro (ppm): sódio:**

i	Experimento I
<b>Extração de Micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>)</b>	
<b>B</b>	$N_{7I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{1683,512009 - \frac{783020,568}{t^2}}}{1000} \right)$
<b>Cu</b>	$N_{8I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{(13,03874073 - 1,5092 \cdot 10^{-6} \cdot t^3)}{1000}$
<b>Fe</b>	$N_{9I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{(199,3005334 + 1,49198 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t})}{1000}$
<b>Mn</b>	$N_{10I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \left( 68,22734201 - \frac{4703,09717}{t^{1,5}} \right)$
<b>Zn</b>	$N_{11I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{2596,132522 - 0,00088215 \cdot t^3}}{1000}$
<b>Outro</b>	
<b>Na</b>	$N_{12I} = \left( \frac{13846,23651}{1 + e^{-\frac{t-69,30165234}{14,39059192}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( -0,71773733 + \frac{15970,123}{t^{1,5}} \right)$

i	Experimento II
<b>Extração de Micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>)</b>	
<b>B</b>	$N_{7II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{1575,1574 - \frac{1051292,2}{t^2}}}{1000} \right)$
<b>Cu</b>	$N_{8II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{(12,15614032 - 9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^3)}{1000}$
<b>Fe</b>	$N_{9II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{(173,9925117 + 6,12604 \cdot 10^{16} \cdot e^{-t})}{1000}$
<b>Mn</b>	$N_{10II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \left( 80,22978056 - \frac{5165,90709}{t^{1,5}} \right)$
<b>Zn</b>	$N_{11II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{\sqrt{2030,602251 - 0,00052849 \cdot t^3}}{1000}$
<b>Outro</b>	
<b>Na</b>	$N_{12II} = \left( \frac{16149,90584}{1 + e^{-\frac{t-66,62087798}{12,76305241}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 35,67322585 - \frac{2096,41042}{t^{1,5}} \right)$

i	Experimento III
Extração de Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> )	
<b>B</b>	$N_{7,III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2052,678559 - \frac{1,5759 \cdot 10^6}{t^2}}}{1000} \right)$
<b>Cu</b>	$N_{8,III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{12,37956537 - 1,0687 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}{1000} \right)$
<b>Fe</b>	$N_{9,III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{152,6345050 + 1,82248 \cdot 10^{17} \cdot e^{-t}}{1000} \right)$
<b>Mn</b>	$N_{10,III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( 75,32236775 - \frac{3999,15764}{t^{1,5}} \right)$
<b>Zn</b>	$N_{11,III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2031,559989 - 0,00039510 \cdot t^3}}{1000} \right)$
Outro	
<b>Na</b>	$N_{12,III} = \left( \frac{18624,58493}{1 + e^{-\frac{t-76,39810379}{16,28463144}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 11,02580117 + \frac{9941,728425}{t^{1,5}} \right)$

i	Experimento IV
Extração de Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> )	
<b>B</b>	$N_{7,IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2452,225931 - \frac{1,8827 \cdot 10^6}{t^2}}}{1000} \right)$
<b>Cu</b>	$N_{8,IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{11,91530635 - 8,0838 \cdot 10^{-7} \cdot t^3}{1000} \right)$
<b>Fe</b>	$N_{9,IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{143,9897148 + 6,24335 \cdot 10^{16} \cdot e^{-t}}{1000} \right)$
<b>Mn</b>	$N_{10,IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( 114,1821767 - \frac{11060,749}{t^{1,5}} \right)$
<b>Zn</b>	$N_{11,IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \left( \frac{\sqrt{2204,683152 - 7,8655 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}}{1000} \right)$
Outro	
<b>Na</b>	$N_{12,IV} = \left( \frac{23521,46394}{1 + e^{-\frac{t-70,95465735}{15,53296811}}} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left( 13,15769034 + \frac{2545,42278}{t^{1,5}} \right)$

**C. Taxa de absorção (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre:**

<b>Experimento I</b>	
<b>Taxa de extração de Macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>N</b>	$\beta_{1,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,30,578 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,069 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \right]}{200 \cdot 14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right)^2 \cdot \sqrt{30,578 - 1,069 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}}$
<b>P</b>	$\beta_{2,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,094 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 3,357 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \right]}{200 \cdot 14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right)^2 \cdot \sqrt{0,094 - 3,357 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$
<b>K</b>	$\beta_{3,I} = \frac{13846,236 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (1,544 \cdot t + 43,184 \cdot \log(t)) + 14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1 \right) \cdot (43,184 - 43,184 \cdot \text{Log}(t)) \right)}{200 \cdot 14,390 \cdot t^2 \cdot \left( e^{\frac{69,301-t}{14,390}} + 1 \right)^2 \cdot \sqrt{1,544 + \frac{43,184 \cdot \text{Log}(t)}{t}}}$
<b>Ca</b>	$\beta_{4,I} = \frac{13846,236 \cdot 4,678 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{0,050+4,678 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}{100 \cdot \left( e^{-\frac{t-69,301}{14,390}} + 1 \right)} + \frac{13846,236 \cdot e^{-\frac{t-69,301}{14,390+0,050+4,678 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot 14,390 \cdot \left( e^{-\frac{t-69,301}{14,390}} + 1 \right)^2}$
<b>Mg</b>	$\beta_{5,I} = - \frac{13846,24 \cdot e^{\frac{69,301+t}{14,390}} \left[ 2,14,390 \cdot 69,301 \cdot \left( e^{\frac{69,301+t}{14,390}} + 1 \right) - 69,301 \cdot t - 0,222 \cdot t^3 \right]}{100 \cdot 14,390 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{69,301+t}{14,390}} + 1 \right)^2}$
<b>S</b>	$\beta_{6,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,087 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 2,347 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \right]}{200 \cdot 14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right)^2 \cdot \sqrt{0,087 - 2,347 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$

<b>Experimento II</b>	
<b>Taxa de extração de Macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>N</b>	$\beta_{1,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \left[ 2,27,148 \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot (3,12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} \right]}{200 \cdot 12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right)^2 \cdot \sqrt{27,148 - 9,213 \cdot 10^{-6} \cdot t^3}}$
<b>P</b>	$\beta_{2,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \left[ 2,0,075 \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} - 1,327 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} \right]}{200 \cdot 12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620}{12,763}} + e^{\frac{t}{12,763}} \right)^2 \cdot \sqrt{0,075 - 1,327 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$
<b>K</b>	$\beta_{3,II} = \frac{16149,905 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (2,288 \cdot t + 33,623 \cdot \log(t)) + 12,763 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right) \cdot (33,623 - 33,623 \cdot \text{Log}(t)) \right)}{200 \cdot 12,763 \cdot t^2 \cdot \left( e^{\frac{66,620-t}{12,763}} + 1 \right)^2 \cdot \sqrt{2,288 + \frac{33,623 \cdot \text{Log}(t)}{t}}}$
<b>Ca</b>	$\beta_{4,II} = \frac{16149,905 \cdot 4,664 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{0,107+4,664 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}{100 \cdot \left( e^{-\frac{t-66,620}{12,763}} + 1 \right)} + \frac{16149,905 \cdot e^{-\frac{t-66,620}{12,763+0,107+4,664 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot 12,763 \cdot \left( e^{-\frac{t-66,620}{12,763}} + 1 \right)^2}$
<b>Mg</b>	$\beta_{5,II} = - \frac{16149,90 \cdot e^{\frac{66,620+t}{12,763}} \left[ 2,12,763 \cdot 66,620 \cdot \left( e^{\frac{66,620+t}{12,763}} + 1 \right) - 66,620 \cdot t - 0,202 \cdot t^3 \right]}{100 \cdot 12,763 \cdot t^3 \cdot \left( e^{\frac{66,620+t}{12,763}} + 1 \right)^2}$
<b>S</b>	$\beta_{6,II} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,077 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,358 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \right]}{200 \cdot 14,390 \cdot \left( e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}} \right)^2 \cdot \sqrt{0,077 - 1,358 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$

