



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

NÁTALI MAIDL DE SOUZA

VARIABILIDADE QUALITATIVA DE GRÃOS DE SOJA

Londrina
2016

NÁTALI MAIDL DE SOUZA

VARIABILIDADE QUALITATIVA DE GRÃOS DE SOJA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Cássio E. C. Prete.

Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto.

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Souza, Nátali Maidl de.

Variabilidade qualitativa de grãos de soja / Nátali Maidl de Souza. - Londrina, 2016.
75 f. : il.

Orientador: Cássio Egidio Cavenaghi Prete.

Coorientador: Pedro Henrique Weirich Neto.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.

Inclui bibliografia.

1. manejo de culturas - Teses. 2. fisiologia de sementes - Teses. 3. ecofisiologia vegetal - Teses. I. Prete, Cássio Egidio Cavenaghi. II. Weirich Neto, Pedro Henrique. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

NÁTALI MAIDL DE SOUZA

VARIABILIDADE QUALITATIVA DE GRÃOS DE SOJA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Cássio E. C. Prete
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr.^a Sandra Regina Masetto Antunes
Universidade Estadual de Ponta Grossa -
UEPG

Dr.^a Maria Brígida dos Santos Scholz
Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR

Prof. Dr.^a Adriana Lourenço Soares Russo
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 30 de março de 2016.

Aos meus pais, Rozana e Valmir,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom primeiro da vida e pela direção diária ao grande objetivo. Não tenho dúvidas de que sentir é suficiente para compreender, não sendo necessárias palavras para explicar este amor incondicional.

Ao professor Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete por ter me acolhido como sua orientada, pelo aprendizado científico que certamente levarei por toda vida e, mais valioso ainda, pelas lições constantes de otimismo e tolerância, sempre alegre e motivado a seguir no caminho da ciência, observando que os percalços existem, mas importante é que os desviemos.

Ao co-orientador Dr. Pedro Henrique Weirich Neto, que realmente muito mais do que um amigo me fez acreditar que seria possível concluir esta etapa. Tenha certeza de que a nossa parceria iniciada desde a iniciação científica na graduação, passando pelo mestrado e, agora, pelo doutorado, não tem data para terminar. Hoje encontro muito menos “feio” comentados em meus manuscritos, mas certamente o aprendizado veio pelas tantas vezes que tentei “embelezar” após o firme comentário. Sou muito grata pelos muitos mates compartilhados logo cedo, o que sempre deu a oportunidade de dividir as mazelas do trabalho e do dia-a-dia de ser humano. O incentivo constante a acreditar que seria possível e os valores científicos e humanos que temos compartilhado, tenha certeza de que levarei para a vida.

Aos meus pais Rozana Maidl de Souza e Valmir José de Souza (in memoriam), meus irmãos Rodrigo, Bruna e Northon Maidl de Souza, minha cunhada e sobrinho Sinthia e Victor de Souza, pelo apoio incondicional e por entenderem e me permitirem alçar voo sem críticas aos meus objetivos. Aos meus tios e suas famílias, Sidney e Liliane Maidl, Abiezer e Patrícia de Souza. Amo todos vocês indistintamente.

Aos colegas de Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama) com quem tive o grande prazer de conviver em todos estes anos, alguns já em outras atividades, mas mesmo assim memórias agradáveis da minha vida: Eng. Agr. MSc. Raquel M. Modena Wutzki, Eng. Agr. Guilherme Pedrollo Mazer, Zootecnista MSc. Ivan C. F. Moura, Eng. Agr. Dr. Hevandro C. Delalibera, Eng. Agr. MSc. Dayana Almeida, Eng. Agr. Rosana A. Paitech, Eng. Agr. Thalita Schena, Eng. Agr. Manuel H. F. Delafoulhouze, Eng. Agr. Alice K. Vriesman, Matheus A. Correia, Bruno F.

Malanowski. Tenham certeza de que fizeram minhas horas de trabalho muito mais divertidas!

A grande amiga Lilian Yukari Yamamoto, que com toda a sua atenção e lealdade acolhe as minhas inquietações e vontades, se posicionando sempre com motivação e disposição para auxiliar e contribuir sem medir esforços. Saudades enormes de poder encontrá-la pelo menos semanalmente como nos períodos de disciplina do doutoramento!

A querida amiga Fabiane R. Moro, que mesmo à distância não deixa de ser um referencial de segurança e otimismo. Tenho orgulho de poder nutrir nossa amizade e saber que posso contar contigo para qualquer assunto.

A queria amiga Adriana Schimandei Riemenschneider, por nunca desistir de me incentivar a acreditar que sonhar alto e longe vale a pena. Por me auxiliar na desafiante tarefa de aprender uma segunda língua, contribuindo também na árdua tarefa de organizar a minha estadia na Inglaterra. Sempre que conversamos, mesmo à distância, sinto-me motivada a mexer o mundo para que coisas melhores aconteçam a meu favor.

As grandes amigas Kátia M. Nagano e Suemi Uehara, por toda a amizade compartilhada em todo o período em que moramos juntas e por saber que posso contar com vocês mesmo à distância. Sempre incentivadoras e solícitas a me ouvir e me ajudar, tenham certeza de que são pessoas brilhantes em minha vida, das quais guardo as melhores memórias e fico sempre no aguardo do nosso próximo encontro.

Ao grande amigo Eng. Agr. MSc. Paulo William Garbuio, pelas lições constantes de bom humor, otimismo e perseverança. Certamente aprendi muito contigo em todas nossas atividades de campo e também nas conversas informais falando sobre qualquer assunto!

Ao querido amigo e Prof. PhD Carlos Hugo Rocha, pelas lições incansáveis de otimismo, tolerância e bom humor. Não tenho dúvidas de que aprendi ser alguém melhor ao debater contigo a relação fases da lua x humor!

Ao Prof. Dr. Luiz Claudio Garcia, pelo apoio e parceria na experimentação de campo e por sempre estar de bom humor e pronto a compartilhar suas experiências de vida e profissionais.

Aos amigos Rodrigo e Adriano Thibes Hoshino, e Ronan C. Colombo, pela alegria e motivação constante e por não medir esforços para

contribuir no que foram solicitados. Ter a companhia de vocês nesta jornada, certamente fez o caminho mais agradável!

As queridas Prof.^{as} Dr.^{as} Sandra R. M. Antunes e Elena Payret-Arrúa, por serem gentis e dispostas a colaborar em tudo o que foi necessário para execução de análises em seus laboratórios. Além disso, pela paciência em colaborar nos assuntos químicos mais intrigantes para uma profissional de ciências agrárias como eu!

A secretária do DESOLO/UEPG, Nilcéia A. de Lara, pelo apoio em toda e qualquer questão que foi requerida, tornando as minhas atividades do dia a dia mais fáceis e ágeis. Admiro sua capacidade de conciliar humores díspares e de desempenhar diversas atividades concomitantes sem deixar de ser amiga e delicada.

Ao Prof. Dr. Edson Miglioranza, pelas longas e incentivadoras conversas científicas e seculares, as quais me trouxeram motivação suficiente para acreditar que batalhar pelo período sanduíche valeria a pena. Sou muito grata pelo seu entusiasmo e exemplo profissional!

A Prof.^a Dr.^a Inês B. Fonseca, por ser capaz de despertar as minhas mais escondidas habilidades estatísticas, por me fazer acreditar que é possível ser autônoma nesta área tão vasta de conhecimento e por estar sempre disponível a sanar as mais diversas dúvidas, até mesmo aquelas mais bobas. Certamente é um exemplo de pesquisadora-professora ao qual me espelho para o futuro.

Pelo gentil fornecimento de amostras para a realização deste trabalho: Departamento de produção de sementes da Belagrícola, através do Eng. Agr. MSc Leandro Cesar Ribeiro de Oliveira; Cooperativa Batavo; Sementes Lagoa Bonita, através da Eng. Agr. MSc Raquel Márcia Modena Wutzski; Cooperativa Agrária, através do Eng. Agr. MSc Mauricio Gruszka.

Ao Químico MSc. Lycio S. Watanabe, pelo apoio nas determinações de ressonância magnética. Ao Químico Lucas Waiga, pelo apoio nas determinações de ácidos graxos.

To the PhD. George Bassel and team (Petra Stamm, Alexander T. Topham, Harriet Davies e Sonia Hill) for the friendly reception in his lab in the sandwich period. Special affection for Petra, Alec, Harriet and Alessandro Di Maio for making my six months abroad delightful and funny. I hope we can meet pretty soon!

To the family Rashda Khan and Anam Khan, for the reception in my

first days in Birmingham and for the friendship throughout the period. I'll always be grateful for the ways you taught me! I miss you all!

To the Davies' family, for the care which received me at your home in the "sandwich" period. Be assured you all made my stay in the UK much better! I miss you all!

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de bolsa de doutorado no país, além da concessão de bolsa no exterior através do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE). Além disso, pela disponibilização de periódicos de excelente qualidade através do "Portal de Periódicos da Capes". Certamente sem todo este apoio não teria sido possível chegar até aqui. Obrigada a todos os contribuintes que recolhem impostos e àqueles governantes que tomam estes mecanismos de ensino, pesquisa e extensão como importantes e os mantêm e diversificam.

A toda a estrutura de pessoal da Universidade Estadual de Londrina, em especial a secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Weda Aparecida Westin, aos responsáveis pelo Programa PDSE na Pró-Reitoria de Pós-Graduação Rogério e Ivani. Certamente são exemplos de profissionais comprometidos com suas atividades. Obrigada!

As técnicas de laboratório Luciane Henneberg, Zima Richter e Dirce Vaz e a doutoranda Shively Los Galeto pelo apoio nas mais diversas atividades necessárias à coleta de dados deste trabalho e outros mais. São "meninas" especiais, sempre dispostas e com um sorriso no rosto!

Aos que aqui não foram citados, mas não menos importantes, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação profissional e pessoal, meu muito obrigada!

**“Se podes? Disse Jesus. “Tudo é possível
àquele que crê”.**
Marcos 9.23

**“Quem ocupa o trono tem culpa
Quem oculta o crime também
Quem duvida da vida tem culpa
Quem evita a dúvida também tem.”**

Humberto Gessinger

SOUZA, Nátali Maidl. **Variabilidade qualitativa de grãos de soja**. 2016. 75f. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

A cultura da soja tem grande importância para a economia brasileira e mundial. É a cultura anual com maior produção de proteína do mundo, com baixo custo e em curto espaço de tempo. Ao observar a dinâmica de comercialização de soja no Brasil, não há estratégias de segregação qualitativa de grãos no momento de comercialização, recepção e utilização da biomassa em cooperativas e/ou agroindústrias. Diversos estudos têm demonstrado a variabilidade qualitativa dos grãos em função do manejo agrônomico e das condições de cultivo, o que apoia a introdução deste tipo de conceito. O objetivo deste trabalho foi relacionar teores de proteína, óleo e perfil de ácidos graxos extraídos de grãos de soja com o genótipo, manejo agrônomico e/ou condições edafoclimáticas de cultivo, detectando diferença regional e de manejo significativas sobre a qualidade dos grãos. Dois experimentos distintamente foram conduzidos: A) determinação dos fatores que mais afetam os teores de proteína, óleo e o perfil de ácidos graxos em soja, considerando como variáveis classificatórias ano de cultivo, grupo de maturidade, altitude e soma térmica janeiro-fevereiro; B) determinação do efeito de épocas de aplicação de redutor de crescimento e populações de plantas sobre os componentes de rendimento, qualidade fisiológica e química de sementes de soja. No experimento A, 110 amostras de sementes provenientes de três anos de cultivo, em 25 municípios, de três grupos de maturidade e seis genótipos foram analisadas. No experimento B, o efeito de quatro épocas de aplicação de redutor de crescimento (lactofen) (testemunha, V2, V5 e R1) e populações de plantas (Experimento 1: 222.222; 266.667; 311.111; 355.556 plantas ha⁻¹; Experimento 2: 170.000; 200.000; 230.000; 260.000 plantas ha⁻¹) em delineamento de blocos aleatorizados e esquema fatorial foi estudado. Tanto o manejo agrônomico, baseado na utilização de regulador de crescimento e alterações na população de plantas quanto às condições edafoclimáticas de cultivo apresentam fortes influência sobre a variabilidade qualitativa de grãos em soja. A maior influência sobre a variabilidade do teor de proteína e ácido oleico (C 18:1) foi o grupo de maturidade, onde ambos foram aumentando em grupos mais tardios; do teor de óleo, ácido palmítico (C 16:0) e esteárico (C 18:0) foi o ano de cultivo, onde os teores foram aumentando com o passar dos anos; do ácido linoleico (C 18:2) foi a soma térmica janeiro/fevereiro, com tendência de redução do teor com aumento da soma térmica; e do ácido linolênico (C 18:3) foi a altitude, com aumento do teor concomitante ao aumento da altitude. Quanto ao manejo agrônomico baseado na utilização de redutor de crescimento e populações de plantas, para o rendimento de grãos as épocas de aplicação não proporcionaram efeitos suficientes para conclusão de melhor época de aplicação, sendo que ausência de aplicação não diferiu das aplicações. Para a qualidade fisiológica, não há diferença entre aplicar em V5 ou em R1. Para teor proteína, as aplicações mais precoces foram melhores e para rendimento de óleo, aplicações mais tardias demonstraram melhores resultados.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Grupo de maturidade. Ano de cultivo. Altitude. Regulador de crescimento. População de plantas.

SOUZA, Nátali Maidl. **Qualitative variability of soybean grain**. 2016. 75p. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

The soybean crop has an important role in the Brazilian and world economy. It is the world's largest annual crop in protein and vegetable oil production, with low cost in a short time. By observing the soybean market dynamics in Brazil, there is no grain segregation strategies in the trading time, reception and use of biomass in co-operatives and/or agro-industries. Several studies have demonstrated the qualitative variability of grains according to agronomic management and growing conditions, which supports the introduction of this type of concept. The objective of this study was to relate protein, oil and fatty acid profile extracted from soybeans with genotype, agronomic management and/or climatic conditions of cultivation by detecting regional differences and significant management on grain quality. Two experiments were carried out distinctly: A) determination of the factors that affect the protein, oil and fatty acid profile, considering as classificatory variables year of cultivation, maturity group, altitude and thermal time from January+February; B) determining the growth retardant application timing and effect of plant population on yield components, physiological and chemical of seeds. In experiment A, 110 samples of seeds from three years of cultivation in 25 cities, three maturity groups and six genotypes were analyzed. In experiment B, the effect of four growth regulator application times (lactofen) (control, V2 and R1) and plant populations (Experiment 1: 222,222; 266,667; 311,111; 355,556 plants ha⁻¹; Experiment 2: 170,000; 200,000; 230,000; 260,000 plants ha⁻¹) in a randomized blocks and factorial design was studied. Both agronomic management, based on the use of growth regulator and changes in plant population as the local and climate growing conditions have strong influence on the qualitative variability of soybeans. The greatest influence on the variability of protein and oleic acid content was the maturity group where both were increasing in later groups; Oil content of palmitic and stearic acid was year of cultivation where contents were increasing over the years; linoleic acid was the thermal time January+February, with content reduction trend with increase of the thermal time; and linolenic acid was the altitude, with content increase associated to the higher altitude. Related to the crop management based on the use of growth retardant and plant populations, for grain yield the application times did not provide sufficient effects to conclude about the best time of application, and the control treatment did not differ from applications. For the physiological quality, there was no difference between applying in V5 or R1. For protein, the earlier applications are better, and for oil yield, later application showed better results.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merril. Maturity group. Year of cultivation. Altitude. Growth regulator. Plant population.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA PARA A ECONOMIA BRASILEIRA	14
2.2	PRINCIPAIS USOS DO GRÃO DE SOJA	16
2.3	SÍNTESE DE RESERVAS ARMAZENADAS EM SEMENTES.....	17
2.4	LÍPIDIOS DE RESERVA: PROCESSO DE SÍNTESE NA PLANTA	20
2.5	PROTEÍNAS DE RESERVA: PROCESSO DE SÍNTESE NA PLANTA.....	24
2.6	FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NO ACÚMULO DE RESERVAS EM SEMENTES DE SOJA	26
2.6.1	Utilização de Redutor de Crescimento	29
3	ARTIGO A: VARIABILIDADE DOS TEORES DE PROTEÍNA, ÓLEO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DE GRÃOS DE SOJA	32
3.1	RESUMO	32
3.2	ABSTRACT.....	32
3.3	INTRODUÇÃO	33
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	39
3.6	CONCLUSÕES	50
3.7	AGRADECIMENTOS	51
3.8	REFERÊNCIAS.....	51
4	ARTIGO B: APLICAÇÃO DE REDUTOR DE CRESCIMENTO EM CULTIVAR DE SOJA DE HÁBITO INDETERMINADO AFETA A QUALIDADE FISIOLÓGICA, O TEOR DE PROTEÍNA E ÓLEO DAS SEMENTES?	54
4.1	RESUMO	54
4.2	ABSTRACT.....	54
4.3	INTRODUÇÃO	55
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	56

4.5	RESULTADO E DISCUSSÃO	59
4.6	CONCLUSÕES.	68
4.7	AGRADECIMENTOS	68
4.8	REFERÊNCIAS.....	68
5	CONCLUSÕES GERAIS	70
	REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja tem grande importância para a economia brasileira e mundial. É a cultura anual com maior produção de proteína do mundo, com baixo custo e em curto espaço de tempo.

Por sua constituição química singular, simultaneamente representa uma das maiores fontes de proteína (400 g kg^{-1}) e óleo (210 g kg^{-1}) para a nutrição humana, animal e produção de biocombustíveis. Na matriz energética brasileira, por exemplo, cerca de 77% do biodiesel produzido emprega o óleo de soja como base (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP, 2014).

A cadeia produtiva da soja é completamente organizada, sendo subsidiada por informações técnicas desde o momento do planejamento para implantação das lavouras até o processamento final do grão, o que justifica a facilidade em empregá-la em grande escala nos processos industriais.