<b>i</b>	<b>Experimento III</b>
<b>Taxa de extração de Macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>N</b>	$\beta_{1,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \left[ 2,31,583 \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} - 9,323 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}}) \right]}{200,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}})^2 \cdot \sqrt{31,583 - 9,323 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}}$
<b>P</b>	$\beta_{2,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \left[ 2,0,086 \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} - 1,446 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}}) \right]}{200,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284}} + e^{\frac{t}{16,284}})^2 \cdot \sqrt{0,086 - 1,446 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$
<b>K</b>	$\beta_{3,III} = \frac{18624,584 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (4,986 \cdot t + 23,023 \cdot \log(t)) + 16,284 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1) \cdot (23,023 - 23,023 \cdot \text{Log}(t)) \right)}{200,16,284 \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284}} + 1)^2 \cdot \sqrt{4,986 + \frac{23,023 \cdot \text{Log}(t)}{t}}}$
<b>Ca</b>	$\beta_{4,III} = \frac{18624,584 \cdot 5,020 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{0,0203+5,020 \cdot 10^{-5} \cdot t^2} + 18624,584 \cdot e^{-\frac{t-76,398}{16,284+0,020+5,020 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot (e^{-\frac{t-76,398}{16,284}} + 1)} + \frac{18624,584 \cdot e^{-\frac{t-76,398}{16,284}}}{100,16,284 \cdot (e^{-\frac{t-76,398}{16,284}} + 1)^2}$
<b>Mg</b>	$\beta_{5,III} = - \frac{18624,58 \cdot e^{\frac{76,398+t}{16,284}} \left[ 2,16,284 \cdot 76,398 \cdot (e^{\frac{76,398+t}{16,284}} + 1) - 76,398 \cdot t - 0,274 \cdot t^3 \right]}{100,16,284 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{76,398+t}{16,284}} + 1)^2}$
<b>S</b>	$\beta_{6,III} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,074 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,210 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}}) \right]}{200,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{0,074 - 1,210 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$

<b>i</b>	<b>Experimento IV</b>
<b>Taxa de extração de Macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>N</b>	$\beta_{1,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \left[ 2,29,948 \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} - 8,911 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3,15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}}) \right]}{200,15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}})^2 \cdot \sqrt{29,948 - 8,911 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}}$
<b>P</b>	$\beta_{2,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \left[ 2,0,092 \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} - 1,813 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}}) \right]}{200,15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532}} + e^{\frac{t}{15,532}})^2 \cdot \sqrt{0,092 - 1,813 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$
<b>K</b>	$\beta_{3,IV} = \frac{23521,463 \cdot \left( 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot (3,245 \cdot t + 58,712 \cdot \log(t)) + 15,532 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1) \cdot (58,712 - 58,712 \cdot \text{Log}(t)) \right)}{200,15,532 \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532}} + 1)^2 \cdot \sqrt{3,245 + \frac{58,712 \cdot \text{Log}(t)}{t}}}$
<b>Ca</b>	$\beta_{4,IV} = \frac{23521,463 \cdot 7,104 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot t) \cdot e^{-0,079+7,104 \cdot 10^{-5} \cdot t^2} + 23521,463 \cdot e^{-\frac{t-70,954}{15,532-0,079+7,104 \cdot 10^{-5} \cdot t^2}}}{100 \cdot (e^{-\frac{t-70,954}{15,532}} + 1)} + \frac{23521,463 \cdot e^{-\frac{t-70,954}{15,532}}}{100,15,532 \cdot (e^{-\frac{t-70,954}{15,532}} + 1)^2}$
<b>Mg</b>	$\beta_{5,IV} = - \frac{23521,46 \cdot e^{\frac{70,954+t}{15,532}} \left[ 2,15,532 \cdot 70,954 \cdot (e^{\frac{70,954+t}{15,532}} + 1) - 70,954 \cdot t - 0,328 \cdot t^3 \right]}{100,15,532 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{70,954+t}{15,532}} + 1)^2}$
<b>S</b>	$\beta_{6,IV} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \left[ 2,0,075 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 1,760 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 \cdot (3,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}}) \right]}{200,14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390}} + e^{\frac{t}{14,390}})^2 \cdot \sqrt{0,075 - 1,760 \cdot 10^{-8} \cdot t^3}}$

**D. Taxa de absorção (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de micronutrientes: boro, cobre, ferro, manganês e zinco, e****C. Outro (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>): sódio:**

i	Experimento I
<b>Taxa de extração de Micronutrientes (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>B</b>	$\beta_{7,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \cdot (2.14,390 - 783020,568 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390} + e^{\frac{t}{14,390}}}) \cdot -t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} \cdot (1683,512 \cdot t^2 - 783020,568))}{1000 \cdot 14,390 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390} + e^{\frac{t}{14,390}}})^2}$
<b>Cu</b>	$\beta_{8,I} = \frac{13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (13,038 - 1,509 \cdot 10^{-6} \cdot t^3) + 3.1,509 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1})}{1000 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1})^2}$
<b>Fe</b>	$\beta_{9,I} = \frac{13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (199,300 + 1,491 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t}) - 1,491 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1})}{1000 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1})^2}$
<b>Mn</b>	$\beta_{10,I} = \frac{0,0015 \cdot 13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (14,390 - 4703,097 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (68,227 - \frac{4703,097}{t^{1,5}}))}{14,390 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1})^2}$
<b>Zn</b>	$\beta_{11,I} = \frac{13846,236 \cdot e^{\frac{t}{14,390}} \cdot (2.2596,132 \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}} - 0,0008 \cdot t^2 \cdot (3.14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390} + e^{\frac{t}{14,390}}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{69,301}{14,390}})}{2000 \cdot 14,390 \cdot (e^{\frac{69,301}{14,390} + e^{\frac{t}{14,390}}})^2 \cdot \sqrt{2596,132 - 0,0008 \cdot t^3}}$
<b>Outro</b>	
<b>Na</b>	$\beta_{12,I} = \frac{0,0015 \cdot 13846,236 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (14,390 \cdot 15970,123 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{69,301-t}{14,390}} \cdot (-0,717 + \frac{15970,123}{t^{1,5}}))}{14,390 \cdot (e^{\frac{69,301-t}{14,390} + 1})^2}$

i	Experimento II
<b>Taxa de extração de Micronutrientes (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>B</b>	$\beta_{7,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \cdot (2.12,763 - 1051292,2 \cdot (e^{\frac{66,620}{12,763} + e^{\frac{t}{12,763}}}) \cdot -t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} \cdot (1575,157 \cdot t^2 - 1051292,2))}{1000 \cdot 12,763 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{66,620}{12,763} + e^{\frac{t}{12,763}}})^2}$
<b>Cu</b>	$\beta_{8,II} = \frac{16149,905 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (12,156 - 9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^3) + 3 \cdot -9,533 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1})}{1000 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1})^2}$
<b>Fe</b>	$\beta_{9,II} = \frac{16149,905 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (173,992 + 6,126 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t}) - 6,126 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1})}{1000 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1})^2}$
<b>Mn</b>	$\beta_{10,II} = \frac{0,0015 \cdot 16149,905 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (12,763 - 5165,907 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (80,229 - \frac{5165,907}{t^{1,5}}))}{12,763 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1})^2}$
<b>Zn</b>	$\beta_{11,II} = \frac{16149,905 \cdot e^{\frac{t}{12,763}} \cdot (2.2030,602 \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}} - 0,0005 \cdot t^2 \cdot (3.12,763 \cdot (e^{\frac{66,620}{12,763} + e^{\frac{t}{12,763}}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{66,620}{12,763}})}{2000 \cdot 12,763 \cdot (e^{\frac{66,620}{12,763} + e^{\frac{t}{12,763}}})^2 \cdot \sqrt{2030,602 - 0,0005 \cdot t^3}}$
<b>Outro</b>	
<b>Na</b>	$\beta_{12,II} = \frac{0,0015 \cdot 16149,905 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (12,763 - 2096,410 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{66,620-t}{12,763}} \cdot (35,673 - \frac{2096,410}{t^{1,5}}))}{12,763 \cdot (e^{\frac{66,620-t}{12,763} + 1})^2}$