No entanto, ao observar a dinâmica de comercialização de soja no Brasil, não há estratégias de segregação qualitativa de grãos no momento de comercialização, recepção e utilização da biomassa em cooperativas e/ou agroindústrias. Diversos estudos têm demonstrado a variabilidade qualitativa dos grãos, quanto aos teores de proteína, óleo e perfil de ácidos graxos em função do manejo agrônomo e das condições de cultivo, o que apoia a introdução deste tipo de conceito.

Neste sentido, trabalhos que busquem fornecer informações tecnológicas embasadas cientificamente que apoiem estes conceitos qualitativos se justificam e podem subsidiar a introdução destes no momento da recepção dos grãos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi relacionar teores proteína, óleo e perfil de ácidos graxos extraídos de grãos de soja com o genótipo, manejo agrônomo e/ou condições edafoclimáticas de cultivo, detectando diferença regional e de manejo significativas sobre a qualidade dos grãos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA PARA A ECONOMIA BRASILEIRA

Evidências históricas e geográficas indicam que a soja (*Glycine max* L. Merrill) surgiu como uma cultura domesticada na metade leste do norte da China, por volta do século 11 a.C., na Dinastia Zhou. Em relatos antigos, a soja foi inúmeras vezes mencionada e considerada um dos cinco grãos sagrados juntamente com o arroz, o trigo, a cevada e o painço, os quais eram essenciais à cultura chinesa (LIU, 1999).

Sua evolução começou com o surgimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre espécies de soja selvagem, sendo que a planta de soja que hoje se cultiva (Família Fabaceae; Gênero *Glycine*) é muito diferente de seus ancestrais (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ EMBRAPA, 2014b). A partir da China, o cultivo de soja espalhou-se para o Japão, Coreia e para todo o sudeste da Ásia.

No Brasil, em 1882 a soja foi introduzida provinda dos Estados Unidos, através do professor Gustavo Dutra da Escola de Agronomia da Bahia, o qual realizou estudos avaliando cultivares introduzidas daquele país. Em 1891, testes de adaptação de cultivares foram realizados pelo Instituto Agrônomo de Campinas, no Estado de São Paulo, com vistas a utilizá-la como forrageira, a exemplo do uso dado nos EUA (EMBRAPA, 2014b).

Foi no Rio Grande do Sul o primeiro registro de cultivo de soja no Brasil, tendo ocorrido em 1914 no município de Santa Rosa. Nesta região, a cultura encontrou condições adequadas para seu desenvolvimento devido às semelhanças climáticas com o país de origem das cultivares. No final da década de 60, o trigo era a principal cultura do Sul do Brasil e a soja surgiu como alternativa para o cultivo no verão, o que possibilitava a realização de duas safras agrícolas por ano. Nesta mesma época, iniciava-se também no Brasil um esforço para produção de aves e suínos, encontrando-se na soja a fonte de proteína demandada para compor a ração. Depois do Rio Grande do Sul, a soja foi introduzida em Santa Catarina e no Paraná. Em terras paranaenses, a expansão se deu através da ocupação das áreas de arroz de sequeiro, das áreas de araucárias retiradas pelas madeireiras e dos cafezais devastados pelas geadas no norte (EMBRAPA, 2014b).

A pesquisa teve papel importante para a expansão do cultivo da soja no Brasil, pois possibilitou o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de baixas latitudes. Isto fez com que o cenário mundial da produção de soja mudasse drasticamente, pois a partir da década de 70 se passou a explorar intensivamente a agricultura e regiões como o Centro-Oeste brasileiro (BLACK, 2000). Outro fator importante é a vantagem competitiva que a produção brasileira de soja apresenta em relação aos demais produtores mundiais, pois o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, momento em que os preços atingem as melhores cotações (EMBRAPA, 2014b).

No cenário mundial os Estados Unidos lideram a produção, respondendo por cerca de 33% do total produzido. Em segundo lugar está o Brasil, sendo responsável por aproximadamente 31% (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/USDA, 2016). Com relação ao impacto do complexo produtivo da soja na economia brasileira, de acordo com dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior/MDIC (2016) este é responsável por aproximadamente 3,8% das exportações brasileiras em valor monetário. Dentre os produtos exportados, pode-se citar soja em grão, farelo, soja triturada, óleo bruto e óleo refinado.

No cenário nacional a região Centro-Oeste é a maior produtora, sendo responsável por cerca de 45% da produção do país, seguida da região Sul, a qual responde por cerca de 35%. Dentre os estados produtores, o estado do Mato Grosso e do Paraná lideram, respondendo por aproximadamente 28 e 16%, respectivamente, de toda a produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB, 2016).

Dentro do panorama agrícola paranaense, merecem destaque as regiões norte, sul e oeste, que apresentam como sedes regionais as cidades de Campo Mourão, Ponta Grossa e Cascavel, respectivamente. Estas regiões são responsáveis por 27, 25 e 21% da produção de soja do estado do Paraná, respectivamente (SECRETÁRIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO/DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL - SEAB/DERAL, 2016).

2.2 PRINCIPAIS USOS DO GRÃO DE SOJA

A soja é uma das mais importantes commodities, devido a sua composição química singular. Dentre os cereais e outras espécies de fabáceas (anteriormente denominadas leguminosas) é a espécie que apresenta o maior conteúdo proteico (cerca de 40%) e contém aproximadamente 20% de óleo, sendo o segundo maior conteúdo de óleo entre as fabáceas comestíveis, ficando atrás apenas do amendoim (aproximadamente 48% em base de matéria seca). Outros componentes encontrados na soja são os fosfolipídios, vitaminas e minerais, além das isoflavonas (LIU, 1999). O óleo de soja contém cerca de 110 g kg⁻¹ de ácido palmítico, 30 g kg⁻¹ de ácido esteárico, 220 g kg⁻¹ de ácido oléico, 540 g kg⁻¹ de ácido linoléico e 80 g kg⁻¹ de ácido linolênico (BEWLEY et al., 2013).

Deste modo, a soja é considerada um grão muito versátil que dá origem a produtos e subprodutos muito usados pela agroindústria, indústria química e de alimentos. Na alimentação humana, a soja é empregada na composição de vários produtos embutidos, chocolates, temperos para saladas entre outros. A proteína de soja é base de ingredientes de padaria, massas, produtos cárneos, cereais, misturas preparadas, bebidas, alimentação para bebês e dietéticos. Seu uso mais conhecido, no entanto, é como óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto, sendo que este é coproduto da industrialização do grão para produção de farelo. Como coproduto do processo de refino do óleo tem-se a lecitina, a qual é um agente emulsificante, utilizada na fabricação de salsichas, maioneses, achocolatados, entre outros (EMBRAPA, 2014b).

Com relação ao seu uso industrial, a soja é empregada na obtenção de farelo para a alimentação animal, cujo coproduto é o óleo bruto, conforme já citado anteriormente. O óleo é usado pela indústria de adesivos e nutrientes, formulador de espumas, fabricação de fibra, papel emulsão de água para tintas, agentes anti-corrosivos, fabricação de fungicidas, fármacos, plásticos, substitutos para couro, entre outros produtos (EMBRAPA, 2014b; LUSAS, 2004).

Na última década a soja vem se destacando, também, como fonte alternativa de combustível. O que se observa é o emprego do óleo de soja na fabricação de biodiesel ou mesmo sua utilização direta, sem transformações químicas, como combustível. Cerca de 76,4% do biodiesel produzido no Brasil utiliza o óleo de soja como matéria-prima (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS

NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP, 2014). Uma possível explicação para este fato seria de que a soja é esmagada para a produção de farelo protéico para o arração animal, sendo o óleo um coproduto. Tendo em vista que a demanda por farelo protéico de soja é crescente, pode-se dizer que a disponibilidade de óleo de soja também é grande. Além disso, a cadeia produtiva da soja é organizada, tanto do ponto de vista produtivo quanto de industrialização (DALL'AGNOL, 2011).

2.3 SÍNTESE DE RESERVAS ARMAZENADAS EM SEMENTES

O desenvolvimento das sementes é, em termos básicos, dividido em três fases: histodiferenciação e expansão celular (divisão celular e histodiferenciação que irão formar os tecidos embrionários e endospermáticos, seguidos de influxo de água que irá levar à expansão celular); deposição de reservas; e secagem para maturação (o que torna a semente quiescente) (BEWLEY et al., 2013).

A semente recebe um número relativamente pequeno de compostos para o seu desenvolvimento, devendo sintetizar a grande maioria deles. A síntese ocorre em compartimentos específicos: amido e lipídios em plastídios e proteínas no citosol e retículo endoplasmático. O acúmulo de carboidratos precede o de lipídios e de proteínas porque são precursores ou participam indiretamente da síntese desses compostos nas sementes (MARCOS FILHO, 2005). Além de reservas, as sementes também acumulam fitormônios (citocininas, auxinas, ácido abscísico e giberelinas).

Os principais tecidos que armazenam reserva nas sementes de fabáceas são os cotilédones. Cerca de 90% da matéria seca acumulada é armazenada nos cotilédones. A sacarose é a fonte primária de carbono (C) para as sementes em desenvolvimento, sendo o processo de fotossíntese nas folhas o principal responsável por este aporte (TAIZ; ZEIGER, 2009). Em alguns cultivares de soja pode haver armazenamento temporário de sacarose na forma de amido nas vagens antes que ocorra a remobilização a transferência às sementes em desenvolvimento (BEWLEY et al., 2013).

A fonte de nitrogênio (N) para os tecidos de reserva em desenvolvimento são variáveis. No caso de fabáceas, cerca de 75% do N acumulado nas sementes provém da fixação simbiótica de N que ocorre depois da antese. É transportado na forma dos aminoácidos asparagina e glutamina, sendo em algumas espécies na forma de alanina. Cerca de 10-15% do N é transportado na forma de

ureídeos (alantoína e ácido alantoico) em plantas de soja, sendo que enzimas presentes no tegumento das sementes os convertem em asparagina e glutamina (BEWLEY et al., 2013; MARCOS FILHO, 2005).

A taxa fotossintética de diferentes partes das plantas é muito variável ao considerar diferentes espécies. Em fabáceas, as sementes dependem muito do C fixado durante o período de frutificação, sendo que o rendimento de sementes pode ser afetado sensivelmente por fatores ambientais que reduzam a fotossíntese. Em ervilha, por exemplo, durante a maior parte do período de enchimento de grãos as vagens, os folíolos adjacentes e as estípulas respondem por 2/3 do C necessário às sementes deste nó. Na fase final de desenvolvimento, outros nós passam a ser fonte de C, obtendo-o, também, através de remobilização a partir de tecidos senescentes (folhas e raízes) (BEWLEY et al., 2013).

Quanto à importação de nutrientes à sementes em desenvolvimento, cabe salientar que não há ligação vascular direta entre a planta-mãe e o embrião dentro da semente. O tecido vascular (floema responsável pelo transporte de nutrientes e xilema responsável pelo transporte de água) termina no tegumento da semente ou do fruto em dicotiledôneas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Os nutrientes (assimilados) são transportados da planta-mãe pelo floema até que este seja descarregado no apoplasto destas regiões. Na sequência, ocorre a importação pelo embrião em desenvolvimento através de diferença de potencial.

No caso específico de fabáceas, há derivações vasculares que atingem as vagens. Estas derivações passam através do funículo e adentram o tegumento da semente. A passagem dos assimilados pelo funículo e do tegumento para os cotilédones é facilitada pela presença de células de transferência. As células de transferência possuem reentrâncias na parede celular, o que aumenta a área de membrana plasmática para absorção e exportação de solutos, sendo ricas em mitocôndrias, o que fornece energia suficiente para os transportes de membrana. Na sequência, simplasticamente ocorre a redistribuição pelo embrião, sendo então disponíveis para os processos de síntese de reservas (BEWLEY et al., 2013).

O acúmulo de matéria seca no início do desenvolvimento das sementes é relativamente lento, pois nessa fase predominam a divisão e a expansão celulares, responsáveis pela constituição da estrutura adequada para receber as substâncias transferidas da planta-mãe (MARCOS FILHO, 2005).

Considerando os estádios fenológicos da cultura da soja (FEHR;

CAVINESS, 1977) , em R2, ou seja, pleno florescimento, a planta acumulou somente cerca de 25% de sua matéria seca final e nutrientes. Esse estágio marca o início de um período de rápido e constante acúmulo diário das taxas de matéria seca e de nutrientes pela planta, que continuará até logo após o estágio R6. Essa rápida acumulação de matéria seca e nutrientes pela planta inteira inicia-se nas partes vegetativas (folhas, hastes, pecíolos e raízes), deslocando-se gradualmente para as vagens e sementes em formação.

Em R3 ocorre o início da formação de vagens, sendo que em R4 as vagens já estão formadas e ocorre um rápido crescimento das mesmas, além do início do desenvolvimento das sementes. O período compreendido entre R4 e logo após R5.5 é um período de rápida e constante acumulação de matéria seca pelas vagens. Estresse (umidade, luz, deficiências nutricionais, geada, acamamento ou desfolha), ocorrendo a qualquer momento entre os períodos de R4 a logo após R6 reduzirá mais a produção do que a ocorrência do mesmo estresse em qualquer outro período de desenvolvimento. O período de R4.5 (formação das últimas vagens) a aproximadamente R5.5 é muito crítico porque o florescimento completa-se e não pode ser compensado, uma vez que as vagens e sementes novas são mais propensas a abortar sob estresse que as vagens e sementes mais velhas. As perdas de produção ocorridas nesse período devem-se principalmente à redução no número total de vagens por planta do que à redução no número de sementes por vagem ou no tamanho da semente.

No estágio R5 ocorre o início da formação da semente. Em R5.5 as sementes iniciam um rápido período de constante acúmulo de matéria seca e nutrientes, sendo que logo após esta fase ocorre o máximo acúmulo de matéria seca e de nutrientes nas folhas, pecíolos e ramos, iniciando a seguir a sua redistribuição (translocação) dessas partes da planta para as sementes em desenvolvimento. O período de rápida e constante acumulação de matéria seca na semente continua até logo após R6.5, no qual a semente está com aproximadamente 80% da sua matéria seca total.

A demanda por água e nutrientes é alta ao longo do período de enchimento das sementes. Em R6 as sementes já se encontram cheias e são verdes. A taxa de crescimento dos grãos nessa fase ainda é muito rápida, começando a diminuir logo após de R6.5 e sendo máximo próximo a R7.

Nos estádios R7 e R8, embora nem todas as vagens numa planta

em R7 tenham perdido a cor verde, a planta essencialmente se encontra em maturidade fisiológica porque muito pouca matéria seca adicional será acumulada. Neste momento, as sementes possuem aproximadamente 60% umidade. Em R8, 95% das vagens apresentam-se maduras. A maturidade fisiológica das sementes de soja pode ser identificada pela coloração amarela das sementes e variações da cor do hilo. Uma população de sementes de soja está madura quando aproximadamente 95% das sementes atingem a coloração amarela e apresenta hilo heterocromo, isto é, de coloração diferente daquela do tegumento (CARLSON; LERSTEN, 2004; INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE/IPNI, 2010; VAZ; SANTOS; ZAIDAN, 2008).

2.4 LIPÍDIOS DE RESERVA: PROCESSO DE SÍNTESE NA PLANTA

Nas plantas, ocorre a biossíntese de dois tipos de lipídios, sendo eles os triacilgliceróis (TAGs) e os glicerolipídios polares. Estes são os componentes das bicamadas lipídicas das membranas celulares, e aqueles são os óleos e gorduras estocados em sementes. Nesta revisão, portanto, será dada ênfase aos triacilgliceróis. De acordo com Taiz e Zeiger (2009), os óleos vegetais são importantes formas de armazenamento de energia, pois a oxidação completa de 1 g de gordura ou óleo (que contém cerca de 40 kJ ou 9,3 kcal de energia) pode produzir consideravelmente mais ATP que a oxidação de 1 g de amido (cerca de 15,9 kJ ou 3,8 kcal).

Os triacilgliceróis são ésteres de ácidos graxos (AG - geralmente com 16 ou 18 átomos de carbono) com glicerol (1,2,3 propanotriol). Os TAGs de óleos vegetais contêm, tipicamente, diferentes tipos de AG, ou seja, diferentes AG podem estar ligados à cadeia do glicerol o que revelará diferentes perfis de óleos (KNOTHE et al., 2006). As cadeias de ácidos graxos, por sua vez, são ácidos carboxílicos com cadeias hidrocarbonadas de 4 a 36 átomos de carbono (DURRETT; BENNING; OHLROGGE, 2008).

Os ácidos graxos e os triacilgliceróis não são transportados na planta, sendo sintetizados nos locais de acúmulo. A organela-chave deste processo de biossíntese é o plastídio (TAIZ; ZEIGER, 2009). Nos frutos e sementes em desenvolvimento, a síntese ocorre a partir de carboidratos (sacarose) transportados a partir das folhas. A síntese de lipídios acarreta em conseqüente redução no

conteúdo de carboidratos, sendo que no caso de algumas sementes oleaginosas, a pequena quantidade de amido que se acumula durante as primeiras fases de desenvolvimento é posteriormente utilizada na síntese de lipídios (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

Em termos básicos, a síntese de lipídios de reserva pode ser dividida em três etapas: 1) produção do esqueleto de glicerol; 2) formação dos ácidos graxos; 3) esterificação do glicerol com ácidos graxos, para formar os triacilgliceróis (TAGs) (BEWLEY et al., 2013).

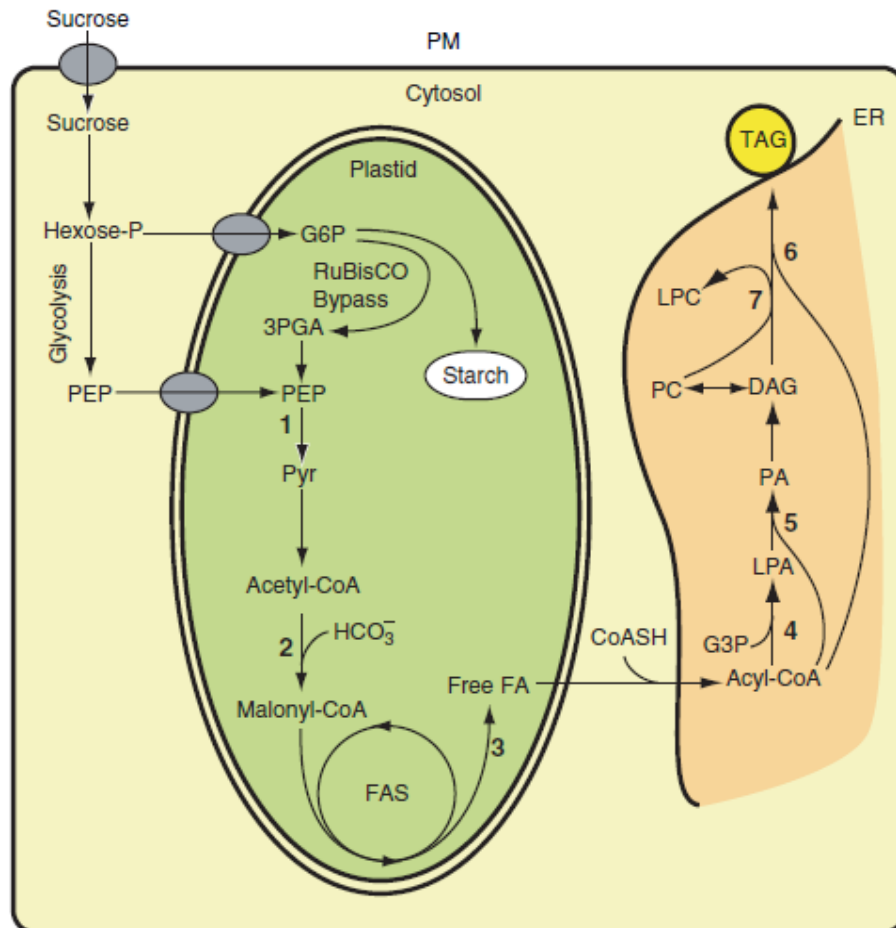
Na maioria das sementes, os TAGs são armazenados no citoplasma das células do cotilédone ou endosperma, em organelas denominadas oleossomos (também chamadas de esferossomos ou corpos lipídicos). Estes apresentam um tipo de membrana pouco usual em organelas vegetais, fazendo com que os TAGs mantenham-se separados do citoplasma aquoso, sendo constituída de uma camada única de fosfolipídios, com as extremidades hidrofílicas dos fosfolipídios voltadas ao citosol e as cadeias hidrofóbicas de hidrocarbonetos acil para o interior de triacilgliceróis (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O oleossomo mantém-se estabilizado pela presença de proteínas específicas chamadas oleosinas, que cobrem a superfície e impedem que os fosfolipídeos de oleossomos adjacentes entrem em contato e se fundam. Esta estrutura de membranas que ocorre nos oleossomos resulta do padrão de biossíntese dos triacilgliceróis, pois a síntese é completada por enzimas localizadas nas membranas do retículo endoplasmático, acumulando-se as gorduras resultantes entre duas monocamadas da bicamada da membrana do retículo endoplasmático. A bicamada, por sua vez, intumescce e se separa à medida que mais gorduras são adicionadas à estrutura em crescimento e, por fim, um oleossomo maduro solta-se do retículo endoplasmático (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Durante o desenvolvimento das sementes, os fotossintatos provenientes da planta-mãe são importados na forma de açúcares e a semente os converte em precursores da biossíntese de ácidos graxos. A glicólise desempenha (Figura 2.4.1) papel fundamental nesta conversão, pois o piruvato produzido pela glicólise é convertido a acetil coenzima A (acetil-CoA) pelo complexo plastídico piruvato desidrogenase (DURRETT; BENNING; OHLROGGE, 2008), sendo que a acetil-CoA é o substrato inicial para a síntese de esqueletos carbônicos de todos os ácidos graxos (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005), de maneira que a biossíntese

ocorre envolvendo a condensação cíclica de unidades de dois carbonos (TAIZ E ZEIGER, 2009).

Figura 2.4.1 – Biossíntese de ácidos graxos e triacilgliceróis em plantas (Tendo em vista simplificar, apenas as reações mais importantes encontram-se demonstradas).



Os números em negrito representam enzimas-chave: 1 – piruvatoquinaseplastídica; 2 – acetil-CoAcarboxilase; 3 – acil-ACP tioesterasesFatA e FatB; 4 – glicerol-3-fosfato aciltransferase; 5 – ácido liso-fosfatídicoaciltransferase; 6 – diacilglicerolaciltransferase; 7 – liso-fosfatidilcolinaaciltransferase. Demais siglas presentes na figura: 3PGA – 3-fosfoglicerato; DAG – diacilglicerol; ER – retículo endoplasmático; FAS – síntese de ácido graxo; G3P – glicerol-3-fosfato; G6P – glicose-6-fosfato; LPA – ácido liso-fosfatídico; LPC – liso-fosfatidilcolina; PA – ácido fosfatídico; PC – fosfatidilcolina; PEP – fosfoenolpítuvato; PM – membrana plasmática; Pyr – piruvato; TAG – triacilglicerol.

Fonte: Adaptado de Durrett, Benning e Ohlrogge (2008).

Há relatos na literatura de que existam enzimas glicolíticas tanto nos plastídios quanto no citosol, não ficando clara qual a rota preferida em sementes

oleaginosas para que este processo ocorra (PLAXTON; PODESTÁ, 2006). No entanto, alguns trabalhos realizados com sementes de *Arabidopsis* demonstram que pelo menos as reações mais relevantes à síntese de lipídios ocorrem nos plastídios (RUUSKA et al., 2002).

Com relação às enzimas envolvidas o processo de síntese, acredita-se que elas são mantidas juntas em um complexo conhecido como ácido graxo sintase. O complexo permite que a série de reações necessárias à síntese ocorra de maneira mais eficiente do que se estas estivessem compartimentalizadas. As cadeias acil em crescimento são ligadas covalentemente a uma proteína ácida de baixo peso molecular, denominada proteína carregadora de acil (acyl carrier protein - ACP) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A primeira etapa específica à síntese de ácidos graxos é a síntese do malonil-CoA a partir de acetil-CoA e CO₂ pela enzima acetil-CoA carboxilase. O malonil-CoA, por sua vez, reage com ACP gerando malonil-ACP. No primeiro ciclo da síntese, o grupo acetato da acetil-CoA é transferido a uma cisteína específica da enzima condensadora 3-cetoacil-ACP sintase e então combinado com malonil-ACP para formar acetoacetil-ACP. Num segundo momento, o grupo ceto no carbono 3 é removido (reduzido) pela ação de três enzimas para formar uma nova cadeia acil (butiril-ACP), que tem agora quatro carbonos de comprimento. O ácido de quatro carbonos formado e uma nova molécula de malonil-ACP tornam-se novos substratos para a enzima condensadora, fazendo com que uma unidade de dois carbonos seja adicionada à cadeia, de modo que isto ocorre ciclicamente até que 16 ou 18 carbonos tenham sido adicionados (TAIZ; ZEIGER, 2009). Sete ciclos de condensação produzem o palmitoil saturado com 16 carbonos, estando este ainda ligado à ACP. Por razões ainda não bem compreendidas, a alongação da cadeia geralmente para neste ponto e é liberado o palmitato livre da molécula de ACP pela ação de uma atividade hidrolítica existente no complexo sintase. Porém, também pode ser observada a presença de quantidades menores de ácidos graxos de cadeias mais longas, como o estearato (18:0) (LEHNINGER; NIELSON; COX, 1995).

O primeiro passo relacionado à dessaturação também ocorre nos plastídios. Enquanto a cadeia acil ainda está conjugada com a ACP a enzima Δ^9 -dessaturase converte esteraoil ACP (18:0) a oleoil ACP (18:1). O término da alongação dos ácidos graxos é catalizada pelas acil-ACP tioesterases, das quais existem dois tipos nas plantas, FatA e FatB (DURRETT; BENNING; OHLROGGE,

2008). A classe FatA preferencialmente remove oleato do ACP, enquanto FatB tioesterases são mais ativas com acil-ACPs saturados e insaturados, sendo que em algumas espécies, com cadeias de acil-ACPs mais curtas (SALAS; OHLROGGE, 2002). Após a remoção da ACP, os ácidos graxos são exportados do plastídio para o retículo endoplasmático e são convertidos em acil-CoAs.

Ácidos graxos que ainda estão sendo formados podem fazer parte de triacilgliceróis em sementes em desenvolvimento de várias maneiras. Uma série de reações conhecida como via de Kennedy resulta na esterificação de duas cadeias acil, provenientes de acil-CoA, em glicerol-3-fosfato para formar ácido fosfatídico. Na sequência, ocorre a remoção do grupo fosfato, dando origem ao diacilglicerol (DAG). A diacilglicerol transferase (DGAT) usa a acil-CoA como doadora de grupo acil, convertendo o diacilglicerol em triacilglicerol (TAG). Uma rota alternativa a este processo reside no fato de que DAG pode ser interconvertido em fosfatidilcolina (PC), e vice-versa, pela ação da colinafosfotransferase. Este processo parece ser importante para aquelas espécies que acumulam ácidos graxos polinsaturados, fato este observado, por exemplo, quando ocorre a dessaturação do oleato (18:1) isto ocorre quando ele se encontra esterificado pela PC (DURRETT; BENNING; OHLROGGE, 2008).

A composição característica de ácidos graxos dos triacilgliceróis das plantas é em grande parte determinada geneticamente pelas diferentes enzimas que participam do processo de síntese, embora fatores ambientais possam resultar em modificações durante o desenvolvimento das sementes. Óleos de sementes de plantas que crescem em climas frios geralmente tendem a ser mais insaturados que aqueles que provêm de plantas cultivadas em climas mais quentes. Não se compreende a natureza exata da influência do clima na composição de ácidos graxos em sementes, no entanto, síntese e atividade de FAD2 [oleato dessaturase, que converte o ácido graxo 18:1 (oleato) em 18:2 (linoleato)] são ampliadas em baixas temperaturas em sementes de girassol, resultando em aumento na taxa de linoleato:oleato nos TAGs. Em contraste, esta razão decresce em temperaturas altas devido ao declínio na estabilidade térmica da FAD2, sendo a disponibilidade de oxigênio também relevante nestas reações (BEWLEY et al., 2013).

2.5 PROTEÍNAS DE RESERVA: PROCESSO DE SÍNTESE NA PLANTA

As proteínas (polipetídeos) são polímeros de aproximadamente vinte diferentes aminoácidos, podendo ser composta de uma única cadeia (peptídeo) ou um número de cadeias associadas de tamanhos similares ou diferentes (LEHNINGER; NIELSON; COX, 1995).

A síntese de proteínas nas plantas ocorre em quatro fases distintas: 1) transcrição de genes (para produzir os RNAs mensageiros adequados); 2) tradução e inserção do produto no lúmen do retículo endoplasmático (RE); 3) processamento pós-tradução (no interior do RE); 4) Segmentação e isolamento dentro de um compartimento de reserva (vacúolos armazenadores de proteínas - PSVs) (BEWLEY et al., 2013).

Entre o início da tradução dos polipeptídeos de reserva e o seu sequestro nos PSVs, eles estão sujeitos a diversos eventos pós-tradução, como (BEWLEY et al., 2013):

1) clivagem do peptídeo-sinal: ocorre no RE. A região hidrofóbica do aminoácido na terminação que contém nitrogênio do polipeptídeo é inserido pelo complexo de reconhecimento de sinal na membrana do RE e é cortado por uma protease presente no lúmen;

2) Glicosilação: formação de glicoproteínas. É importante para aumentar a estabilidade das proteínas, auxiliando na dobra e na ligação das mesmas. Pode estar associada ao desencadeamento de reações alérgicas quando consumidas por pessoas com sensibilidade específicas;

3) Processamento proteolítico: começa no trânsito da proteína ao vacúolo e se completa dentro dele. Alguns polipeptídeos são clivados em duas ou mais partes menores e alguns pequenos peptídeos podem ser removidos ou mesmo as terminações N- ou C- são aparadas. Há diversos tipo de processamentos proteolíticos, o que depende do tipo de proteína em questão;

4) Dobramento e ligação: os polipeptídeos constituintes da holoproteínas começam a ser dobrados e ligados em suas estruturas tridimensionais ainda no lúmen do RE; proteínas que não foram dobradas inadequadamente podem ser degradadas no lúmen do próprio RE.

2.6 FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NO ACÚMULO DE RESERVAS EM SEMENTES DE SOJA

De acordo com a Tabela 2.6.1, o período crítico de acúmulo de reservas pelas sementes de soja ocorre nos estádios R5 e R7, fase em que a planta se mostra muito sensível a períodos de deficiência hídrica. Assim, a escolha adequada da época de semeadura influencia as relações entre temperatura, radiação solar, disponibilidade de água e desenvolvimento das plantas (WILSON, 2004; MARCOS FILHO, 2005).

Tabela 2.6.1 – Variação na composição da semente de soja durante o desenvolvimento

Estádios	Matéria seca (mg sem ⁻¹)	Teor de água (g kg ⁻¹)	Proteínas (mg sem ⁻¹)	Óleo (mg sem ⁻¹)	Açúcares (mg sem ⁻¹)
R4	0,2	784	--	0,0	--
R5	5,9	831	2,5	0,1	1,3
R6	123,6	624	42,0	26,7	19,3
R7	194,2	519	71,9	31,2	30,8
R8	188,3	97	73,4	36,2	32,4

Fonte: Marcos Filho (2005)

Os fatores que regulam a biossíntese de lipídios em vegetais são inúmeros. Relatos na literatura comentam a respeito da forte regulação genética destes eventos (HILLS, 2004; WILSON, 2004; MARCOS FILHO, 2005), associados a interações com o ambiente de cultivo e manejo agrônômico.

No caso específico da soja, por exemplo, ocorre uma forte correlação negativa entre a concentração de proteína e óleo (HURBURGH et al., 1990; WILSON, 2004), o que significa dizer que as influências genéticas ou ambientais que causem aumento de proteína, resultarão em redução do conteúdo de óleo. Aumento de 1% na concentração de proteína foi associado a declínio de 0,43% na concentração de óleo (GIBSON; MULLEN, 1996). Há relatos, também, que existe uma correlação genética negativa entre proteína e rendimento, mas uma correlação positiva entre óleo e rendimento (WILCOX; GUODONG, 1997; WILSON, 2004).

Trabalhos de Liu (1999) relataram que entre 10 genótipos de soja selecionados em cultivos no Arkansas (EUA), em base de matéria seca, os valores de proteína variaram de 395 a 502 g kg⁻¹, óleo de 163 a 216 g kg⁻¹ e proteína mais

óleo de 597 a 675 g kg⁻¹. Nas linhagens da coleção de germoplasma norte-americana de modo geral, no entanto, a variação é ainda maior, com proteína variando de aproximadamente 300 a mais de 500 g kg⁻¹ e óleo de aproximadamente 120 a quase 300 g kg⁻¹. O autor ainda relata que, além das questões genotípicas, devem ser considerados o ano de cultivo, localização geográfica e condições ambientais de cultivo. Wilson (2004) relatou variações de proteína entre 341 e 568 g kg⁻¹, com média de 421 g kg⁻¹, enquanto teores de óleo variando de 83 a 279 g kg⁻¹, com média de 195 g kg⁻¹.

No caso brasileiro, a concentração de proteína varia de 317 a 579 g kg⁻¹ e a concentração de óleo de 80 a 254 g kg⁻¹, com média de 443 e 179 g kg⁻¹, nos 16.472 acessos do Banco de Germoplasma da Embrapa Soja (PÍPOLO et al., 2015).

A temperatura ambiente durante a fase de enchimento de grãos tem forte correlação com a concentração de proteínas, óleo e composição de ácidos graxos em soja. Em trabalho realizado em oito ambientes distintos, Gibson e Mullen (1996) concluíram que a temperatura foi a principal variável na determinação da composição de ácidos graxos. Temperaturas mais elevadas (35 °C diurna/30 °C noturna) foram associadas com o aumento do teor de ácido oleico, em detrimento das concentrações de ácido linoleico e linolênico. O ácido oleico é convertido a ácido linoleico, e este a ácido linolênico por reações de dessaturação que, ao serem afetadas por temperaturas diurnas e noturnas altas em todo o período reprodutivo, parecem ser mais lentas.

Pípolo, Sinclair e Camara (2004) estudaram efeito da temperatura sobre a concentração de óleo e de proteína em cultivos *in vitro* e concluíram que não houve efeito na concentração destes elementos na faixa de temperatura entre 21 e 29 °C. No entanto, em temperaturas extremas (17 e 33 °C), houve aumento nas concentrações de óleo e proteína. Em trabalho objetivando detectar variação regional na composição de grãos de soja em um estado americano, Naeve e Huerd (2008) observaram efeitos significativos tanto dos anos de cultivo quanto da região sobre a qualidade dos grãos.

De acordo com Castro, Kluge e Peres (2005), experimentalmente observaram que a biossíntese de ácidos graxos sofre efeito primário do oxigênio e indiretamente de temperatura. Considerando que o O₂ é mais solúvel em águas frias, quando a temperatura do meio diminui, aumenta a biossíntese de ácidos

graxos insaturados em relação aos saturados. No entanto, ao ser mantido o nível de oxigênio constante, observou-se diminuição dos ácidos graxos insaturados em ambiente mais frio. Ao fixar a temperatura e aumentar disponibilidade de oxigênio, ocorre aumento de ácidos graxos insaturados. Os mesmos autores ainda relatam que a produção de maiores quantidades de ácidos graxos insaturados por plantas cultivadas em baixas temperaturas pode representar uma proteção contra o ambiente hostil, pois esses ácidos graxos apresentam menor ponto de solidificação de que os saturados análogos. Isto confere às plantas capacidade de crescer e de desenvolver sob baixas temperaturas sem que as funções das membranas sejam afetadas.