<b>i</b>	<b>Experimento III</b>
<b>Taxa de extração de Micronutrientes (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>B</b>	$\beta_{7,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \cdot (2,16,284 - 1,575 \cdot 10^6 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}}) \cdot -t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} \cdot (2052,678 \cdot t^2 - 1,575 \cdot 10^6))}{1000 \cdot 16,284 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}})^2}$
<b>Cu</b>	$\beta_{8,III} = \frac{18624,584 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (12,379 - 1,068 \cdot 10^{-6} \cdot t^3) + 3 \cdot -1,068 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1}))}{1000 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1})^2}$
<b>Fe</b>	$\beta_{9,III} = \frac{18624,584 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (152,634 + 1,822 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t}) - 1,822 \cdot 10^{17} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1}))}{1000 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1})^2}$
<b>Mn</b>	$\beta_{10,III} = -\frac{0,0015 \cdot 18624,584 \cdot (16,284 - 3999,157 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (75,322 - \frac{3999,157}{t^{1,5}}))}{16,284 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1})^2}$
<b>Zn</b>	$\beta_{11,III} = \frac{18624,584 \cdot e^{\frac{t}{16,284}} \cdot (2,2031,559 \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}} - 0,0003 \cdot t^2 \cdot (3,16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{76,398}{16,284}})}{2000 \cdot 16,284 \cdot (e^{\frac{76,398}{16,284} + e^{\frac{t}{16,284}}})^2 \cdot \sqrt{2031,559 - 0,0003 \cdot t^3}}$
<b>Outro</b>	
<b>Na</b>	$\beta_{12,III} = -\frac{0,0015 \cdot 18624,584 \cdot (16,284 \cdot 9941,728 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{76,398-t}{16,284}} \cdot (11,025 + \frac{9941,728}{t^{1,5}}))}{16,284 \cdot (e^{\frac{76,398-t}{16,284} + 1})^2}$

<b>i</b>	<b>Experimento IV</b>
<b>Taxa de extração de Micronutrientes (g ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	
<b>B</b>	$\beta_{7,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \cdot (2,15,532 - 1,882 \cdot 10^6 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532} + e^{\frac{t}{15,532}}}) \cdot -t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} \cdot (2452,225 \cdot t^2 - 1,882 \cdot 10^6))}{1000 \cdot 15,532 \cdot t^3 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532} + e^{\frac{t}{15,532}}})^2}$
<b>Cu</b>	$\beta_{8,IV} = \frac{23521,463 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot (11,915 - 8,083 \cdot 10^{-7} \cdot t^3) + 3 \cdot -8,083 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1}))}{1000 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1})^2}$
<b>Fe</b>	$\beta_{9,IV} = \frac{23521,463 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot (143,989 + 6,243 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t}) - 6,243 \cdot 10^{16} \cdot (e^t)^{-t} \cdot (t + \log(e^t)) \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1}))}{1000 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1})^2}$
<b>Mn</b>	$\beta_{10,IV} = -\frac{0,0015 \cdot 23521,463 \cdot (15,532 - 11060,749 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot (114,182 - \frac{11060,749}{t^{1,5}}))}{15,532 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1})^2}$
<b>Zn</b>	$\beta_{11,IV} = \frac{23521,463 \cdot e^{\frac{t}{15,532}} \cdot (2,2204,683 \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}} - 7,865 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \cdot (3,15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532} + e^{\frac{t}{15,532}}}) + 2 \cdot t \cdot e^{\frac{70,954}{15,532}})}{2000 \cdot 15,532 \cdot (e^{\frac{70,954}{15,532} + e^{\frac{t}{15,532}}})^2 \cdot \sqrt{2204,683 - 7,865 \cdot 10^{-5} \cdot t^3}}$
<b>Outro</b>	
<b>Na</b>	$\beta_{12,IV} = -\frac{0,0015 \cdot 23521,463 \cdot (15,532 \cdot 2545,422 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1}) - 0,666 \cdot e^{\frac{70,954-t}{15,532}} \cdot (13,157 + \frac{2545,422}{t^{1,5}}))}{15,532 \cdot (e^{\frac{70,954-t}{15,532} + 1})^2}$



## REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G. Micronutrientes. **In:** NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C., eds. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG; **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.646-736. 2007.
- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, Amsterdam, v.69, p.15-40, 1993.
- ADRIANO, D.C. Trace elements in terrestrial environments. **Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals**, New York, Springer-Verlag, ed. 2, p.867, 2001.
- AGROPRECISION. **Quanto irrigar na cultura da soja**. 2017. Disponível em: <<https://www.agroprecision.com.br/quanto-irrigar-na-cultura-da-soja/>>. Acesso: 27 set. 2022.
- ALTARUGIO, L.M.; LOMAN, M.H.; NIRSCHL, M.G.; SILVANO, R.G.; ZAVASCHI, E.; CARNEIRO, L.M.S.; VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C.; OTTO, R. Desempenho produtivo de soja e milho submetidos à aplicação foliar de magnésio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. v. 52, n. 12, 2017.
- ALVARENGA, A. **Identificação dos estádios fenológicos da cultura de soja**. 2019. Disponível em: <<https://rehagro.com.br/blog/identificacao-dos-estadios-fenologicos-da-soja/>>. Acesso: 28 ago. 2021.
- ALVAREZ, V.H. Enxofre. **In:** NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. Ed. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.595-644. 2007.
- ANDRADE, G.J.M; ROSOLEM, C.A. Absorção de manganês em soja RR sob efeito do glifosate. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.35, p.961-968, 2011.
- ANTIGO, V.; MATIAS, R.F.; BIDO, G.S.; FELIPE, D.F.; MANNIGEL, A.R. Avaliação de parâmetros agronômicos da cultura soja em resposta a diferentes doses de adubação potássica. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v.17 n.32; p. 113, 2020.
- ARAÚJO, W.F.; SAMPAIO, R.A.; MEDEIROS, R.D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.36, n.2, p.129-134, 2005.
- BAKER, H.C. The evolution of weeds. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, ed.5, p.124, 1974.
- BASSO, C.J.; SANTI, A.L.; LAMEGO, F.P.; GIROTTO, E. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.10, p.1726-1731, 2011.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Absorção de nutrientes pela soja. **Instituto Agrônomo**, (Boletim Técnico,41), p.36, 1977.



BATTISTI, R. Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil. Piracicaba, São Paulo, 2013. **Dissertação** de mestrado, Engenharia de sistemas agrícolas. USP Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

BAYER. **Entenda os grupos de maturação relativa da soja**. 2021. Disponível em: <<https://www.intactabr.com.br/jornada-do-agricultor/grupo-de-maturacao-relativa-da-soja/>>. Acesso: 22 set. 2022.

BERGMANN, W. Colour atlas nutritional disorders of plants. **Phosyn**, New York, p.386, 1992.

BEVILAQUA, G.A.P.; SILVA FILHO, P.M.; POSSENTI, J.C. Aplicação foliar de cálcio e boro e componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.31-34, 2002.

BIANCO, S.; CARVALHOM, L.B.; BIANCO, M.S.; PITELLI, R.A. Acúmulo de massa seca e de macronutrientes por plantas de *Glycine max* e *Solanum americanum*. **Planta Daninha**, v.30, n.1, p.87-95, 2012.

BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, v.33, p.353-360, 1919.

BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. Seja o doutor da sua soja. **Informações Agronômicas**, p.1-17. 1994.

BRIGGS, G.E.; KIDD, F.A.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. **Part I. Annals of Applied Biology**, v.7, p.103-123, 1920.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

CAKMAK, I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist**, Cambridge, v. 146, p. 185-205, 2000.

CÂMARA, G.M.S. Caracterização Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **Visão agrícola**. Ed.1, n.5, p.63-66. 2006.

CAMPELO, M.J.A.; PASSAVANTE, J.Z.O.; KOENING, M.L. Biomassa fitoplanctônica e parâmetros ambientais na praia de Carne de Vaca, Goiana, Pernambuco, Brasil. **Trab. Oceanog**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, v.27, n.2, p.27-41, 1999.

CORRÊA, M.; DINIZ, R. **Marcha de absorção de nutrientes e o impacto no manejo nutricional**. 2021. Disponível em: <<http://h2agrosociencias.com.br/2021/05/31/marcha-de-absorcao-de-nutrientes-e-o-impacto-no-manejo-nutricional/>>. Acesso: 25 ago. 2022.

CORRÊA, S.T.R.; LORENÇONI, R.; DOURADO NETO, D.; SCARPARE, F.V.; VIVIAN, R.; RUIZ, E.R. Modelagem. **Revista de Agricultura**. v.86, n.1, p.1-13, 2011.