Com relação ao manejo agrônômico, muitos são os trabalhos que relatam a influência deste sobre o rendimento da soja, mas poucos os que relatam a influência sobre o teor de óleo e proteínas. Em trabalho com quatro cultivares precoces de soja, em três anos agrícolas, Mascarenhas et al. (1996) obtiveram aumento do teor de proteína e redução do teor de óleo em função da calagem. A possível justificativa para isto encontra-se na melhoria do ambiente de crescimento radicular, devido à redução da acidez, o que leva a maior fixação simbiótica de nitrogênio e também maior disponibilidade de molibdênio. Tendo em vista que este faz parte da enzima redutase de nitrato, pode-se afirmar que sua presença levaria a uma maior síntese de aminoácidos e, conseqüentemente, maior síntese de proteínas.

Estudando os efeitos de quatro sistemas de manejo agrônômico sobre o teor de óleo e a composição de ácidos graxos (sistema convencional com alto aporte de insumos externos; sistema plantio direto com alto aporte de insumos externos; sistema convencional com baixo aporte de insumos externos e sistema convencional sem aporte de insumos externos – orgânico), Gao et al. (2009) concluíram que os sistemas de cultivo não afetaram os teores de óleo de maneira significativa. Houve diferença apenas entre os anos em que o experimento foi conduzido, o que sugere efeito climático de temperatura e precipitação sobre esta variável. No entanto, os autores ressaltam que o rendimento de grão foi maior no sistema plantio direto com alto aporte de insumos externos, o que representaria rendimento de óleo por unidade de área maior do que nos demais sistemas.

Haq e Mallarino (2005) estudaram os efeitos da fertilização foliar em soja (NPK) em 42 locais, da fertilização via solo de P e K em 35 locais para cada um destes. A fertilização foliar aumentou o teor de óleo e de proteína em apenas um

local, tendo ocasionado redução de proteína em dois locais. Com relação à fertilização via solo de P houve aumento do teor de óleo em dois locais e de proteína em cinco locais, porém houve redução do teor de óleo em cinco locais e de proteína em dois locais. Deste modo, os autores concluem que o efeito da fertilização na soja não é frequente, sendo inconsistente e com efeitos pequenos sobre as concentrações de óleo e proteína, sendo possível ressaltar, porém, que os rendimentos totais por unidade de área de óleo e proteína podem ser incrementados tendo em vista que o rendimento de grãos tem apresentado resposta positiva.

2.6.1 Utilização de Redutor de Crescimento

Atualmente, tem-se notado uma marcante opção por cultivares com hábito de crescimento indeterminado, os quais continuam a desenvolver nós e alongar o caule mesmo após o florescimento. Ao utilizar este tipo de cultivar, em regiões de altitude e com condições de fertilidade do solo favoráveis ao crescimento das plantas, em muitos casos ocorre o acamamento da cultura, o que reduz a qualidade das sementes/grãos e limita a colheita mecanizada. Buscando contornar este problema, tem se tornado rotineira a aplicação de herbicidas com ação no crescimento das plantas, buscando reduzir o porte das mesmas.

Os reguladores de crescimento são sinalizadores químicos, que atuam na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Normalmente, se ligam ao tecido onde foram aplicados e desencadeiam série de mudanças nas células que podem afetar a iniciação ou a modificação do desenvolvimento de órgãos ou tecidos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Dentre as opções disponíveis, pode-se citar o cloreto de mepiquate, trinexapac-ethyl, cloreto de clorocolina, cloreto de clormequate (RADEMACHER, 2000) e, mais recentemente, o lactofen (ORLOWSKI; GREGG; LEE, 2016).

Os reguladores de crescimento são muito estudados em monocotiledôneas, como na cultura do trigo (WIERSMA; DAI; DURGAN, 2011), do milho (PRICINOTTO et al., 2015), da cevada (AMABILE et al., 2004), da cana-de-açúcar (FARIA et al., 2014). No caso das eudicotiledôneas, pode-se citar a cultura do algodão (LAMAS; FERREIRA, 2006) e, em menor escala, a cultura da soja (ORLOWSKI; GREGG; LEE, 2016).

Dentre os poucos trabalhos que relatam o uso de reguladores de

crescimento na cultura da soja, pode-se citar a aplicação de herbicidas da classe dos difenil éteres, como o lactofen, fomesafen e acifluorfen (ORLOWSKI; GREGG; LEE, 2016). Tratam-se de herbicidas pós-emergentes registrados para a cultura da soja para o controle de plantas infestantes de folhas largas (AGROFIT, 2015), que causam níveis variados de cloroses e necroses nos tecidos das plantas (NELSON; RENNER; HAMMERSCHMIDT, 2002), o que sugere que difenil éteres, em especial lactofen, podem ser aplicados para destruir o meristema apical das plantas de soja, causando redução no porte das mesmas e induzindo o engalhamento.

O mecanismo de ação dos difenil éteres é através da inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox), a qual catalisa a etapa de oxidação do protoporfirinogênio-IX a protoporfirina-IX (proto-IX) na via de biossíntese das clorofilas e citocromos. Esta inibição, na sequência, é seguida de acúmulo de proto-IX, que leva à formação de espécies reativas do metabolismo do oxigênio (ERMO), peroxidação de lipídios das membranas e diminuição dos teores de pigmentos fotossintéticos, caracterizando-se assim o estresse oxidativo (TAIZ; ZEIGER, 2009). Consequentemente, podem ocorrer manchas, enrugamento e queima das folhas, levando à paralisação temporária do crescimento da cultura.

Objetivando determinar o efeito da aplicação de lactofen sobre os componentes de rendimento da cultura da soja, Orłowski, Gregg e Lee (2016) aplicaram lactofen e fomesafen nos estádios V1, V2, V3 e V4. O estresse causado produziu efeitos visuais nas plantas. O fomesafen causou leve descoloração e bronzeamento nos tecidos, sendo que os sintomas de injúria visual persistiram por apenas 3 a 4 dias. No caso do lactofen, houve mais injúrias visuais que com o fomesafen, tendo causado severo bronzeamento e necrose em todos os tecidos que tiveram contato com o herbicida. Enquanto os tecidos expostos foram drasticamente afetados, novas folhas não foram danificadas de maneira que as plantas tratadas com lactofen em 2 a 3 semanas eram indistintas daquelas não tratadas.

Com relação aos componentes de rendimento, o lactofen foi capaz de ampliar o número de nós na haste principal m^{-2} , em comparação com a testemunha (sem aplicação). Adicionalmente, houve incremento no número de vagens e no número de sementes na haste principal com a aplicação de lactofen, em relação à testemunha. Para a massa de sementes, não houve diferença entre os tratamentos, o que acarretou em rendimento total similar em todos os tratamentos, também. De modo geral, não houve efeito significativo da época de aplicação sobre

os caracteres estudados.

Em cultivo irrigado de soja para altos rendimentos nos Estados Unidos, Mangialardi et al. (2016) concluíram que as aplicações de lactofen nos estádios iniciais foram capazes de causar injúrias temporárias nas folhas, não havendo efeito no rendimento de grãos. Quanto à altura de plantas, a aplicação do herbicida não teve efeito sobre esta característica, sendo as épocas de semeadura testadas as responsáveis pelas alterações significativas observadas.

Os estudos com a aplicação de difenil éteres na cultura da soja são escassos, sendo que os primeiros reportados na literatura dizem respeito à indução de defesa (LANDINI; GRAHAM; GRAHAM, 2003; GRAHAM, 2005; CHENG; YUAN; GRAHAM, 2011; CROSS et al., 2012) e tentativa de redução do estresse oxidativo causado pela aplicação (FERREIRA et al., 2010). Deste modo, não há recomendações técnicas balizadas cientificamente que indiquem os reais efeitos sobre o porte das plantas e os componentes de rendimento da cultura da soja, além de época adequada para aplicação

3 ARTIGO A: VARIABILIDADE DOS TEORES DE PROTEÍNA, ÓLEO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DE GRÃOS DE SOJA

3.1 RESUMO

Dentre as fontes vegetais de proteína e óleo para a indústria, a cultura da soja se destaca por simultaneamente atender a estes dois quesitos. Ao observar a dinâmica de comercialização de soja no Brasil, não há estratégias de segregação de grãos no momento de comercialização, recepção e utilização da biomassa em cooperativas e/ou agroindústrias, quanto à qualidade ou quantidade de óleo e proteína, o que tem justificado o trabalho da pesquisa em função do rendimento apenas. O objetivo deste trabalho foi determinar quais os fatores que mais afetam os teores de proteína, óleo e o perfil de ácidos graxos em soja, considerando como variáveis classificatórias ano de cultivo, grupo de maturidade, altitude e soma térmica janeiro-fevereiro. Buscando atingir condições edafoclimáticas distintas, a amostragem compreendeu parte do centro-sul ao norte do estado do Paraná e sul do estado de São Paulo, em um total de 110 amostras, em 25 municípios, nas safras 2012/2013 (Ano 1), 2013/2014 (Ano 2) e 2014/2015 (Ano 3). Os genótipos amostrados foram BMX Potência RR (grupo de maturidade – GM 6.7), NA 5909RG (GM 5.9), M6410 IPRO (GM 6.4), M5947 IPRO (GM 5.9), M5917 IPRO (GM 5.9). As variáveis dependentes determinadas foram teor de proteína, teor de óleo e perfil analítico de ácidos graxos [palmítico (C 16:0); esteárico (C 18:0); oleico (C 18:1); linoleico (C 18:2); linolênico (C 18:3)]. Empregaram-se a análise de componentes principais (ACP) e análise hierárquica de agrupamentos (AHA). Na sequência, empregou-se a técnica de regressão linear passo a passo (stepwise) pelo método progressivo (forward) seguida de análise de regressão simples de Spearman buscando interpretar e validar os resultados denotados na ACP e na AHA. A maior influência sobre a variabilidade do teor de proteína e ácido oleico (C 18:1) foi o grupo de maturidade, onde ambos foram aumentando em grupos mais tardios; do teor de óleo, ácido palmítico (C 16:0) e esteárico (C 18:0) foi o ano de cultivo, onde os teores foram aumentando com o passar dos anos; do ácido linoleico (C 18:2) foi a soma térmica janeiro/fevereiro, com tendência de redução do teor com aumento da soma térmica; e do ácido linolênico (C 18:3) foi a altitude, com aumento do teor concomitante ao aumento da altitude.

Palavras-chave: *Glycine max* L. (Merril). Grupo de maturidade. Ano de cultivo. Altitude.

3.2 ABSTRACT

Among the vegetable sources of protein and oil to the industry, the soybean stands out for simultaneously meet these two items. By observing the soybean market dynamics in Brazil, there is no grain segregation strategies in the trading time, reception and use of biomass in co-operatives and/or agro-industries, regarding to the quality or quantity of oil and protein, which has justified the work of research toward yield only. The objective of this study was to determine the factors that most

affect the protein and oil contents, fatty acid profile in soybean. Considering as classificatory variables year of cultivation, maturity group, altitude and thermal time from January+February. Seeking to reach different soil and weather conditions, sampling covered portion of south-central north of Paraná state and the southern state of São Paulo, in a total of 110 samples in 25 cities, in the growing seasons 2012/2013 (Year 1), 2013/2014 (Year 2) and 2014/2015 (Year 3). Sampled genotypes were BMX Potência RR (maturity group - MG 6.7), NA 5909RG (MG 5.9), M6410 IPRO (MG 6.4), M5947 IPRO (MG 5.9), M5917 IPRO (MG 5.9). The dependent variables determined were protein content, oil content and analytical profile of fatty acids [palmitic (C 16:0); stearic (C 18:0); oleic (C 18:1); linoleic (C 18:2); linolenic (C 18:3)]. It were applied principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (AHA). Further, it were applied the linear stepwise regression by progressive method (forward) followed by simple correlation of Spearman seeking to interpret and validate the results denoted in the ACP and the AHA. The greatest influence on the variability of protein and oleic acid content was the maturity group where both were increasing in later groups; Oil content of palmitic and stearic acid was year of cultivation where contents were increasing over the years; linoleic acid was the thermal time January+February, with content reduction trend with increase of the thermal time; and linolenic acid was the altitude, with content increase associated to the higher altitude.

Keywords: *Glycine max* L. (Merril). Maturity groups. Year of cultivation. Altitude

3.3 INTRODUÇÃO

Dentre as fontes vegetais de proteína e óleo para a indústria, a cultura da soja se destaca por simultaneamente atender a estes dois quesitos. Com teores de proteína médios em torno de 400 g kg^{-1} e de óleo em torno de 210 g kg^{-1} , a soja é a cultura anual com maior produção de proteína do mundo, com baixo custo e em curto espaço de tempo.

Diversos fatores dirigiram a expansão das áreas de cultivo e do rendimento de soja no Brasil. Dentre eles, podem-se citar a forte demanda do mercado internacional, a disponibilidade de áreas aptas ao cultivo, além de clima adequado e rusticidade da cultura. Do ponto de vista técnico, o melhoramento genético teve importante papel no desenvolvimento de genótipos mais adaptados, acompanhado pela fisiologia vegetal e pela fitotecnia que possibilitaram melhor compreensão da ecofisiologia da cultura e de técnicas de manejo agrônomo específicas (PÍPOLO et al., 2015).

No entanto, o enfoque da pesquisa foi direcionado ao aumento do rendimento e à resistência a doenças, não havendo ações efetivas sobre a melhoria

nos rendimentos qualitativos (teor de proteína e óleo). Ao observar a dinâmica de comercialização de soja no Brasil, não há estratégias de seleção de grãos no momento de comercialização, recepção e utilização da biomassa em cooperativas e/ou agroindústrias, quanto à qualidade ou quantidade de óleo e proteína, o que tem justificado o trabalho da pesquisa em função do rendimento apenas.

Trabalhos clássicos relatam que há correlação negativa entre rendimento de grãos e teor de proteína e entre teor de proteína e teor de óleo (WILSON, 2004). No entanto, alguns trabalhos têm demonstrado, além de grande influência do genótipo nesta variabilidade, fortes interações com o ambiente e com o manejo agrônomico na qualidade dos grãos.

Quando em campo, a população de planta é exposta as mais variadas condições ambientais durante o seu ciclo, o que faz com que respostas diferenciais a estas condições sejam observadas nas reservas majoritárias das sementes (proteína e óleo). Dentre estes fatores, temperatura (GIBSON; MULLEN, 1996; PÍPOLO; SINCLAIR; CAMARA, 2004), disponibilidade de água (DORNBOS; MULLEN, 1992; BELLAOUI; MENGISTU, 2008; GAO et al., 2009), nutrição mineral (JONES; LUTZ, 1971; HAQ; MALLARINO, 2005; KRUEGER et al., 2013), práticas culturais (GAO et al., 2009; BELLAOUI et al., 2014; PÍPOLO et al., 2015), tipo de solo (GAO et al., 2009) e época de semeadura (HU et al., 2012) são relatados como causadores de alteração no rendimento e composição dos grãos. Além disso, estes fatores variam em função do local de cultivo (região) e dos anos de cultivo (MEDIC; ATKINSON; HURBURGH JR., 2014).

O objetivo deste trabalho foi determinar quais os fatores que mais afetam os teores de proteína, óleo e o perfil de ácidos graxos em soja, considerando como variáveis classificatórias ano de cultivo, grupo de maturidade, altitude e soma térmica janeiro-fevereiro.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Buscando atingir condições edafoclimáticas distintas, a amostragem compreendeu parte do centro-sul ao norte do estado do Paraná e sul do estado de São Paulo.

As amostras foram coletadas em unidades de recebimento de sementes de cooperativas e empresas produtoras de sementes em 25 municípios (Figura 3.4.1): Safra 2012/2013 (Ano 1) – Arapongas, Cândói, Carambeí, Goioxim, Guarapuava, Jaguariaíva, Londrina, Marilândia do Sul, Mauá da Serra, Ortigueira, Pinhão, Ponta Grossa, Prudentópolis, Reserva do Iguazu, Santa Cecília do Pavão, Santa Maria do Oeste, Tamarana, Teixeira Soares, Tibagi; Safras 2013/2014 (Ano 2) e 2014/2015 (Ano 3) – Buri, Itaberá, Itapeva, São Miguel Arcanjo, Taquarivaí, Tomazina. O total de amostras foi 110.

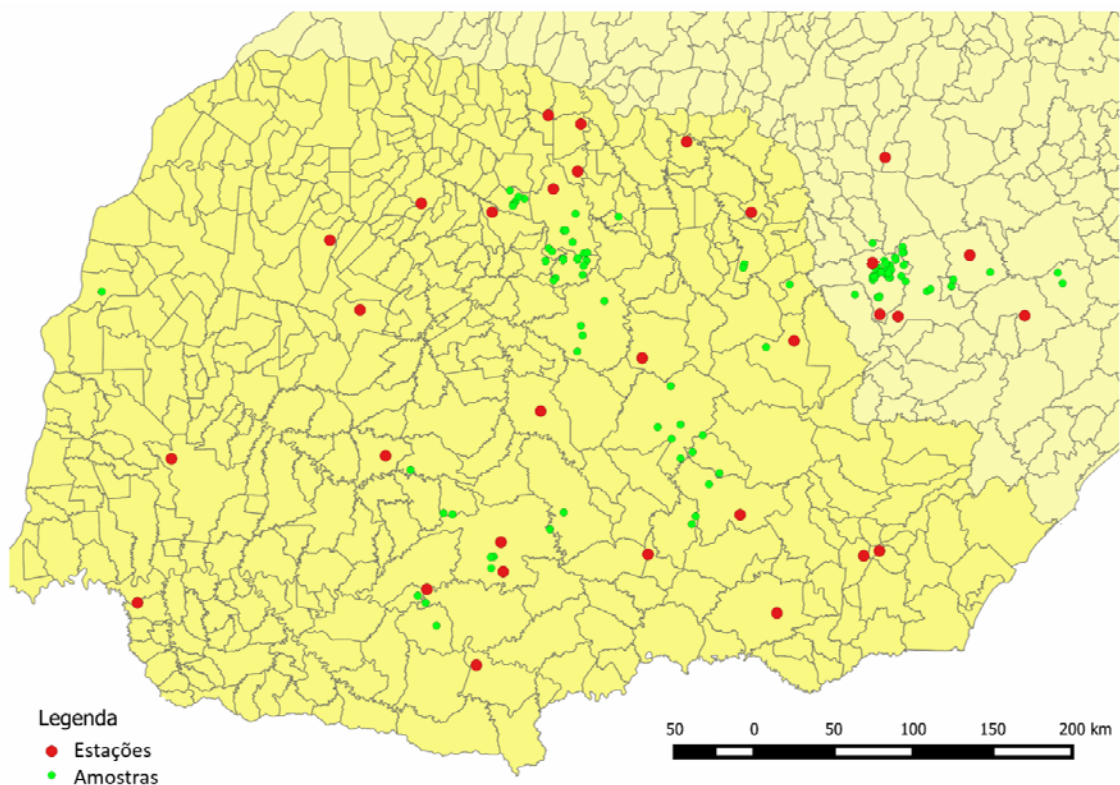


Figura 3.4.1 – Distribuição das amostras coletadas e das estações meteorológicas das quais obtiveram-se informações para análises

Os genótipos amostrados foram BMX Potência RR (grupo de maturidade - GM 6.7), NA 5909RG (GM 5.9), M6410 IPRO (GM 6.4), M5947 IPRO (GM 5.9), M5917 IPRO (GM 5.9). Os genótipos foram selecionados levando em considerações os mais cultivados nas regiões selecionadas.

A porção sul da área abrangida se caracteriza pela predominância de Cambissolos (pouco estruturados e rasos). O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é temperado propriamente dito (Cfb), com

temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000).

A porção norte do estado do Paraná se caracteriza pela predominância de Latossolos (muito bem estruturados e profundos) e de Cambissolos. O clima da região é subtropical (Cfa), com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000).

A porção sul do estado de São Paulo se caracteriza pela predominância de Cambissolos e Latossolos. O clima da região é tropical de altitude (Cwa), com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA/CEPAGRI/CEPAGRI, 2016).

Como procedimento de preparo das amostras, as mesmas foram homogeneizadas, moídas em moinho de facas em granulometria suficiente para que passem em peneira de malha de 20 mesh (abertura de 0,841 mm) e acondicionadas em frascos de polietileno. Em seguida, foram congeladas em ultrafreezer à temperatura de -80 °C e então desidratadas em liofilizador, para que se conservassem até o momento das determinações analíticas.

As variáveis dependentes determinadas foram teor de proteína, teor de óleo e perfil analítico de ácidos graxos [palmitico (C 16:0); esteárico (C 18:0); oleico (C 18:1); linoleico (C 18:2); linolênico (C 18:3)].

A determinação do teor de proteína foi realizada através do método de Galvani e Gaertner (2006), multiplicando o teor de nitrogênio total pelo fator 6,25. Para a determinação de N total, empregou-se a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), que utiliza a digestão sulfúrica das amostras e posterior determinação pelo método de semi-micro-Kjeldahl.

A extração de lipídios (teor de óleo e perfil analítico de ácidos graxos) se deu de duas maneiras. Para teor de óleo foi empregado o método intermitente de Soxhlet, conforme recomendações do Instituto Adolfo Lutz (2008). Amostras de grãos moídos, entre 5 e 8 g, foram acondicionadas em envelopes de papel filtro e permaneceram em processo de extração contínua por 8 h, empregando

o hexano como solvente. O rendimento quantitativo foi determinado gravimetricamente.

Para determinação do perfil analítico de ácidos graxos foi utilizado método de extração a frio e transesterificação descrita por Ryckebosch, Muylaert e Foubert (2012). Em tubos do tipo “Falcon” de 50 mL previamente limpos e secos em estufa, 0,100 g de amostra de grãos moídas foram misturados a 4 mL de metanol, 2 mL de clorofórmio e 0,4 mL de água destilada e levados ao vórtex por 30 s. Adicionou-se mais 2 mL de clorofórmio e 2 mL de água destilada e levou-se ao vórtex novamente. Posteriormente, os tubos foram centrifugados por 10 minutos a 2000 rotações min^{-1} . A camada superior foi descartada e a inferior transferida para tubo “falcon” de 15 mL, previamente limpo e seco. O procedimento foi repetido e à combinação dos extratos inferiores coletados foi adicionado sulfato de sódio anidro, que posteriormente foi filtrada em filtro de papel “Whatman” e acondicionada em tubo “Falcon” de 15 mL. As amostras foram evaporadas a 40 °C por 48 h. O rendimento das extrações foi de 0,005 g e foi suficiente para a determinação do perfil analítico de ácidos graxos.

Para a transesterificação das amostras as mesmas foram dissolvidas em 1 mL de tolueno e 2 mL de solução 1% de ácido sulfúrico em metanol. As amostras ficaram por 12 h a 50 °C. Posteriormente, o produto formado foi separado desta solução empregando 5 mL de solução 5% de NaCl e 2 mL de hexano grau HPLC. Os frascos foram agitados e posteriormente mantidos em repouso até a separação das fases. A fração hexânica, então, foi removida e acondicionada em outro frasco, na presença de sulfato de sódio anidro. Esta solução foi filtrada em filtro de papel “Whatman”.

Em seguida, as amostras foram analisadas em cromatógrafo a gás (Perkin Elmer Clarus 580) com detector de ionização de chamas. A coluna utilizada foi a Elite Wax de 60 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro. Foi utilizada rampa de aquecimento com temperatura inicial de 190 °C e taxa de aquecimento de 10 °C min^{-1} até 230 °C, sendo mantido nesta temperatura por 20 minutos. Foram quantificados os ácidos palmítico (C 16), esteárico (C18), oleico (C 18:1), linoleico (C 18:2) e linolênico (C 18:3), empregando padrão analítico interno C 12:0.

Conhecendo-se a procedência de cada amostra, as mesmas foram localizadas espacialmente em SIG (Sistema de Informação Geográfica) e identificadas quanto ao genótipo de que provêm. Adicionalmente, foram compiladas

informações de temperatura que subsidiaram a determinação da variável independente “soma térmica janeiro/fevereiro”. Esta soma térmica foi calculada com referência nos graus-dia acumulados entre a diferença da temperatura média do dia e a temperatura basal da cultura (10 °C; Schneider et al., 1987). Informações de precipitação não foram compiladas pelo fato de que a grande maioria das áreas amostradas encontrava-se sob regime de irrigação e todas as amostras foram obtidas em áreas de produção de sementes, onde condições climáticas desfavoráveis condenaram os lotes e, conseqüentemente, a exclusão da amostra.

Informações de temperatura foram estudadas tomando como referência as estações do Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar) e da Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária (Fundação ABC).

Em posse dos dados analíticos procederam-se as análises estatísticas. Empregaram-se a análise de componentes principais (ACP) e análise hierárquica de agrupamentos (AHA), considerando como variáveis classificatórias ano de cultivo, grupo de maturidade, altitude e soma térmica janeiro-fevereiro. Com relação à utilização de dados climáticos, sobretudo temperatura, como variável independente, testes analisando a covariação foram realizados e o comportamento mais adequado foi da soma térmica janeiro-fevereiro. Quanto ao pré-processamento dos dados e o método de ligação (AHA), o autoescalamento e o incremental, respectivamente, foram os que melhor se ajustaram aos dados e às variáveis.

Em uma segunda etapa, empregou-se a regressão linear passo a passo (stepwise) pelo método progressivo (forward), acompanhada de correlação simples de Spearman buscando interpretar e validar os resultados denotados na ACP e na AHA.

O software empregado na organização dos dados e análise descritiva foi o Microsoft Excel[®] 2010. O SIG empregado na espacialização das informações foi o ArcGIS[®] 10 (ESRI, 2010). Nas análises ACP e AHA empregou-se o software Pirouette[®] 4.5 (INFOMETRIX, 2011) e para a regressão linear passo a passo pelo método progressivo e correlação simples de Sparman utilizou-se o software BioEstat 5.0 (AYRES et al., 2007).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise descritiva encontra-se na Tabela 3.5.1, com exceção das variáveis dependentes categóricas ano e grupo de maturidade. Para melhor descrever os dados, optou-se por sumarização geral dos mesmos e posteriormente segregação por ano e grupo de maturidade.

Tabela 3.5.1 – Análise descritiva geral dos dados e segregada por grupo de maturidade e ano

Variáveis	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio	CV (%)
		geral				
altitude (m)	737	705	1073	517	109,9	14,9
ST ¹ (°C)	806,05	835	877,15	654,2	65,89	8,17
proteína (g kg ⁻¹)	354,2	352,98	405,04	310,54	19,93	5,63
óleo (g kg ⁻¹)	202,18	202,87	231,5	172,83	13,12	6,49
C 16:0 (g kg ⁻¹)	130,47	129,99	143,36	117,6	5,58	4,28
C 18:0 (g kg ⁻¹)	57,52	56,96	73,43	42,88	7,28	12,65
C 18:1 (g kg ⁻¹)	216,25	216,25	249,87	176,36	16,82	7,78
C 18:2 (g kg ⁻¹)	525,64	523,8	561,09	494,62	14,63	2,78
C 18:3 (g kg ⁻¹)	70,12	70,13	85,46	56,46	6,67	9,51
		GM ² 5.9				
altitude (m)	741	686	1073	621	112,4	15,2
ST (°C)	810,46	850,52	875,99	654,2	69	8,51
proteína (g kg ⁻¹)	342,55	340,55	374,95	310,54	14,2	4,14
óleo (g kg ⁻¹)	209,71	212,96	231,5	172,83	12,17	5,81
C 16:0 (g kg ⁻¹)	131,26	130,27	143,36	117,6	7,26	5,53
C 18:0 (g kg ⁻¹)	62,06	61,79	73,43	48,77	6,48	10,44
C 18:1 (g kg ⁻¹)	211,6	212,49	240,57	186,62	13,92	6,58
C 18:2 (g kg ⁻¹)	525,11	521,51	561,09	494,62	16,1	3,07
C 18:3 (g kg ⁻¹)	69,97	70,34	82,58	58,45	6,77	9,67
		GM 6.4				
altitude (m)	655	658	721	562	41,7	6,4
ST (°C)	848,99	850,52	877,15	775,38	29,76	3,51
proteína (g kg ⁻¹)	341,69	342,94	362,34	318,97	10,94	3,2
óleo (g kg ⁻¹)	207,17	208,07	221,11	195,43	6,61	3,19
C 16:0 (g kg ⁻¹)	128,72	129,33	134,2	121,05	4,72	3,66
C 18:0 (g kg ⁻¹)	53,12	56,67	63,6	42,88	7,73	14,54
C 18:1 (g kg ⁻¹)	206,28	204,26	243,54	176,36	19,25	9,33
C 18:2 (g kg ⁻¹)	535,26	541,23	552,84	513,58	13,64	2,55
C 18:3 (g kg ⁻¹)	76,61	76,45	84,83	70,13	4,36	5,69

	GM 6.7					
altitude (m)	768	756	1012	517	111,9	14,6
ST (°C)	782,7	835	852,65	654,2	64,62	8,26
proteína (g kg ⁻¹)	371,9	371,63	405,04	324,51	14,23	3,83
óleo (g kg ⁻¹)	192,1	192,83	211,14	173,5	9,13	4,75
C 16:0 (g kg ⁻¹)	130,4	129,86	138,14	123,77	3,44	2,64
C 18:0 (g kg ⁻¹)	54,66	53,69	65,42	44,81	5,02	9,19
C 18:1 (g kg ⁻¹)	225,48	225,38	249,87	180,75	14,13	6,27
C 18:2 (g kg ⁻¹)	522	523,12	553,35	498,63	11,58	2,22
C 18:3 (g kg ⁻¹)	67,45	67,55	85,46	56,46	5,47	8,12
	Ano 1					
altitude (m)	804	787	1073	517	119,4	14,9
ST (°C)	760,87	760	852,65	654,2	65,43	8,6
proteína (g kg ⁻¹)	368,44	368,56	405,04	332,23	15,49	4,2
óleo (g kg ⁻¹)	193,88	193,45	217,67	172,83	10,42	5,38
C 16:0 (g kg ⁻¹)	129,02	128,94	138,14	117,6	4,52	3,5
C 18:0 (g kg ⁻¹)	55,11	54	69,56	44,81	5,43	9,85
C 18:1 (g kg ⁻¹)	219,43	220,09	249,87	180,75	16,95	7,73
C 18:2 (g kg ⁻¹)	526,74	524,4	561,09	498,63	14,15	2,69
C 18:3 (g kg ⁻¹)	69,69	69,51	85,46	56,46	6,36	9,13
	Ano 2					
altitude (m)	659	659	721	562	34,8	5,3
ST (°C)	848,09	850,52	877,15	775,38	27,79	3,28
proteína (g kg ⁻¹)	336,22	336,26	370,65	310,54	14,79	4,4
óleo (g kg ⁻¹)	205,4	208,07	221,11	178,74	11,46	5,58
C 16:0 (g kg ⁻¹)	126,12	125,08	137,18	120,39	4,25	3,37
C 18:0 (g kg ⁻¹)	52,8	54,02	66,06	42,88	7,28	13,79
C 18:1 (g kg ⁻¹)	217,81	213,81	243,54	193,67	18,06	8,29
C 18:2 (g kg ⁻¹)	531,17	529,62	557,68	510,58	15,64	2,94
C 18:3 (g kg ⁻¹)	72,1	73,02	80,89	59,49	7,34	10,18
	Ano 3					
altitude (m)	679	679	742	605	35,5	5,2
ST (°C)	851,71	850,52	875,99	775,38	16,09	1,89
proteína (g kg ⁻¹)	342,81	341,34	365,66	324,45	10,41	3,04
óleo (g kg ⁻¹)	213,43	213,28	231,5	198,84	7,75	3,63
C 16:0 (g kg ⁻¹)	135,54	136,14	143,36	128,43	4,05	2,98
C 18:0 (g kg ⁻¹)	64,37	63,55	73,43	56,67	4,7	7,3
C 18:1 (g kg ⁻¹)	210,17	212,99	233,97	176,36	14,57	6,93
C 18:2 (g kg ⁻¹)	520,37	516,63	546,77	494,62	13,46	2,59
C 18:3 (g kg ⁻¹)	69,55	69,75	84,83	58,45	6,71	9,65

¹ST: soma térmica janeiro-fevereiro;

²GM: grupo de maturidade;

A análise descritiva geral evidencia a variabilidade total de conjuntos de dados que seguem para as análises discriminantes seguintes. Levando em

consideração as variáveis independentes altitude e soma térmica que nas análises foram tratadas como variáveis classificatórias ao lado de ano e grupo de maturidade, pode-se perceber grande variabilidade ao analisar máximo e mínimo (amplitude). Este comportamento se confirma na segregação por grupo de maturidade e ano.

Para as variáveis dependentes proteína e óleo, percebe-se comportamento semelhante, com variações menos evidentes entre os anos e mais pronunciada entre os grupos de maturidade.

Os teores médios gerais de proteína e óleo estão de acordo com os encontrados pela indústria processadora de grãos (PÍPOLO et al., 2015). Com relação aos teores de ácidos graxos, dentro de parâmetros médios podem-se considerar os teores adequados, sendo encontrados relatos de 110 g kg^{-1} de ácido palmítico, 30 g kg^{-1} de ácido esteárico, 220 g kg^{-1} de ácido oléico, 540 g kg^{-1} de ácido linoléico e 80 g kg^{-1} de ácido linolênico (BEWLEY et al., 2013).

Levando em conta o gráfico de resíduos de Mahalanobis, optou-se por eliminar do conjunto de dados 4 amostras (outliers). O gráfico das amostras que seguiram nas análises está na Figura 3.5.1.

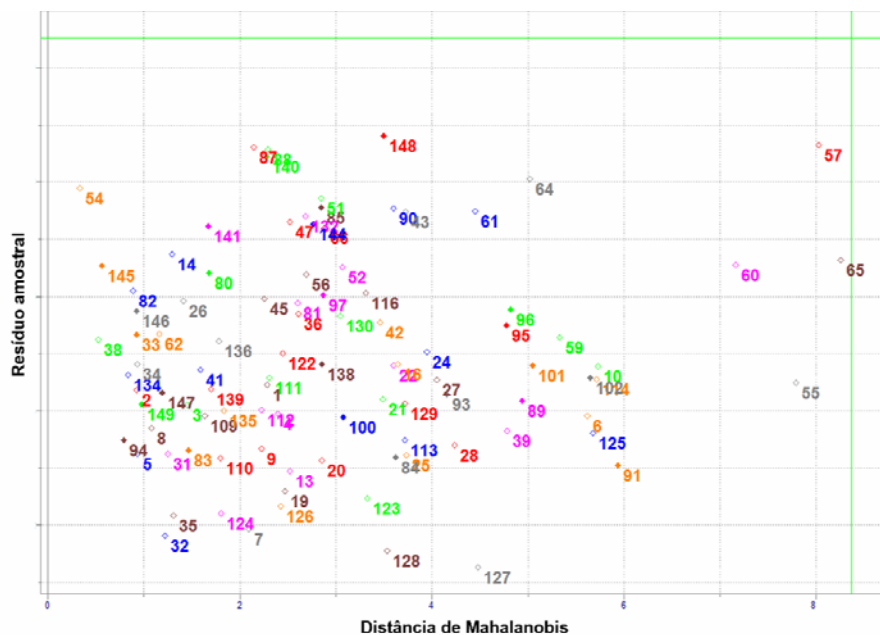
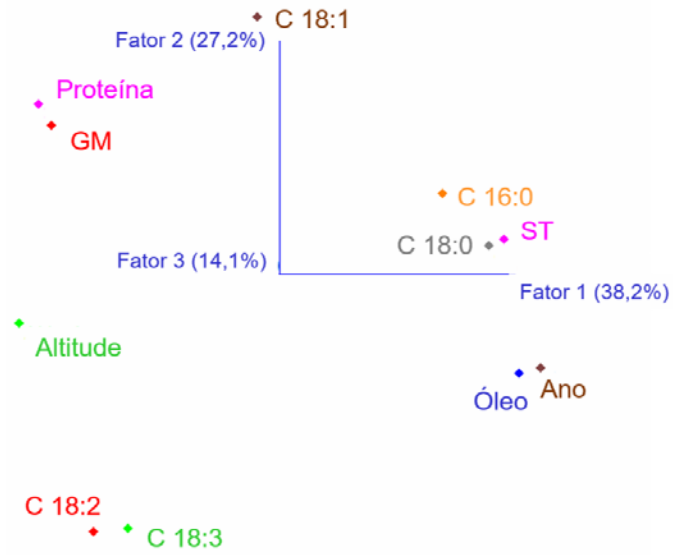


Figura 3.5.1 – Gráfico de resíduos de Mahalanobis com as amostras (scores) que seguiram nas análises

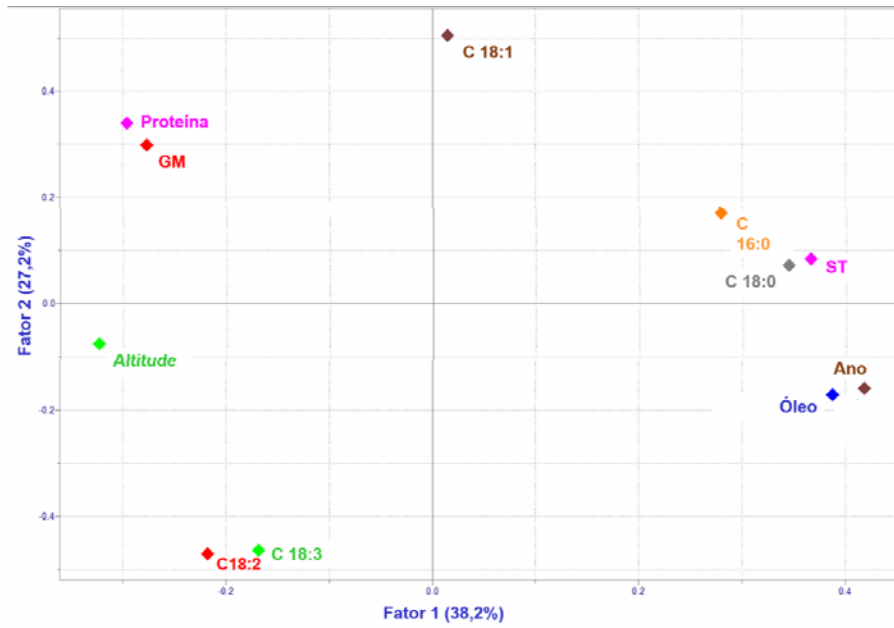
A análise por componentes principais (ACP) evidenciou a influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes, onde foi possível determinar que três fatores conseguem explicar 79,5% da variância do conjunto de

dados. Os fatores 1, 2 e 3 explicam, respectivamente, 38,2, 27,2 e 14,1% da variância do conjunto de dados. Os fatores 1 e 2 juntos explicam 65,4% (Figura 3.5.2).