- CRISPINO, C.C.; FRANCHINI, J.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLE, R.N.R.; LOUREIRO, M.F.; SANTOS, E.N.; CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. Adubação nitrogenada na cultura da soja. **Embrapa**, Londrina, p.6, 2001.
- CRUZ, T.V.; PEIXOTO, C.P.; MARTINS, M.C.; BRUGNERA, A.; LEDO, C.A.S.; LOPES, P.V.L. Acúmulo de matéria seca e área foliar de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no Oeste da Bahia. **Magistra**, v.22, p.103-111, 2010.
- DALL'AGNOL, A.; NOGUEIRA, M.A. Ferro, nutriente na cultura da soja. **Embrapa Soja**, 2021. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2021/05/03/ferro-nutriente-essencial-na-cultura-da-soja/>>. Acesso: 8 jan. 2023.
- DALL'AGNOL, A.; NOGUEIRA, M.A. Importância do magnésio no manejo nutricional dos cultivos. **Embrapa Soja**, v.1, p.1, 2021
- DANGL, J.L.; DIETRICH, R.A.; THOMAS, H. Senescence and programmed cell death. **In:** BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (Ed). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: **American Society of Plant Physiologists**, chap. 20, p.1044-1100, 2002.
- DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MARINI, D.; SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Agriambi, Campina Grande, v.17, n.10, p.1023-1029, 2013.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. **In:** FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.326-354
- DEVLIN, R. *Plant physiology* New York: **John Willey & Sons**, p.600, 1975.
- DOMENE, V.M.; PIANA, S.C.; BATISTA, M.A.; BRACCINI, A.L. Aferição da marcha de absorção de nutrientes de soja com hábito de crescimento indeterminado. **In:** XXVI Encontro Anual de Iniciação Científica, 2017, Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Agrárias / Maringá, PR.
- DOMINGUES, L.C.S.; SÁ, M.E.; CAMILO, M.A.C.; MASUMI, H.S. Produtividade de quatro cultivares de soja em função da aplicação de fertilizante mineral foliar a base de cálcio e boro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, n.2, p.37-44, 2008.
- DOURADO NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of Crop Modelling and Simulation: II. The Implications of the Objective in Model Development. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.51–57, 1998.
- DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F.; RECO, P.C. Acúmulo de massa de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas v.2, n.3, p.1-20, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Correção e manutenção da fertilidade do solo. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2009 e 2010. (Sistemas de produção, 13). Londrina: **Embrapa Soja**, p.262, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Entenda como o Brasil se tornou o maior produtor de soja do mundo**. Embrapa, 2021. Disponível em: <<https://agencia.fpagropecuaria.org.br/2021/01/29/entenda-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-de-soja-do-mundo/>>. Acesso em: 10 Ago. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Fixação Biológica de Nitrogênio em Soja**. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3780/fixacao-biologica-de-nitrogenio-em-soja>>. Acesso: 2 jan. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de segurança e qualidade para a cultura de soja. Brasília, DF: **Embrapa - Transferência de Tecnologia**, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de Produção de Soja - Paraná 2007. Sistemas de Produção, **Embrapa Soja**, n.10, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja - Região central do Brasil. **Embrapa**, Sistema de Produção, v.1, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2012 e 2013. Sistemas de Produção, **Embrapa Soja**, n.15, 2011.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. **Sinauer Associates**, v. 2, p.400, 2004.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. **Planta**, ed.2, 2006.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.390-395, 2000.

FAGUNDES, J.D.; SANTIAGO, G.; MELLO, A. M.; BELLÉ, R.A.; STRECK, N.A. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annuus* L.): fontes e doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.987-993, 2007.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. **Universidade Federal de Lavras/FAEPE**, p.186, 2005.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia de soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2007. (Circular Técnica, 48).

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. stages of soybean development. Ames: Iowa State University, **Special Report**, ed. 80, 12p. 1977.

- FERNANDES, M.S. Nutrição Mineral de Plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa - MG, 432p., 2006.
- FERRARI, J.C.; BOIAGO, N.P. Diferentes doses via foliar do micronutriente boro na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v.15, p.163-171, 2022.
- FRANCO, A.A.N. Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo. **Dissertação** (Mestre em Produção Vegetal). 2011. 74p. Janaúba-MG: Universidade Estadual de Montes Claro.
- FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; MEDA, A.R.; DUARTE, A.P.; Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use. **Scientia Agricola**, v.62, n.3, p.264-273, 2005.
- FURLANI, A.M.C.; TANAKA, R.T.; TARALLO, M.; VERDIAL, M.F.; MASCARENHAS, H.A.A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, n.25, p.929-937, 2001.
- GARCIA, G.G.; SILVA, T.R.B.; SECCO, D. Épocas de aplicação e doses de fertilizante a base de cobre e zinco no rendimento de grãos de soja. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.4, p.18-25, 2009.
- GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.L.V.; NEVES, J.C.; MORAES, W.B.; SANTOS, D.B. Leaf contents of cationic macronutrients and their relationships with sodium in maize plants under saline stress. **Idesia (Arica)**, n.25, v.3, p.93-106, 2007.
- GAZZONI, D.L. **Soja e abelhas**. Embrapa soja. Londrina-PR, p.152, 2017.
- GRIEVE, C.M.; GRATTAN, S.R.; MAAS, E.V. PLANT SALT TOLERANCE. In: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Agricultural Salinity Assessment and Management.**, cap. 13, p. 405-460, 2011.
- HEENAN, D.P.; CAMPBELL, L.C. Soybean nitrate reductase activity influenced by manganese nutrition. **Plant Cell Physiology**, v.21, p.731-736, 1980.
- HIRAKURI, M.H.; LAZZAROTTO, J.J. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011.
- HUNGRIA, M.; CAMPOS, R.J.; MENDES, I.C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Embrapa Soja Circular Técnica**, n.35, p.1-48, 2001.
- INOCÊNCIO, M.F.; RESENDE, A.V.; NETO, A.E.F.; VELOSO, M.P.; FERRAZ, F.M.; HICKMANN, C. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.47, n.10, p.1550-1554, 2012.
- INOUE, L. **Cultura de soja: sua importância na atualidade**. 2019. Disponível em: <<https://blog.agromove.com.br/cultura-soja-importancia-na-atualidade/>>. Acesso: 20 ago. 2021.

JORDÃO, L.T.; BARZAN, R.R.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; LAVRES JUNIOR, J. Nível crítico de potássio em folhas de soja com tipo de crescimento indeterminado. **In: VII Congresso Brasileiro de Soja**, Florianópolis, 2015.

JONES, R.J. Effect of stocking rates on animal gain, pasture yield and composition, and soil properties from setaria-nitrogen and setaria-legume pastures in coastal south-east Queensland. **Tropical Grassland**, v.37, ed.2, p.65-83, 2003.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. **CRC Press**, New York, ed. 3, 2011.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. **CRC Press**, Boca Raton, ed.3, p.413, 2001.

KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. **Guanabara Koogan**, p. 451, 2004.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor de sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, p. 163-166, 2006.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 25–263, 2006.

KUSS, R.C.R. Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja. 2006. 81f. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. **Rima Artes e Textos**, São Carlos, p.531, 2000.

LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M.F.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.32, p.173-181, 2008.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation modeling and analysis**. 2 ed. New York: MacGraw-Hill, 1991.

LEMES, E.S.; MENDONÇA, A.O.; DIAS, L.W.; BRUNES, A.P.; OLIVEIRA, S.; FIN, S.S.; MENEGHELLO, G.E. Tratamento de sementes de soja com zinco: efeito na qualidade fisiológica e produtividade. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n.2, p.76-86, 2017.

LIM, P.O.; KIM, H.J.; NAN, H.G. Leaf senescence. **Annual Review of Plant Biology**, v.58, n.1, p.115-136, 2007.

LISSON, S.N.; INMAN-BAMBER, N.G.; ROBERTSON, M.J.; KEATING, B.A. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, n.2/3, p.321-335. 2005.

LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise quantitativa do crescimento vegetal. **Anais...** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, v.62, p.401-428, 1987.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, v.109, p.7-13, 1995.

MACHADO, A.W. **Zinco - tudo o que você precisa saber sobre este adubo**. 2022. Disponível em: < [https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes/zinco\\_466875.html](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes/zinco_466875.html)>. Acesso: 14 fev. 2023.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. **In:** FERRI, M.G. Fisiologia vegetal. São Paulo, EPU, v.1, p.363-450, 1985.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. **Agronômica Ceres**, São Paulo, p.638, 2006.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. **Agronômica Ceres**, p.528, 1976.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F.P.; ALCARDE, J.C. Adubos e adubações. **Nobel**, São Paulo, p.199, 2002.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba: **Potafos**, p.136, 1985.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. **Potafos**, p.201, 1989.