(a)



(b)



de 0,47)

As duas análises qualitativas (ACP e AHA) complementarmente conduziram as mesmas generalizações para a variância do conjunto de dados, o que denota a coerência nas relações determinadas. A Tabela 3.5.2 sumariza as variáveis independentes que mais influenciaram na variância das variáveis dependentes.

Assim como descrito na tabela 3.5.2, o teor de proteína é fortemente influenciado pelo grupo de maturidade e pela altitude, enquanto que o teor de óleo está mais relacionado ao ano de cultivo e à soma térmica, assim como os ácidos graxos saturados palmítico e esteárico (C 16:0 e C 18:0). Os ácidos graxos insaturados oleico, linoleico e linolênico (C 18:1, C 18:2 e C 18:3) são mais influenciados pela soma térmica e grupo de maturidade, altitude e grupo de maturidade e altitude, respectivamente.

Tabela 3.5.2 – Variáveis dependentes e as respectivas variáveis independentes que mais influenciaram em suas variâncias

Variáveis dependentes	Análise por componentes principais		Análise Hierárquica de Agrupamentos
	Fator 1 e 2	Fator 1 e 3	
Teor de proteína	GM ¹	altitude	GM
Teor de óleo	ano	ST	ano; ST
C 16	ST ²	ano	ano; ST
C 18	ST	ano	ano; ST
C 18:1	ST	ST	GM
C 18:2	altitude	GM	altitude
C 18:3	altitude	altitude	altitude

¹GM: grupo de maturidade;

²ST: soma térmica janeiro-fevereiro;

Complementar à explicação da tabela 3.5.2, pode-se acrescentar que na análise hierárquica de agrupamentos (Figura 3.5.3) o agrupamento influenciado pelo grupo de maturidade está ligado ao agrupamento influenciado pela altitude, o que relaciona o efeito destas duas variáveis dependentes.

As duas análises discriminantes (ACP e AHA) apenas indicaram quais as tendências de variação no conjunto de dados, ou seja, forneceram interpretação qualitativa das influências. Buscando interpretação quantitativa, apresentam-se a regressão linear passo a passo, seguida de correlação simples de Spearman.

A análise de regressão linear passo a passo método progressivo (Tabela 3.5.3) evidencia a participação de cada uma das variáveis independentes consideradas (ano, grupo de maturidade, altitude e soma térmica) na variância das variáveis dependentes (teor de proteína, teor de óleo, ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico).

Apenas para as variáveis teor de proteína e teor de óleo alcançaram-se valores explicativos fortes para grupo de maturidade (40,25%) e ano de cultivo (43,94%), respectivamente. Para C 16 e C 18 os efeitos foram moderados a fracos para ano de cultivo (21,97 e 27,12%, respectivamente). Para as demais variáveis, as explicações não são relevantes, demonstrando leve tendência. Como o objetivo da análise não é modelar os fenômenos, não são apresentadas as equações de regressão.

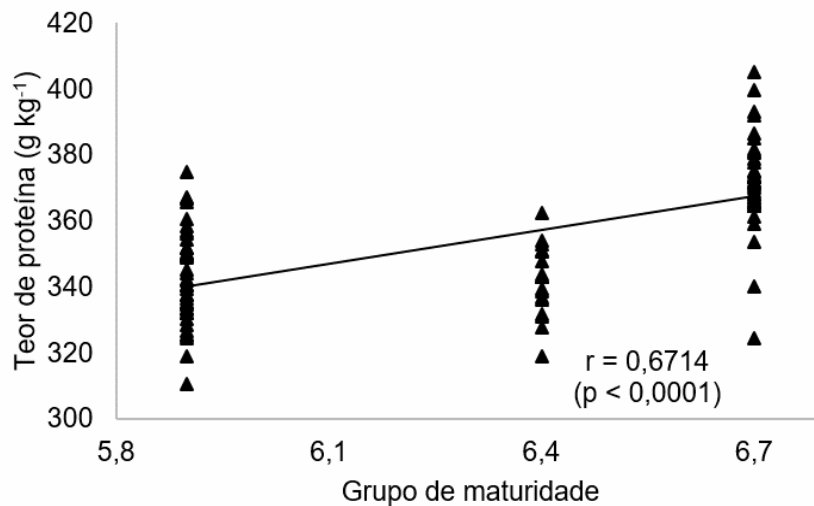
Tabela 3.5.4 – Parâmetros da análise de regressão linear passo a passo, pelo método progressivo

Variável dependente	Variável independente	R	R ²	Varição R ²	p-valor
Proteína	GM	0,6344	40,25%	40,25%	<0,0001
	GM; ano	0,7036	49,51%	9,26%	<0,0001
	GM; ano; altitude	0,7343	53,92%	4,41%	<0,0001
	GM; ano; altitude; ST	0,7345	53,94%	0,02%	<0,0001
Óleo	Ano	0,6629	43,94%	43,94%	<0,0001
	Ano; GM	0,7129	50,82%	6,88%	<0,0001
	Ano; GM; ST	0,7428	55,18%	4,36%	<0,0001
	Ano; GM; ST; altitude	0,7613	57,96%	2,78%	<0,0001
C 16	Ano;	0,4687	21,97%	21,97%	<0,0001
	Ano; ST	0,4689	21,99%	0,02%	0,0001
	Ano; ST; altitude	0,479	22,95%	0,96%	0,0001
	Ano; ST; altitude; GM	0,5401	29,17%	6,22%	<0,0001
C 18	Ano;	0,5208	27,12%	27,12%	<0,0001
	Ano; GM	0,5747	33,03%	5,91%	<0,0001
	Ano; GM; ST	0,5747	33,03%	0,00%	<0,0001
	Ano; GM; ST; altitude	0,5824	33,92%	0,89%	<0,0001
C 18:1	GM	0,3428	11,75%	11,75%	0,0009
	GM; ano	0,3467	12,02%	0,27%	0,0028
	GM; ano; ST	0,5338	28,49%	16,47%	<0,0001
	GM; ano; ST; altitude	0,5449	29,69%	1,20%	<0,0001
C 18:2	ST	0,3585	12,85%	12,85%	0,0006
	ST; altitude	0,3627	13,15%	0,30%	0,0017
	ST; altitude; ano	0,3691	13,62%	0,47%	0,0037

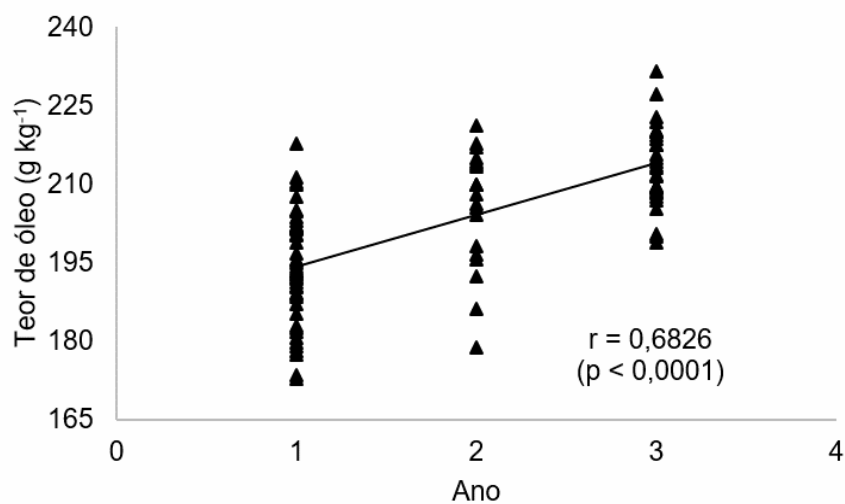
	ST; altitude; ano; GM	0,3832	14,68%	1,06%	0,0055
C 18:3	Altitude	0,3288	10,81%	10,81%	0,0014
	Altitude; ST	0,3338	11,14%	0,33%	0,0042
	Altitude; ST; GM	0,3678	13,53%	2,38%	0,0039
	Altitude; ST; GM; ano	0,4244	18,01%	4,49%	0,0013

A Figura 3.5.4 demonstra graficamente as relações que foram apontadas na regressão linear passo a passo e correlação simples de Spearman. Em todas as situações o p-valor das correlações foi significativo, no entanto, os coeficientes de correlação apenas apontam tendência de comportamento dos dados.

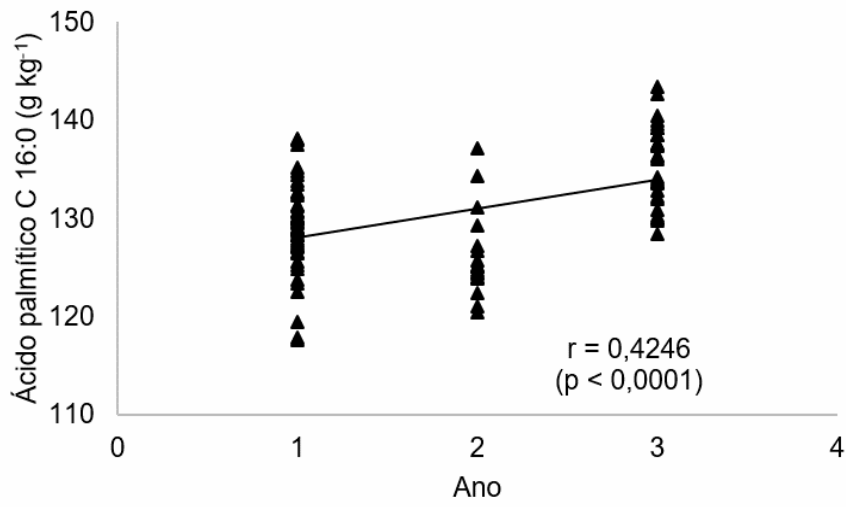
(a)



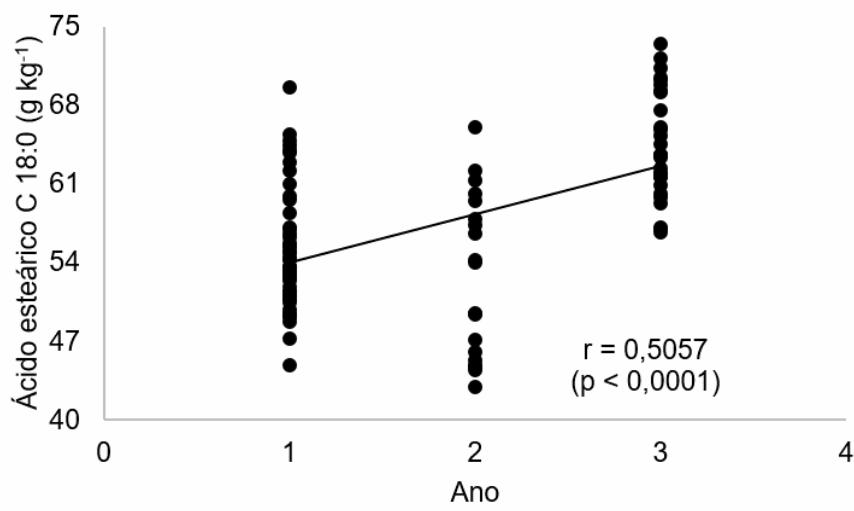
(b)



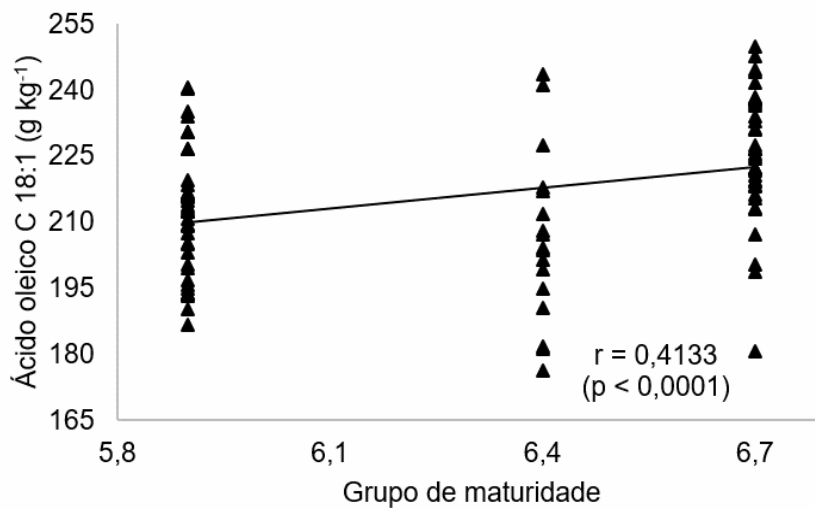
(c)



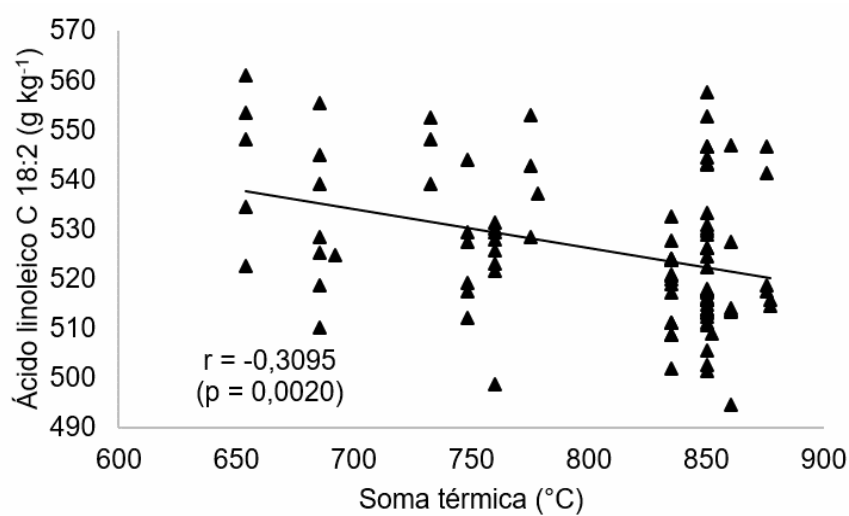
(d)



(e)



(f)



(g)

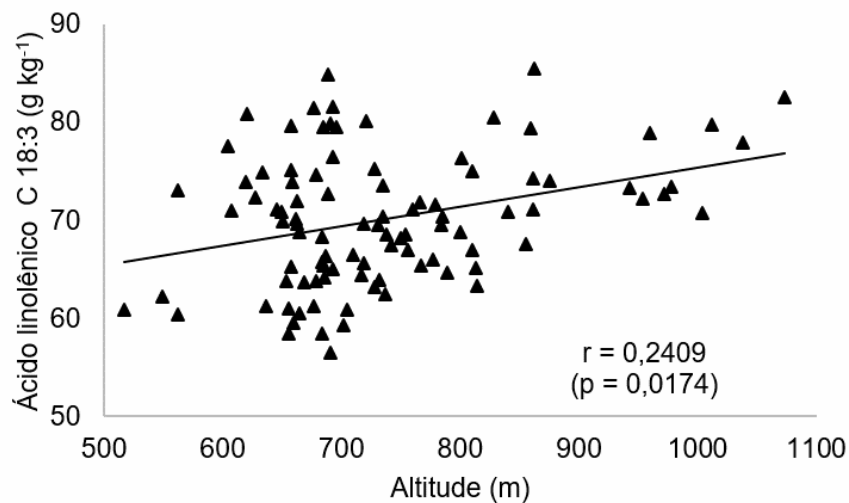


Figura 3.5.4 – Tendências de correlação entre as variáveis independentes e dependentes, denotadas nas análises de regressão linear passo a passo e correlação simples de Spearman. (a) Teor de proteína; (b) Teor de óleo; (c) Ácido palmítico (C 16:0); (d) Ácido esteárico (C 18:0); (e) Ácido oleico (C 18:1); (f) Ácido linoleico (C 18:2); (g) Ácido linolênico (C 18:3)

O comportamento das variáveis teor de proteína e ácido oleico, como demonstrado pelo conjunto de análises, parece estar mais relacionado ao grupo de maturidade, onde genótipos mais tardios tendem a ter maiores teores. Este fato pode ser justificado pelo tempo maior para o enchimento dos grãos em relação a genótipos mais precoces, ou seja, maior tempo para acúmulo de matéria seca, a qual se mobiliza para a constituição de compostos de reserva.

Para as variáveis influenciadas pelo ano de cultivo, teor de óleo, C 16:0 e C 18:0, condições climáticas diferenciais justificam a variação da composição da semente em função do ano de cultivo (MEDIC; ATKINSON; HURBURGH JR., 2014). Considerando a média da soma térmica para os anos de cultivo, ela foi crescente com o passar dos anos (Ano 1: 760,87; Ano 2: 848,09; Ano 3: 851,71 °C), o que levou a uma tendência de aumento dos teores de óleo, C 16 e C 18. Em condições controladas, a temperatura tem pouco efeito na concentração dos ácidos graxos saturados (palmítico e esteárico) (PÍPOLO et al., 2015).

Em trabalho buscando compreender os efeitos do ano de cultivo, região e temperatura sobre a qualidade de soja, Naeve e Huerd (2008) concluíram que o efeito do ano foi marcante sobre os teores de óleo, sendo que a temperatura média durante o enchimento de grãos explicou muito da variação encontrada de ano para ano de cultivo. O teor de óleo também foi maior nos anos mais quentes.

A temperatura tem sido relatada como capaz de alterar os teores de proteína e óleo em sementes de soja. Tipicamente, óleo e proteína variam de forma inversa entre si, ao passo que ocorrem mudanças na temperatura do ambiente durante o enchimento de grãos, sendo que em temperaturas crescentes (de 14 a 29 °C), o teor de óleo cresceu (de aproximadamente 190 para 250 g kg⁻¹) e de proteína decresceu (de aproximadamente 460 g kg⁻¹ para 410 g kg⁻¹) (WILSON, 2004). Outros estudos relatam que a máxima concentração ocorreu entre 25 e 28 °C, decrescendo quando a temperatura aumentou (DORNBOS; MULLEN, 1992; PIPER; BOOTE, 1999).

Há relatos, porém, que nem todas as plantas (genótipos distintos) respondem da mesma maneira a alterações na temperatura de crescimento, não sendo bem compreendida a extensão e o significado fisiológico que estas alterações podem ocasionar nestes processos metabólicos de síntese. Em diversos ensaios, as alterações na concentração de óleo e proteína têm sido interpretadas como efeito direto da temperatura, sem considerar o efeito desta sobre a acumulação de matéria seca (PÍPOLO et al., 2015).

Para os ácidos graxos insaturados C 18:2 e C 18:3 as maiores influências foram da soma térmica e da altitude, mas ambas estão relacionadas. Em uma região de mesma latitude, a temperatura média decresce com a elevação da altitude (EMBRAPA, 2014). Locais mais frios levam a condições favoráveis para atuação das enzimas dessaturase, insaturando as cadeias de ácidos graxos e

ampliando a presença de C 18:3. No caso do C 18:2, com o aumento da soma térmica houve redução dos seus teores, o que remete a mesma ideia de que temperaturas maiores levam a ineficiência da atuação das enzimas dessaturase. Com o aumento da temperatura, ocorre o declínio das concentrações de ácidos graxos polinsaturados (linoleico e linolênico) e aumento da concentração de oleico (WOLF et al., 1982; CHEESBROUGH, 1989).

Muitas teorias tentam explicar este fenômeno de maior presença de ácidos graxos polinsaturados em temperaturas mais baixas de desenvolvimento dos grãos, no entanto, não há consenso neste sentido. Atualmente, a teoria mais aceita sugere que a atividade da enzima ω -6 dessaturase pode ser regulada por eventos de transdução de sinal que envolvem a fosforilação reversível da enzima (WILSON, 2004).

Em toda a literatura consultada, a influência genética é citada como fator primordial nas alterações dos constituintes de reserva majoritários em grãos de soja. No entanto, é consenso, também, que o ambiente de cultivo responde pelas demais variações que podem ocorrer. Sendo assim, a seleção do genótipo a ser cultivado deve levar em conta o propósito a que se destina o grão produzido (indústria de nutrição animal, produção de biocombustíveis, semente), passando por informações de local de cultivo (altitude) e estimativas climáticas para a safra em questão.

3.6 CONCLUSÕES

A maior influência sobre a variabilidade do teor de proteína e ácido oleico (C 18:1) foi o grupo de maturidade, onde ambos foram aumentando em grupos mais tardios; do teor de óleo, ácido palmítico (C 16:0) e esteárico (C 18:0) foi o ano de cultivo, onde os teores foram aumentando com o passar dos anos; do ácido linoleico (C 18:2) foi a soma térmica janeiro/fevereiro, com tendência de redução do teor com aumento da soma térmica; e do ácido linolênico (C 18:3) foi a altitude, com aumento do teor concomitante ao aumento da altitude.

3.7 AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de pós-graduação. Ao Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Fundação ABC pelo fornecimento de dados meteorológicos.

3.8 REFERÊNCIAS

- AYRES, M.; AYRES JR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. S. **BioEstat**: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém: Instituto Mamirauá, 380p.
- BELLALOU, N.; MENGISTU, A. Seed composition is influenced by irrigation regimes and cultivar differences in soybean. **Irrigation Science**, v. 26, p. 261–268, 2008.
- BELLALOU, N.; MENGISTU, A.; WALKER, E. R.; YOUNG, L. D. Soybean seed composition as affected by seedling rates and row spacing. **Crop Science**, v. 54, p. 1782-1795, 2014.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds**: physiology of development, germination and dormancy. 3rd ed. New York: Springer, 2013. 392p .
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA/CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 03 jan. 2016.
- CHEESBROUGH, T. Changes in the enzymes for fatty acid synthesis and desaturation during acclimation of developing soybean seeds to altered growth temperature. **Plant Physiology**, v. 90, p. 760–764, 1989.
- DORNBOS, D. L.; MULLEN, R. E. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 69, n. 3, p. 228-231, 1992.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo). **Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil 2004**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2014.
- ESRI. **ARCGIS 10, Environmental Systems Research Institute**. ESRI, 2010.

GAO, J.; HAO, X.; THELEN, K. D.; ROBERTSON, G. P. Agronomic management system and precipitation effects on soybean oil and fatty acid profiles. **Crop Science**, v. 49, p. 1049-1057, 2009.

GIBSON, L. R.; MULLEN, R. E. Soybean seed composition under high day and night growth temperatures. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 73, n. 6, p. 733-737, 1996.

HAQ, M. U.; MALLARINO, A. P. Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 910-918, 2005.

HU, M.; WIATRAC, P. Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality: review. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 785-790, 2012.

INFOMETRIX. **Pirouette Multivariate Data Analysis Software**. Versão 4.5. Seattle: Infometrix, 2011.

JONES, G. D.; LUTZ, J. A. Yield of wheat and soybeans and oil and protein content of soybean as affected by fertility treatments and deep placement of limestone. **Agronomy Journal**, v. 63, n. 6, p. 931-934, 1971.

KRUEGER, K.; GOGGI, A. S.; MALLARINO, A. P.; MULLEN, R. E. Phosphorus and potassium fertilization effects on soybean seed quality and composition. **Crop Science**, v. 53, p. 602-610, 2013.

MEDIC, J.; ATKINSON, C.; HURBURGH JR., C. R. Current knowledge in soybean composition. **Journal of American Oil Chemists Society**, v. 91, p. 363-384, 2014.

NAEVE, S. L.; HUERD, S.C. Year, region, and temperature effects on the quality of Minnesota's soybean crop. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 690-695, 2008.

PIPER, E. L.; BOOTE, K. J. Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentrations. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 66, n. 11, p. 1622-1624.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina: Embrapa. Comunicado técnico 86. 2015. 15p.

PÍPOLO, A. E.; SINCLAIR, T. R.; CAMARA, G. M. S. Effects of temperature on oil and protein concentration in soybean seeds cultured *in vitro*. **Annals of Applied Biology**, v. 144, n. 1, p. 71-76, 2004.

RYCKEBOSCH, E.; MUYLEAERT, K.; FOUBERT, I. Optimization of an analytical procedure for extraction of lipids from microalgae. **Journal of American Oil Chemist's Society**, v. 89, p. 189-198, 2012.

SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; MANFRON, P.A.; SACCOL, A.V.; ESTEFANEL, V. Temperatura base e soma térmica do subperíodo semeadura emergência para algumas cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.17, p.299-308, 1987.

WILSON, R. F. Seed Composition. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Eds). **Soybeans: Improvement, Production, and Uses**. 3rd ed. Madison (WI): American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), 2004, cap. 13. p. 621-677.

WOLF, R. B.; CAVINS, J. F.; KLEIMAN, R.; BLACK, L. T. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids, and sugars. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 59, n. 5, p. 230-232, 1982.

4 ARTIGO B: APLICAÇÃO DE REDUTOR DE CRESCIMENTO EM CULTIVAR DE SOJA DE HÁBITO INDETERMINADO AFETA A QUALIDADE FISIOLÓGICA, O TEOR DE PROTEÍNA E ÓLEO DAS SEMENTES?

4.1 RESUMO

A cultura da soja tem papel importante para a economia brasileira. Com rendimentos elevados e dominando as técnicas básicas de produção, os produtores rurais têm buscado o aperfeiçoamento dos seus sistemas de produção, lançando mão de práticas que visem aumentar os seus rendimentos. Com a ampliação da utilização de genótipos de hábito de crescimento indeterminado, associada a condições ambientais favoráveis, tem-se observado o acamamento da cultura. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de épocas de aplicação de redutor de crescimento e populações de planta sobre os componentes de rendimento, qualidade fisiológica e química de sementes de soja. Foram conduzidos dois experimentos em duas safras agrícolas (Experimento 1: 2013/2014; Experimento 2: 2014/2015), em local com altitude média de 1020 m. A cultivar empregada foi a BRS 284. Os tratamentos foram épocas de aplicação de herbicida com efeito regulador de crescimento (lactofen + adjuvante; Áureo[®] + Cobra[®]) (Testemunha; estágio V2; estágio V5, estágio R1) e populações de plantas: Experimento 1) 222.222; 266.667; 311.111; 355.556; Experimento 2) 170.000; 200.000; 230.000; 260.000 plantas ha⁻¹. Quanto ao rendimento de grãos, as épocas de aplicação não proporcionaram efeitos suficientes para conclusão de melhor época de aplicação, sendo que ausência de aplicação não diferiu das aplicações. Para a qualidade fisiológica, não há diferença entre aplicar em V5 ou em R1. Para teor proteína, as aplicações mais precoces são melhores e para rendimento de óleo, aplicações mais tardias demonstraram melhores resultados.

Palavras-chave: *Glycine max* L. (Merril). Lactofen. Difenil éster. Época de aplicação

4.2 ABSTRACT

The soybean crop has an important role in the Brazilian economy. With high yields and mastering the basic techniques of production, farmers have sought to improve its production systems, making use of practices aimed at increasing their income. With the increased use of indeterminate growth habit genotypes associated with favorable environmental conditions, it has been observed the lodging of the crop. In this sense, the objective of this study was to determine the effect of growth reducing application times and plant population on yield components, physiological and chemical quality of soybean seeds. Two experiments were carried out in two harvests season (Experiment 1: 2013/2014; Experiment 2: 2014/2015) in place with an average altitude of 1020 m. The cultivar used was BRS 284. The treatments were growth regulator application times (lactofen + adjuvant; Áureo[®] + Cobra[®]) (Control treatment; V2 stage; V5 stage, R1 stage) and plant populations: Experiment 1) 222,222 ; 266,667; 311,111; 355,556; Experiment 2) 170,000; 200,000; 230,000; 260,000

plants ha⁻¹. For grain yield, the application times did not provide sufficient effects to conclude about the best time of application, and the control treatment did not differ from applications. For the physiological quality, there was no difference between applying in V5 or R1. For protein, the earlier applications are better, and for oil yield, later application showed better results.

Keywords: *Glycine max* L. (Merril). Lactofen. Diphenyl ether. Timing of application

4.3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja tem papel importante para a economia brasileira. Com rendimentos elevados e dominando as técnicas básicas de produção, os produtores rurais têm buscado o aperfeiçoamento dos seus sistemas de produção, lançando mão de práticas que visem aumentar os seus rendimentos.

Entre as diversas escolhas a se fazer ainda no planejamento para implantação da cultura, a determinação do genótipo é de extrema importância. O cultivar carrega consigo exigências e limitações específicas, que irão determinar o nível tecnológico de manejo para que, aliada às condições climáticas, expresse o seu máximo potencial de rendimento.

Em busca deste rendimento a opção atual por genótipos com hábito de crescimento indeterminado, os quais continuam a desenvolver nós e alongar o caule mesmo após o florescimento é marcante. Ao utilizar este tipo de cultivar, em regiões de altitude, principalmente acima de 700 m, e com condições de fertilidade do solo favoráveis, em muitos casos ocorre o acamamento da cultura, o que reduz a qualidade das sementes/grãos e limita a colheita mecanizada, acarretando em redução do rendimento e, conseqüentemente, da rentabilidade.

Neste sentido, tem sido comum a recomendação de herbicidas com ação no crescimento das plantas, buscando reduzir o porte das mesmas (SOUZA et al., 2013). Tratam-se de sinalizadores químicos que atuam na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Normalmente, se ligam ao tecido onde foram aplicados e desencadeiam série de mudanças nas células que podem afetar a iniciação ou a modificação do desenvolvimento de órgãos ou tecidos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Dentre as opções disponíveis, pode-se citar o cloreto de mepiquate, trinexapac-ethyl, cloreto de clorocolina, cloreto de cloromequate (RADEMACHER, 2000) e, mais recentemente, o lactofen (ORLOWSKI; GREGG; LEE, 2016).

Dentre os poucos trabalhos que relatam o uso de reguladores de crescimento na cultura da soja, pode-se citar a aplicação de herbicidas da classe dos difenil éteres, como o lactofen, fomesafen e acifluorfen (ORLOWSKI; GREGG; LEE, 2016). Tratam-se de herbicidas pós-emergentes registrados para a cultura da soja para o controle de plantas infestantes de folhas largas (AGROFIT, 2015), que causam níveis variados de cloroses e necroses nos tecidos das plantas (NELSON; RENNER; HAMMERSCHMIDT, 2002), o que sugere que difenil éteres, em especial lactofen, podem ser aplicados para destruir o meristema apical das plantas de soja, causando redução no porte das mesmas e induzindo o engalhamento.

No entanto, as recomendações práticas têm esbarrado na ausência de informações concretas que apontem manejos e suas relações com rendimento, parâmetros de qualidade de sementes e teor de proteína e óleo, fatores estes considerados essenciais às indústrias de sementes e de nutrição animal, respectivamente.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi determinar o efeito de épocas de aplicação de herbicida com ação redutora de crescimento e de populações de planta sobre os componentes de rendimento, qualidade fisiológica e química de sementes de soja.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos, em duas safras agrícolas (Experimento 1: 2013/2014; Experimento 2: 2014/2015), em lavoura comercial no município de Ventania (PR), com altitude média de 1020 m. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é temperado propriamente dito (Cfb), com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000).

A cultivar empregada foi a BRS 284, a qual é uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturidade 6.3. A empresa detentora do registro descreve como teor médio de proteína de 387 g kg⁻¹, teor médio de óleo de 204 g kg⁻¹, altura de planta de 80 a 100 cm e massa média de 100 sementes de 14,6 g. Adicionalmente, relata suscetibilidade a acamamento em regiões acima de 700 m

de altitude (EMBRAPA, 2014a). No Experimento 1 a semeadura ocorreu em 18 de novembro de 2013 e a colheita em 06 de abril de 2014. No Experimento 2 a semeadura ocorreu em 05 de novembro de 2014 e a colheita em 24 de março de 2015. Ambos respeitaram o zoneamento agroclimático para a região.

Os tratamentos foram épocas de aplicação de regulador de crescimento e populações de plantas, em esquema fatorial, em quatro níveis. As épocas de aplicação foram (estádio fenológico) (FEHR; CAVINESS, 1977): 1) Testemunha: sem aplicações de herbicida; 2) aplicação do herbicida no estágio V2 com as doses de 300 mL ha⁻¹ de Cobra[®] e 100 mL ha⁻¹ de Áureo[®], 3) aplicação do herbicida no estágio V5 com as doses de 300 mL ha⁻¹ de Cobra[®] e 150 mL ha⁻¹ de Áureo[®] e 4) aplicação do herbicida no estágio R1 de 300 mL ha⁻¹ de Cobra[®] e 150 mL ha⁻¹ de Áureo[®]. As populações de plantas (plantas ha⁻¹) foram: Experimento 1) 222.222; 266.667; 311.111; 355.556; Experimento 2) 170.000; 200.000; 230.000; 260.000.

A população de plantas foi alterada no segundo ano de experimentação devido aos resultados de ensaios de competição de cultivares que demonstraram rendimentos maiores na população de 225 mil plantas por hectare. Sendo assim, distribuíram-se os níveis do tratamento população de maneira a estudar o fenômeno por regressão linear.

O herbicida com efeito redutor do crescimento vegetal empregado foi o lactofen (Cobra[®]) e o adjuvante éster metílico de óleo de soja (Áureo[®]). O lactofen é um herbicida da classe dos difenil éteres, registrado para a cultura da soja para o controle de plantas infestantes de folha larga (AGROFIT, 2015), que causam níveis variados de cloroses e necroses nos tecidos das plantas (NELSON; RENNER; HAMMERSCHMIDT, 2002).