MANN, E.N.; RESENDE, P.M.; MANN, R.S.; CARVALHO, J.G.; PINHO, E.V.R. von. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.12, p.1757-1764, 2002.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of hight plants. **Elsevier**, Oxford-Inglaterra, v.3, p.643, 2012.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: **Academic Press**, p.889, 1995.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; KIKUTI, H. Nitrogênio: a soja aduba a lavoura da cana. **O Agrônomo**. Campinas, v.1, n.57, 2005.

MILLER, R.W.; PUSHNIK, J.C.; WELKIE, G. W. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. **Journal of Plant Nutrition**, n.7, p.1-22, 1984.

MISSÃO, M.R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Revista de Ciências Empresariais**, v.3, n.1, p.7-15, 2006.

MITCHELL, R.L.; RUSSEL, W.J. Root development and rooting patterns of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) evaluated under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.313-316, 1971.

MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.695-697, 1996.

MORAIS, L.; LANDGRAF, L. Nutrição equilibrada em potássio incrementa produtividade da soja. **EMBRAPA SOJA**, 2015.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. **In:** MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. A soja no Brasil. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p.65-104, 1981.

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos.** Departamento de plantas de lavouras da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, 2005.

MURATA, S.; SEKIYA, J. Effects of sodium on photosynthesis in *Panicum coloratum*. *Plant and Cell Physiology*. **Oxford** v. 33, p. 1239–1242, 1992.

NAGARATHANA, K.C.; SHETTY, A.; BHAR, S.G.; SHETTY H.S. The possible involment of lipoxygenase in downy mildew resistance in peral miller. **Journal of Experimental Botany**, v.43, p.1283-1287, 1992.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. **In:** Bonatto, E.R. (Ed.). Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, Cap.1, p.19-44, 2000.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; FOLONI, J.S.S. Marcha de absorção e acúmulo de macronutrientes em soja com tipo de crescimento indeterminado. **In:** Reunião de Pesquisa de Soja, 34., 2014, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, p. 133-136, 2014.

OLIVEIRA, F.C.; BENETT, C.G.S.; BENETT, K.S.S.; SILVA, L.M.; VIEIRA, B.C. Diferentes doses e épocas de aplicação de zinco na cultura da soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v.4, p.28-35, 2017.

PAUTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.476-488, 1992.

PEIXOTO, C.P. Comparação de cinco métodos de estimativa da área foliar do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Anais...** V Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal. Lavras, MG. 1995. p.92.

PEIXOTO, C.P. Curso de fisiologia vegetal. **In:** Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2020, Cruz das Almas, Bahia, p.2018. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjD44OL1tz5AhUiuJUChRwQD7oQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww2.ufrb.edu.br%2Fmapeneo%2Fdocumentos%3Fdownload%3D5%3Acurso-fisiologia-vegetal&usg=AOvVaw2DPEh679WigIBlqZrvT1XS>>. Acesso: 25 ago. 2022.

PILAU, F.G.; MARIN, F.R. Agrometeorologia digital: as bases biofísicas para a revolução digital no campo. **Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n.20, p.59-76, 2019.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente** 2.ed. Brasília: ABRATES, 1985. p.19-95.

PRABHAKAR, K. Seed yield and quality of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] as influenced by cultivar and sowing date in vertisols of Andhra Pradesh during kharif season. **Legume Research**, v.41, n.2, p.281-286, 2018.

PROCEDI, A. **Estádios de desenvolvimento da cultura da soja: resumo**. 2020. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/estagios-de-desenvolvimento-da-cultura-da-soja-resumo/>>. Acesso: 28 dez. 2022.

PROCEDI, A. **Fontes de fósforo**. 2019. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/fontes-de-fosforo/#:~:text=Contudo%2C%20o%20f%C3%B3sforo%20%C3%A9%20o,s%C3%A3o%20exportados%20para%20os%20gr%C3%A3os.>>. Acesso: 3 jan. 2023.

QUAGGIO, J.A.; PIZ JÚNIOR, C.T. Frutíferas tropicais. **In:** FERREIRA, M.E. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p.458-491, 2001.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.35, n.5, p.929-938, Brasília, 2000.

RAPER, D.C.; BARBER, S.A. Rooting systems of soybean. I. Differences in root morphology among varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v.62, p.581-584, 1970.

RERKASEM, B.; BELL, R.W.; LODKAEW, S.; LONERAGAN, J.F. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max*). **Nutr. Cycling Agroecos.**, v.48, p.217-223, 1997.

REZENDE, P.M.; CARVALHO, E.R.; SANTOS, J.P.; ANDRADE, M.J.B.; ALCANTARA, H.P. Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.5, p.1255-1259, 2009.

RISSI, Y.R. **A importância do Fósforo na cultura da soja**. 2020. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/a-importancia-do-fosforo-na-cultura-da-soja/>>. Acesso: 3 jan. 2023.

RODRIGUES, R.A. **Soja (*Glycine max*): Morfologia e Fisiologia**. 2016. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/GeagraUFG/morfologia-e-fenologia-da-cultura-da-soja>>. Acesso: 22 set. 2022.

ROMERO, R.R. Resposta fisiológica de plantas de *Eucalyptus grandis* à adubação com potássio ou sódio. **Dissertação** (Mestre em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2008.

ROMHELD, M.; NIKOLIC, M. Iron. **In:** BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. (Ed.) Handbook of plant nutrition. Boca Raton: Taylor & Francis, p.329-350, 2007.

SANTOS, M.S. **Cálcio: importante para plantas e para o solo**. 2021. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/calcio-importante-para-plantas-e-para-o-solo/>>. Acesso: 05 jan. 2023.

SANTOS, M.S. **Manejo de soja para altas produtividades**. 2020. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/manejo-de-soja-para-altas-produtividades-2/>>. Acesso: 20 ago. 2021.



SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos de soja**. Londrina: Ed. Mecenas, 2009. 314p.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. Botânica, descrição da planta e cruzamentos artificial. **In:** Cultura da Soja - I parte. Viçosa: UFV, p.5-6, 1985.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento da Soja. **In:** BORÉM, A. (Ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, p. 553-604. 2005.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. **In:** NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SINGH, M. V. Micronutrient seed treatment to nourish the crops at the critical stages of growth. **Indian Institute of Soil Science Technology Bulletin**, v.19, n.1, p.1-93, 2007.

SFREDO, G. J; LANTMANN, A. F. Enxofre nutriente necessário para maiores rendimentos da soja. Circular Técnica 53, **Embrapa**, Londrina, set. 2007.

SFREDO, G., J.; BORKERT, C., M. Deficiência e toxidades de nutrientes em plantas de soja. Londrina: **EMBRAPA Soja**, p.44, 2004.

SMIDERLE, O.J.; GIANLUPPI, V.; GIANLUPPI, D.; MARSARO JÚNIOR, A.L.; ZILLI, J.E.; NECHET, K.L.; BARBOSA, G.F.; MATTIONI, J.A.M. Cultivo de soja no cerrado de Roraima. Sistema de produção. Boa Vista: **Embrapa Roraima**, 2009.

SOLER, C.M.T. Uso do modelo CERES-MAIZE para previsão de safra do milho “safrinha”. **Tese** (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2004, 146p.

SOUSA, J.B. **Como escolher as melhores cultivares de soja para sua lavoura**. 2018. Disponível em: < <https://blog.aegro.com.br/cultivares-de-soja/>>. Acesso: 22 set. 2022.

STONE, L.R.; TEARE, I.D.; MICKELL, C.D.; MAYAKI, W.C. Soybean root development and soil water depletion. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.677-680, 1976.

TAIZ, L. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed**, Porto Alegre, ed.6, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. **Artmed**, Porto Alegre, ed.3, p.720, 2004.

TAKAHASHI, E.; MAEJIMA, K. comparative research on sodium as a beneficial element for crop plants. **Memoirs of the Faculty of Agriculture of Kinki University**, Kinki, p. 57–72, 1998.

TANNER, J.W.; ANDERSON, C. External effect of combined nitrogen on nodulation. **Plant Physiology**, v.39, p.1039-1043, 1964.

TERRY, N.Y.; ABADÍA, J. Function of iron in chloroplasts. **Journal of Plant Nutrition**, v.9, p.609-646, 1986.

TERUEL, D.A; DOURADO-NETO, D.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.683-691, 2000.

THORNLEY, J.H.M. Mathematical models in plant physiology: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology. **Academic Press.**, 318p., 1976.

THORNLEY, J.H.M.; JOHNSON, I.R. Plant and crop modelling – A mathematical approach to plant and crop physiology. **New Jersey: The Blackburn**, p.669, 2000.

THOMAS, D. The regulation of stomatal aperture in tobacco leaf epidermal strip. I. The effects of ions. **Australian Journal of Biological Science**, Collingwood, v. 23, p. 961–979, 1970.

VENDRAME, P.R.S.; BRITO, O.R.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.42, n.6, p.859-864, 2007.

VERNETTI, F.J. Genética da soja: caracteres quantitativos e diversidade genética. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, p.221, 2009.

VERNETTI, F.J. Genética da soja; características qualitativas. **In:** VERNETTI, F.J. (Ed.) Soja: genética e melhoramento. Campinas: Fundação Cargill, p.93-124, 1983.

VERNETTI, F.J.; GASTAL, M.F.C. **Descrição botânica da soja**. Embrapa - Pelotas RS. Circular técnico 7, 1979, 11p.

WANG, J.J. Kinetics of manganese uptake by excised roots of sensitive and tolerant tobacco genotypes. **J. Plant Nutrition**, v.26, p. 1439-1450, 2003.

WILSON, D.O.; BOSWELL, F.C.; OHKI, K.; PARKER, M.B.; SHUMAN, L.M.; JELLUM, M.D. Changes in soybean seed oil and protein as influenced by manganese nutrition. **Crop Science**, Madison, v.22, n.5, p.948-952, 1982.

WYN JONES, R.; BRADY, C.; SPEIRS, J. Ionic and osmotic relations in plants cells. **In:** LAIDMAN, D.; WYN JONES, R. (Ed.). **Advances in the Biochemistry of Cereals**. New York: Academic Press, p. 63–103, 1979.

ZADOCKS, J.C.; RABBINGE, R. Modelling to a purpose. **Advances in Plant Pathology**. v.3, p.231-244, 1985.

ZAVASCHI, E. **Manejo do boro na cultura da soja**. 2020. Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/manejo-do-boro-na-cultura-da-soja/>>. Acesso: 7 jan. 2023.



## ANEXOS

Especificações técnicas do equipamento de irrigação pivô central instalado na área experimental do departamento de produção vegetal da ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

<b>MARCA E MODELO:</b>	Pivô central CARBORUNDUM, modelo MPC 630/01-639/L4 G2S
<b>Composição do equipamento</b>	
Vão inicial:	Comprimento: 61,30 metros, com 9 tubos Diâmetro: 6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> " Altura livre: 3,07m
Lance em balanço:	Comprimento: 27,97 metros, com 4 tubos Diâmetro: 5 <sup>9</sup> / <sub>16</sub> " (2 primeiros tubos) e 4" (2 tubos finais)
Canhão final:	Vazão: 6,0 m <sup>3</sup> /h Raio de alcance: 15,8 metros
Número de torres:	Uma torre
Tamanho dos pneus:	12,4 x 24 (12,4" de largura da banda de rodagem x 24" de aro)
Potência do motorreductor:	1cv
Velocidade da última torre, com o relê percentímetro regulado em 100%:	180 metros por hora
Tempo mínimo para uma volta, com o relê percentímetro regulado em 100%:	2 horas e 9 minutos
<b>Área irrigada</b>	
Raio efetivo da área irrigada:	105,07 metros
Área circular irrigada:	3,47 hectares
<b>Lâminas aplicadas e vazão</b>	
Lâmina bruta aplicada (relê percentímetro a 10%):	13,2mm em 21 horas e 26 minutos
Vazão necessária:	21,35m <sup>3</sup> /h
Lâmina mínima aplicada (relê percentímetro a 100%):	1,32mm
<b>Linha adutora:</b>	Tubo de PVC DN -100 mm linha fixa, 180 metros de comprimento
<b>Conjunto motobomba:</b>	Bomba ALBRIZZI modelo 3048 acoplado a motor BUFALO de 7,5cv, 3450rpm, 220V, trifásico
<b>Pressões de operação</b>	
Altura manométrica total:	37,54mca
Pressão no ponto do pivô:	34,70mca
Pressão na extremidade final:	30mca
<b>Desnível motobomba ao ponto do pivô:</b>	0,50m, em aclave
<b>Desnível do ponto do pivô ao ponto mais alto do terreno:</b>	0,0m

**Coordenadas Geográficas Do Posto Meteorológico**

Local: Piracicaba, SP - Brasil

Latitude de 22° 42' 30" SUL

Longitude de 47° 38' 00" OESTE

Altitude de 546 metros

Tamanho da superfície de coleta 2062 m<sup>2</sup>

MES: OUTUBRO ANO: 2021												
DIA	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.	Rad Liq	Patm_kPa	
	(oC)	(%)	Vel(m/s)	(oC)	(%)	(oC)	(%)	(mm)	(MJ/m2.d)	(MJ/m2.d)	kPa Avg	
26	22.6	83.0	1.5	32.9	100.0	17.1	41.7	0.8	21.88	12.90	95.3	
27	23.3	89.6	1.4	30.3	100.0	19.8	56.5	18.0	14.76	8.31	95.4	
28	23.6	88.1	1.5	28.2	100.0	17.6	61.2	0.0	12.65	6.59	95.5	
29	23.2	74.8	2.2	30.4	100.0	17.6	50.9	0.0	22.64	11.93	95.2	
30	23.5	70.0	2.0	31.2	90.8	17.7	43.3	0.0	26.16	14.96	95.0	
31	20.3	88.9	1.4	22.8	96.5	18.6	79.4	5.3	6.61	1.34	95.0	
	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.			
MED MES	22.8	82.4	1.7	29.3	97.9	18.1	55.5	24.1	17.45	9.34	95.2	
ABS MES				32.9	100.0	17.1	41.7	18.0				

MES: NOVEMBRO ANO: 2021											
DIA	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.	Rad Liq	Patm_kPa
	(oC)	(%)	Vel(m/s)	(oC)	(%)	(oC)	(%)	(mm)	(MJ/m2.d)	(MJ/m2.d)	kPa Avg
1	21.6	78.0	2.4	26.3	89.7	18.6	58.1	0.0	14.80	7.87	94.8
2	22.7	69.6	2.3	29.3	92.5	16.7	44.2	0.0	28.29	15.25	94.8
3	23.8	64.5	2.1	31.2	86.7	17.8	37.3	0.0	28.85	15.54	94.7
4	24.7	61.9	1.6	32.6	96.0	15.9	28.2	0.0	29.50	16.34	94.6
5	26.4	54.8	1.7	33.1	78.2	19.3	35.2	0.0	29.05	16.43	94.6
6	25.7	55.2	1.7	33.8	87.8	17.9	28.4	0.0	28.60	16.10	94.7
7	23.9	58.4	2.3	33.4	79.8	17.0	33.8	0.0	28.08	15.85	94.8
8	23.6	64.1	2.2	33.3	83.5	16.7	35.8	0.0	26.67	13.24	94.8
9	23.6	67.6	2.4	31.8	83.0	18.2	45.6	0.0	25.02	11.65	94.9
10	23.0	70.5	2.2	32.8	97.0	17.4	37.8	5.1	26.39	12.20	94.9
11	19.7	80.0	2.8	23.7	96.1	17.1	65.7	9.9	6.52	1.76	95.1
12	19.9	68.7	3.5	26.0	86.0	14.9	49.6	0.0	19.07	8.95	95.2
13	19.5	57.4	2.8	27.6	79.2	13.5	31.7	0.0	27.20	11.48	95.1
14	21.5	61.5	1.7	30.8	93.9	11.8	28.5	0.0	28.85	13.54	95.0
15	24.0	53.4	1.4	32.3	89.2	14.3	25.7	0.0	29.26	14.35	95.0
16	25.1	51.8	1.1	32.3	90.2	15.6	27.7	0.0	21.44	9.61	95.0
17	26.6	54.1	1.4	34.2	86.3	17.0	33.3	0.3	25.36	13.11	94.7
18	22.0	92.4	0.7	26.7	98.7	19.7	67.9	19.6	7.56	2.77	94.6
19	22.4	89.3	1.5	27.9	99.4	19.7	68.4	79.0	12.35	4.88	94.6
20	22.0	71.7	3.0	27.9	89.8	17.1	51.2	0.0	24.25	11.96	95.0
21	21.6	66.9	2.1	30.4	89.0	14.8	38.8	0.0	30.36	14.97	94.9
22	22.7	57.2	1.2	32.7	97.5	12.3	14.6	0.0	31.71	15.73	94.8
23	25.8	44.5	1.2	34.7	86.2	14.0	14.8	0.0	29.46	14.91	94.8
24	25.3	59.0	2.3	33.1	80.7	18.9	29.6	0.0	28.00	13.47	95.0
25	26.4	58.9	1.2	34.8	88.6	18.2	23.8	0.0	28.49	15.68	94.8
26	21.7	89.9	1.8	25.6	97.7	19.6	68.3	20.1	8.29	1.07	94.5
27	24.7	67.7	1.6	30.9	97.9	18.9	37.8	0.3	28.71	15.83	94.2
28	25.4	60.3	1.4	32.3	95.3	17.0	32.8	0.0	28.41	15.58	94.3
29	25.5	70.6	1.6	32.7	94.1	18.9	38.7	1.8	19.87	10.25	94.3
30	22.7	87.3	1.8	28.5	97.6	19.8	62.0	10.4	14.62	6.58	94.4
	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.		
MED MES	23.4	66.2	1.9	30.7	90.3	16.9	39.8	146.3	23.83	11.90	94.8
ABS MES				34.8	99.4	11.8	14.6	79.0			

MES: DEZEMBRO ANO: 2021											
DIA	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.	Rad Liq	Patm_kPa
	(oC)	(%)	Vel(m/s)	(oC)	(%)	(oC)	(%)	(mm)	(MJ/m2.d)	(MJ/m2.d)	kPa Avg
1	25.3	72.6	1.5	32.2	98.7	19.5	35.5	0.0	27.22	15.95	94.5
2	24.0	70.6	1.9	31.6	91.4	18.5	39.6	0.0	22.31	10.94	94.7
3	23.7	68.2	2.7	31.5	86.4	18.6	43.2	0.0	28.15	14.51	94.7
4	24.4	62.8	2.1	32.4	86.8	17.6	27.9	0.0	28.29	14.42	95.0
5	24.0	69.1	1.7	32.0	89.3	17.9	41.4	0.0	27.23	14.74	95.0
6	23.9	64.6	2.2	30.9	84.2	18.9	38.2	0.0	23.04	12.61	94.9
7	20.7	70.2	3.7	25.8	85.2	16.2	50.8	2.0	19.17	8.01	94.9
8	20.6	65.8	2.9	26.3	82.3	15.8	46.4	0.0	21.39	9.98	95.0
9	21.4	60.6	2.2	28.8	86.8	14.8	30.9	0.0	30.34	14.72	94.9
10	22.5	56.2	1.9	30.4	87.7	14.8	21.6	0.0	32.11	15.69	94.7
11	25.2	47.0	1.4	33.7	80.3	15.9	25.1	0.0	29.43	15.20	94.4
12	26.3	57.6	1.5	34.8	83.2	17.2	33.7	1.0	23.38	12.41	94.4
13	23.8	85.9	0.9	30.8	98.5	21.5	55.2	8.1	9.18	3.86	94.7
14	24.1	87.4	0.7	29.2	98.9	21.2	60.9	3.3	13.49	6.44	94.6
15	23.2	92.6	0.8	29.4	99.0	21.3	63.0	26.4	9.68	4.07	94.5
16	25.5	80.5	1.0	31.6	99.0	21.2	51.9	0.5	20.28	12.16	94.5
17	23.3	91.7	1.1	28.6	98.8	21.5	72.2	26.9	9.34	3.69	94.8
18	24.3	72.0	2.9	29.8	89.1	19.6	51.6	0.0	22.27	11.00	94.9
19	22.5	69.2	2.8	29.3	88.6	17.4	44.2	0.0	27.28	13.10	94.9
20	23.4	67.2	1.5	30.9	94.6	15.5	39.2	0.0	25.58	13.17	94.7
21	25.5	62.8	1.2	32.7	90.6	18.1	29.7	0.0	28.73	16.14	94.5
22	27.1	60.8	1.8	34.3	89.6	19.5	28.1	0.0	29.36	16.82	94.4
23	22.4	71.5	2.9	27.1	89.5	17.3	54.7	2.3	15.94	7.11	94.6
24	21.3	65.9	2.5	28.3	91.4	14.8	42.5	0.0	25.99	12.18	94.6
25	23.0	63.9	2.0	30.7	84.5	15.6	33.2	0.0	29.17	14.64	94.7
26	25.6	55.0	1.2	33.3	93.5	16.9	26.8	0.0	28.66	15.41	94.6
27	24.5	72.4	1.8	32.8	94.5	18.9	39.2	10.2	22.01	11.69	94.6
28	21.4	87.6	1.7	27.2	97.8	18.5	60.6	37.6	13.62	5.75	94.9
29	23.5	75.2	1.4	31.1	98.7	17.7	43.6	0.0	25.19	14.05	94.9
30	21.8	89.1	0.9	24.7	95.6	19.8	73.8	1.3	9.91	2.66	94.7
31	21.7	91.1	0.9	27.1	98.7	19.3	65.1	21.3	14.36	6.65	94.3
	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.		
MED MES	23.5	71.2	1.8	30.3	91.4	18.1	44.2	141.0	22.33	11.28	94.7
ABS MES				34.8	99.0	14.8	21.6	37.6			

MES: JANEIRO ANO: 2022											
DIA	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.	Rad Liq	Patm_kPa
	(oC)	(%)	Vel(m/s)	(oC)	(%)	(oC)	(%)	(mm)	(MJ/m2.d)	(MJ/m2.d)	kPa Avg
1	22.1	89.9	0.9	27.7	99.2	18.7	65.7	37.3	17.00	8.22	94.4
2	24.6	78.4	0.9	31.0	98.6	19.9	50.3	0.3	22.25	12.61	94.6
3	24.3	86.8	1.1	31.1	97.1	21.5	53.6	2.5	20.72	11.48	94.6
4	23.3	89.6	1.1	29.2	99.1	20.9	63.9	3.6	12.21	5.03	94.3
5	24.4	83.7	1.4	29.3	97.4	21.2	65.2	0.3	17.18	9.41	94.2
6	24.3	81.8	1.6	29.8	96.4	21.0	58.2	3.8	18.63	10.08	94.4
7	21.7	84.0	2.4	25.0	93.7	19.5	70.9	2.0	10.19	2.87	94.7
8	22.1	76.9	3.3	27.6	95.0	18.4	58.3	0.0	21.29	11.00	94.8
9	19.8	84.7	2.8	23.6	94.4	16.8	70.6	0.5	12.20	4.56	94.8
10	21.8	80.9	1.0	26.5	96.2	17.1	64.6	0.0	12.63	6.32	94.6
11	21.9	86.5	1.0	27.1	97.4	19.1	62.1	4.6	12.57	4.90	94.6
12	22.1	90.2	0.7	28.1	98.1	18.7	63.3	3.6	12.86	5.66	94.8
13	24.4	82.2	1.3	31.6	98.9	19.3	50.8	4.6	23.34	12.94	95.2
14	25.3	76.8	1.0	34.0	98.3	19.2	46.3	0.3	25.90	13.99	95.4
15	24.3	82.6	1.0	33.4	97.9	19.4	49.3	62.0	19.12	8.67	95.3
16	22.9	84.1	1.2	28.8	99.1	19.2	55.3	0.8	19.60	9.94	95.1
17	24.8	76.7	1.1	31.5	98.6	19.6	48.2	0.0	28.26	15.23	95.0
18	25.5	74.9	1.4	32.9	97.5	19.1	44.8	49.3	28.12	15.23	95.1
19	25.0	75.9	1.5	33.4	98.8	18.8	41.6	3.8	29.79	16.39	95.2
20	25.3	74.6	1.2	32.9	97.4	19.3	44.8	0.3	27.08	14.52	95.1
21	26.9	65.8	1.4	33.8	96.0	20.0	34.4	0.0	28.52	15.00	94.9
22	26.8	63.1	1.6	33.9	91.8	20.1	32.7	0.0	30.11	15.71	94.9
23	26.8	64.6	1.5	34.3	94.5	20.1	19.3	0.0	30.33	15.55	94.8
24	26.8	69.8	1.7	33.9	94.9	20.4	37.5	0.0	29.57	15.52	94.8
25	25.4	75.4	1.4	33.6	97.6	20.5	45.2	5.3	22.70	11.74	94.7
26	25.4	78.1	1.5	32.1	98.6	20.1	50.7	2.3	25.43	14.40	94.7
27	25.4	75.3	1.4	32.4	95.2	21.0	48.3	0.3	24.00	13.64	94.6
28	22.4	91.4	0.9	29.1	98.7	20.1	63.9	76.7	12.23	5.67	94.5
29	21.9	93.1	0.7	26.4	98.7	19.7	70.3	27.7	11.35	4.82	94.5
30	20.2	96.6	0.8	22.9	99.3	18.3	84.6	90.4	7.46	2.41	94.7
31	22.1	90.6	1.2	26.9	99.1	19.1	70.5	22.9	13.88	6.58	94.7
	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.		
MED MES	23.9	80.8	1.4	30.1	97.2	19.5	54.4	404.9	20.21	10.33	94.77
ABS MES				34.3	99.3	16.8	19.3	90.4			



MES: FEVEREIRO ANO: 2022												
DIA	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.	Rad Liq	Patm_kPa	
	(oC)	(%)	Vel(m/s)	(oC)	(%)	(oC)	(%)	(mm)	(MJ/m2.d)	(MJ/m2.d)	kPa Avg	
1	21.6	94.5	0.7	25.8	99.1	19.8	74.7	29.0	10.94	4.41	94.9	
2	21.5	96.5	0.4	24.1	99.1	20.2	83.1	21.6	7.72	2.25	95.0	
3	23.7	86.9	0.7	29.8	99.2	20.2	60.8	1.8	17.99	10.84	94.9	
4	24.3	84.6	1.4	30.3	97.6	20.9	59.8	5.6	19.30	10.89	94.8	
5	23.3	92.2	0.8	29.8	98.4	20.3	65.0	23.1	14.28	7.19	94.6	
6	24.1	85.9	1.1	29.6	98.2	20.7	62.1	22.6	14.75	8.10	94.6	
7	23.6	82.7	2.0	28.3	98.8	20.3	64.7	7.6	14.41	7.83	94.7	
8	23.4	74.9	2.0	30.3	97.6	17.4	47.6	0.0	25.00	12.78	94.8	
9	23.2	67.5	2.4	30.0	90.1	17.4	42.7	0.0	28.16	14.00	94.7	
10	23.4	70.0	1.8	30.5	92.8	17.0	43.1	0.0	26.36	13.67	94.8	
11	23.8	72.9	2.1	30.8	90.9	18.3	51.9	2.0	22.07	11.28	94.8	
12	24.4	70.5	1.8	32.1	94.2	18.0	42.2	0.0	24.39	12.86	94.8	
13	25.0	70.2	1.5	31.7	95.2	18.3	48.8	0.0	26.60	14.98	94.7	
14	26.1	68.6	1.4	33.5	98.1	18.1	35.2	0.0	27.56	15.32	94.6	
15	26.3	70.1	1.9	32.5	90.0	21.2	46.2	0.0	22.75	11.80	94.9	
16	25.1	70.2	1.7	32.4	93.2	19.1	42.2	0.0	26.70	13.35	95.0	
17	23.7	73.6	1.5	31.2	94.7	18.9	45.1	0.8	23.53	12.05	94.8	
18	23.0	74.5	1.2	29.0	94.0	18.9	46.5	0.0	16.67	7.50	94.6	
19	24.2	73.4	1.0	30.4	90.1	20.2	40.7	0.0	24.38	10.97	94.7	
20	24.2	76.0	1.1	30.5	95.3	19.5	48.0	15.0	20.13	9.67	94.9	
21	25.9	69.9	0.9	33.0	96.6	19.1	41.7	0.0	25.40	13.86	95.0	
22	26.8	67.3	1.0	34.4	96.4	19.3	35.4	0.0	27.49	15.26	95.0	
23	27.4	73.6	1.8	33.7	92.0	21.9	45.3	1.0	22.36	13.02	94.8	
24	26.1	71.6	1.3	33.9	92.7	20.2	42.2	0.0	24.93	13.57	95.0	
25	26.9	67.6	1.5	34.4	95.7	20.0	32.6	0.0	26.43	13.80	95.1	
26	26.7	63.1	1.5	35.0	97.1	18.9	22.6	0.0	27.30	13.79	95.1	
27	26.7	63.4	1.3	34.8	91.3	19.0	31.6	0.0	26.39	14.18	94.9	
28	26.8	69.2	1.0	33.9	97.3	20.4	40.1	1.8	20.05	9.84	94.8	
29												
	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.			
MED MES	24.7	75.0	1.4	31.3	95.2	19.4	47.9	131.8	21.93	11.40	94.83	
ABS MES				35.0	99.2	17.0	22.6	29.0				

MES: MARÇO ANO: 2022												
DIA	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.	Rad Liq	Patm_kPa	
	(oC)	(%)	Vel(m/s)	(oC)	(%)	(oC)	(%)	(mm)	(MJ/m2.d)	(MJ/m2.d)	kPa Avg	
1	25.3	74.6	1.6	32.6	95.8	20.5	46.5	0.5	19.06	10.25	94.9	
2	25.0	77.7	1.4	33.5	97.7	19.6	41.2	9.1	21.97	12.07	94.9	
3	26.0	72.3	1.1	34.1	97.3	19.9	38.3	2.5	22.66	12.45	94.9	
4	25.3	74.3	1.1	32.9	97.6	19.9	43.6	2.5	23.17	12.78	95.0	
5	25.7	70.8	0.9	33.9	96.8	19.6	39.0	0.0	23.41	13.10	94.9	
6	26.4	70.8	1.0	33.3	95.3	20.2	41.5	0.0	22.64	12.53	94.9	
7	26.8	71.0	1.2	33.6	96.9	20.0	40.6	0.0	23.82	13.33	94.8	
8	27.0	70.5	1.2	33.1	92.4	21.7	43.5	0.5	23.82	13.23	94.9	
9	27.3	67.4	1.5	33.3	92.3	22.2	41.8	0.0	25.55	14.69	94.9	
10	27.2	67.1	0.9	34.2	94.1	22.4	35.9	0.0	18.52	10.19	94.8	
11	24.9	80.7	1.2	30.9	97.6	20.4	57.4	15.2	16.77	8.53	94.8	
12	23.9	81.9	1.7	30.3	98.4	19.8	51.6	42.4	18.08	9.99	94.9	
13	24.4	82.5	1.0	30.2	98.6	20.6	55.1	2.0	21.25	11.98	95.0	
14	23.3	90.4	0.8	28.9	98.5	21.1	63.9	26.2	12.90	5.98	94.8	
	TMED	UR MED	Vento	TMAX	UR MAX	TMIN	UR MIN	Chuva	Rad.Glob.			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
MED MES	25.6	75.1	1.2	32.5	96.4	20.6	45.7	101.1	20.97	11.51	94.89	
ABS MES				34.2	98.6	19.6	35.9	42.4				

## Análise de solo

Interessado:	TAÍS SACHETO													
Propriedade:	GFA SP													
Procedência:														
Data de Recebimento da Amostra:	9/29/2021													
Data de Envio do Resultado:	10/5/2021													
<b>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</b>														
Laboratório	Interessado	pH	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Soma	CTC	Sat.	Sat.	
		CaCl <sub>2</sub>		resina						bases		bases	Al	
			g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						V%	m%		
8077	Q.I 0-20	5.8	23	28	7.3	26	15	16	0	48	64	75	0	
8078	Q.I 20-40	5.9	16	20	5.4	40	23	16	0	68	84	81	0	
8079	Q.II 0-20	5.7	18	28	6.4	30	14	16	0	50	66	76	0	
8080	Q.II 20-40	5.5	14	17	3.8	30	15	18	0	49	67	73	0	
8081	Q.III 0-20	5.5	18	34	5.8	34	16	18	0	56	74	76	0	
8082	Q.III 20-40	5.3	16	13	3.8	28	11	18	0	43	61	70	0	
8083	Q.IV 0-20	5.5	16	26	3.0	22	14	16	0	39	55	71	0	
8084	Q.IV 20-40	5.3	14	11	1.6	17	10	18	0	29	47	61	0	