O mecanismo de ação dos difenil éteres é através da inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox), a qual catalisa a etapa de oxidação do protoporfirinogênio-IX a protoporfirina-IX (proto-IX) na via de biossíntese das clorofilas e citocromos. Esta inibição, na sequência, é seguida de acúmulo de proto-IX, que leva à formação de espécies reativas do metabolismo do oxigênio (ERMO), peroxidação de lipídios das membranas e diminuição dos teores de pigmentos fotossintéticos, caracterizando-se assim o estresse oxidativo (TAIZ; ZEIGER, 2009).

As aplicações foram realizadas acompanhando as práticas culturais adotadas rotineiramente na região. As parcelas foram compostas por doze linhas

espaçadas por 0,45 m, com seis metros de extensão, totalizando 32,4 m². Foram consideradas como bordadura duas linhas de cada face e 1,5 m nas demais faces.

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente aleatorizados com quatro repetições. As variáveis dependentes determinadas foram altura de plantas (cm), vagens por planta, grãos por vagem, massa de mil sementes (g), rendimento (kg ha⁻¹), germinação de sementes (%), teor de proteína (g kg⁻¹), teor de óleo (g kg⁻¹), proteína + óleo (kg ha⁻¹), rendimento de proteína (kg ha⁻¹) e rendimento de óleo (kg ha⁻¹).

A determinação de altura de plantas foi realizada com régua graduada em centímetros. A massa de mil sementes foi determinada conforme determinações descritas pelas Regras de Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), sendo composta por amostragem de oito repetições de cem sementes, com massa determinada em balança com acurácia de 0,0001 g. O rendimento foi determinado por colheita da área útil de parcelas e determinação da massa em balança de acurácia de 0,05 g. A germinação de sementes foi determinada segundo recomendações da RAS (BRASIL, 2009).

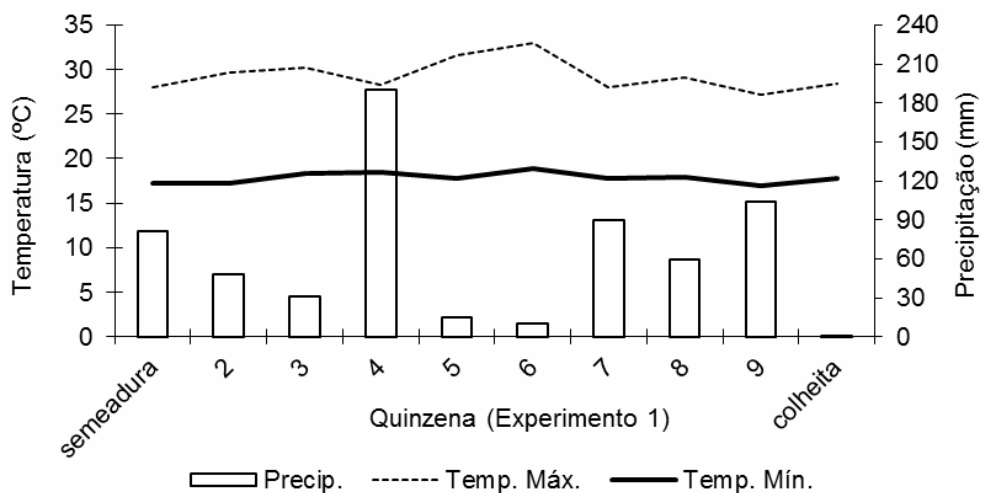
A determinação do teor de proteína foi realizada através do método de Galvani e Gaertner (2006), multiplicando o valor absoluto de nitrogênio total pelo fator 6,25. A determinação de N total, por sua vez, foi realizada conforme descrição de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), que utiliza a digestão sulfúrica das amostras e posterior determinação pelo método de semi-micro-Kjeldahl. O teor de óleo foi determinado através de método intermitente de Soxhlet, empregando o n-hexano como solvente e 8 h de refluxo. Rendimento de proteína e rendimento de óleo foram determinados multiplicando o rendimento de grãos pelo teor de proteína e óleo, respectivamente.

As variáveis foram submetidas a teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade das variâncias (teste de Hartley). Posteriormente, foram submetidas à análise de variância com desdobramentos dos efeitos significativos por teste de médias (Tukey) (fator época de aplicação) e regressão (fator população de plantas). O software empregado na organização dos dados foi o Microsoft Excel[®] 2010 e para análise de variância e seus desdobramentos Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições meteorológicas, para o período de desenvolvimento dos dois experimentos, são apresentadas na Figura 4.5.1. Não houve períodos de limitação hídrica ou de temperaturas extremas que denotem possíveis efeitos negativos ao crescimento e desenvolvimento da cultura, em ambos os experimentos.

(a)



(b)

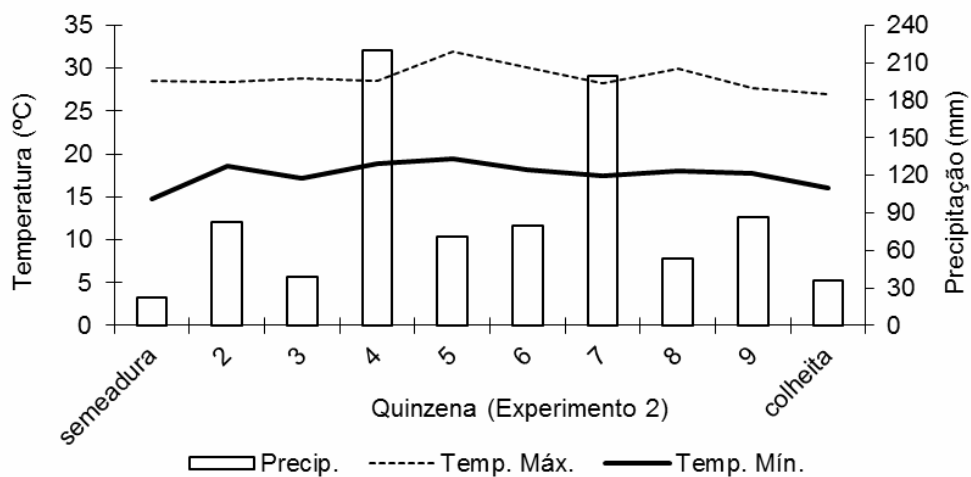


Figura 4.5.1 – Temperaturas máxima, mínima e precipitação no período de condução do experimento 1 (a) e do experimento 2 (b)

Fonte: SIMEPAR

A precipitação total foi de 628,1 e 890,2 mm para o experimento 1 e 2, respectivamente. Embora não haja limitação ou excesso de chuva, nota-se

considerável diferença entre os dois experimentos. Talvez este fato tenha contribuído para o maior rendimento determinado no experimento 2, bem como plantas com estatura maior e não diferença qualitativa (teor de proteína e óleo). Quanto à soma térmica, para o experimento 1 foi de 1908,5 °C e para o experimento 2 de 1871,9 °C.

A tabela 4.5.1 apresenta as variáveis determinadas e o p-valor da análise de variância para ambos os experimentos. Os valores de p-valor negritados indicam os efeitos significativos.

Tabela 4.5.1 – Média, coeficiente de variação (CV) e p-valor determinado na análise de variância para as variáveis do experimento 1 e 2

Variáveis	média	CV %	p-valor		
			população	época	pop. x época
----- Experimento 1 -----					
altura de planta (cm)	76,2	3,48	0,3080	<0,0001	0,8475
vagens por planta	41,4	11,25	<0,0001	0,0143	0,1727
grãos por vagem	2,7	6,53	0,5922	0,0149	0,6358
massa mil sementes (g)	147,1	4,92	0,0517	0,0020	0,0002
rendimento (kg ha ⁻¹)	3879,0	4,41	0,0156	0,0333	0,2341
germinação (%)	95,0	3,71	<0,0001	0,0019	0,1853
teor de proteína (g kg ⁻¹)	335,99	2,37	0,5397	0,0159	0,3831
teor de óleo (g kg ⁻¹)	210,87	3,83	<0,0001	<0,0001	<0,0001
proteína + óleo (g kg ⁻¹)	546,88	2,08	<0,0001	<0,0001	<0,0001
rend. proteína (kg ha ⁻¹)	1303,3	5,26	0,1000	0,0244	0,6109
rend. óleo (kg ha ⁻¹)	815,7	7,35	0,0001	<0,0001	<0,0001
----- Experimento 2 -----					
altura de planta (cm)	98,7	2,53	<0,0001	0,0078	0,0570
vagens por planta	59,0	9,54	<0,0001	0,1863	0,2831
grãos por vagem	2,4	5,09	0,1564	0,0365	0,6661
massa mil sementes (g)	144,0	2,40	<0,0001	<0,0001	<0,0001
rendimento (kg ha ⁻¹)	4083,0	5,76	0,0724	0,7278	0,9610
germinação (%)	89,0	6,10	0,0052	0,0287	0,0624
teor de proteína (g kg ⁻¹)	356,72	3,06	0,1769	0,2957	0,9917
teor de óleo (g kg ⁻¹)	208,46	2,21	0,6594	0,2120	0,7504
proteína + óleo (g kg ⁻¹)	565,18	2,10	0,3780	0,0956	0,9873
rend. proteína (kg ha ⁻¹)	1461,1	6,69	0,0766	0,8853	0,9993
rend. óleo (kg ha ⁻¹)	853,9	6,89	0,5623	0,9786	0,9940

Os coeficientes de variação, de modo geral, estão entre baixos e médios (PIMENTEL-GOMES, 2009). Houve efeito do regulador de crescimento sobre a altura de plantas, principal efeito desejado, em ambos os experimentos.

Para ambos os experimentos, os teores de proteína podem ser considerados baixos, de acordo com o valores médios encontrados nos grãos, que estão em torno de 400 g kg⁻¹. Com relação aos teores de óleo, pode-se dizer que são adequados, sendo em média encontrados teores de 200 g kg⁻¹ (LIU, 1999). A empresa detentora do registro do genótipo descreve-o como teores médios de proteína 387 g kg⁻¹ e de óleo 204 g kg⁻¹. No entanto, nos pouco mais de 16 mil acessos do Banco de Germoplasma da Embrapa Soja, os teores de proteína variam de 317 a 579 g kg⁻¹ e de óleo de 80 a 254 g kg⁻¹, o que representa grande variabilidade (PÍPOLO et al., 2015).

No que diz respeito à germinação das sementes, para ambos os experimentos os valores absolutos médios determinados estão dentro daqueles requeridos para a comercialização de sementes de soja (80%) (BRASIL, 2015).

Embora os dois experimentos não possam ser comparados estatisticamente pelas características de tratamentos distintos, em valor absoluto o rendimento de grãos foi maior no experimento 2, com mais vagens por planta, porém menos grãos por vagens e massa de mil sementes também menor.

Os efeitos da época de aplicação de regulador de crescimento sobre as variáveis dependentes estão especificadas na Tabela 4.5.2.

Tabela 4.5.2. Efeito da época de aplicação de regulador de crescimento sobre altura de plantas, componentes de rendimento e variáveis fisiológica e químicas de sementes de soja, no experimento 1

Época de aplicação	altura (cm)	vagens por planta	grãos por vagem	rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
Testemunha	76,0 b*	44,0 a	2,56 b	3903,4 a b
V2	75,5 b	38,7 b	2,64 a b	3916,5 a b
V5	80,6 a	43,4 a b	2,68 a b	3948,9 a
R1	72,6 c	39,3 a b	2,80 a	3747,4 b
Época de aplicação	germinação (%)	teor de proteína (g kg ⁻¹)	rendimento de proteína (kg ha ⁻¹)	
Testemunha	95,5 b	342,30 a	1335 a	
V2	95,7 b	336,44 a b	1318 a b	
V5	92,6 a	331,92 b	1310 a b	
R1	96,5 b	333,29 b	1248 b	

*médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao rendimento de grãos, uma das principais características a se considerar na tomada de decisão em relação ao manejo agrônômico de culturas, houve diferença entre aplicações no período vegetativo e reprodutivo apenas no experimento 1. Quanto ao rendimento de proteína, aplicações mais precoces seriam recomendadas. Sendo assim, a tomada de decisão do melhor estágio a se aplicar depende do objetivo comercial da lavoura (semente ou indústria).

Para o componente vagens por planta (Figura 4.5.2 a), o modelo ajustado para o efeito da população de plantas foi linear negativo ($p < 0,001$), enquanto que para rendimento ($p = 0,004$) (Figura 4.5.2 b) o efeito foi linear positivo.

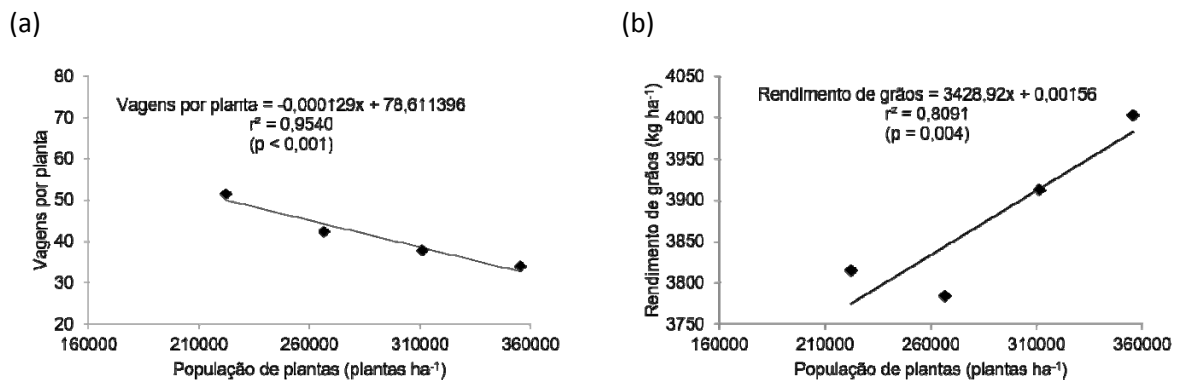


Figura 4.5.2 – Efeito das populações de plantas sobre o número de vagens por planta (a) e sobre o rendimento de grãos (kg ha^{-1}) (b), no experimento 1

Com o aumento da população de plantas, a competição na linha é maior e, naturalmente, leva a competição por nutrientes, água e insolação de maneira que se justifica a redução consequente do número de vagens por planta. No entanto, em sentido contrário o rendimento de grãos foi crescente, muito provavelmente pelo efeito na massa de mil sementes.

Quanto à variável germinação, o modelo linear negativo foi ajustado em função das populações de planta crescentes (Figura 4.5.3).

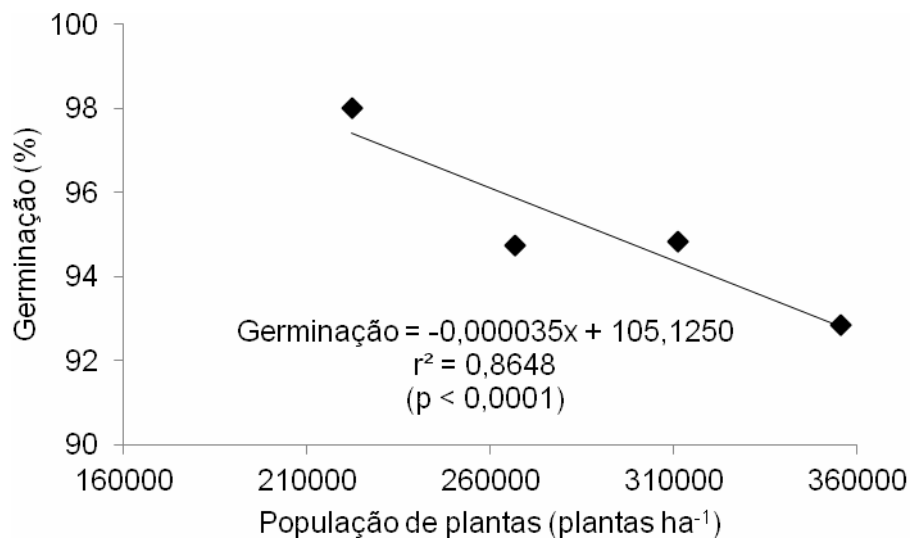


Figura 4.5.3. Efeito das populações de plantas sobre a germinação (%) das sementes, no experimento 1

No experimento 1, ao desdobrar o efeito da interação para a massa de mil sementes, teor de óleo e rendimento de óleo não foi possível ajustar modelos para as populações de plantas dentro de cada época de aplicação para estas variáveis. A tabela 4.5.3 apresenta os efeitos das épocas dentro de cada população de plantas para a variável massa de mil sementes.

Tabela 4.5.3 – Desdobramento dos efeitos da interação das épocas de aplicação dentro das populações de plantas sobre a variável massa de mil sementes (g), no experimento 1

Época de aplicação	311.111 plantas ha ⁻¹ (p = 0,0002)	355.556 plantas ha ⁻¹ (p = 0,0004)
Testemunha	145,95 a* b	137,04 b
V2	157,09 a	148,80 b
V5	128,92 c	165,70 a
R1	135,40 b c	146,83 b

*médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apenas para as populações 311.111 e 355.556 plantas ha⁻¹ os efeitos foram significativos. No entanto, o desdobramento não permite conclusão agrônômica de melhor momento de aplicação, uma vez que a testemunha não diferiu dos tratamentos com aplicação ou mesmo as aplicações na fase vegetativa não diferiram daquela na fase reprodutiva.

A tabela 4.5.4 apresenta os efeitos das épocas dentro da população de plantas para a variável proteína + óleo.

Tabela 4.5.4 – Desdobramento dos efeitos da interação das épocas de aplicação dentro das populações de plantas sobre a variável proteína + óleo (g kg^{-1}), no experimento 1

Época de aplicação	266.667 plantas ha^{-1} ($p = 0,0001$)	311.111 plantas ha^{-1} ($p = 0,0204$)
Testemunha	703,04 a*	543,67 a b
V2	542,81 b	526,10 a b
V5	523,57 b	522,43 b
R1	535,92 b	548,26 a

*médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A variável proteína + óleo tem grande importância pelo fato de que, em cultivos comerciais destinados à indústria, estas são as duas características qualitativas que majoritariamente remuneram todo o processo produtivo. Neste caso, para a segunda maior população (266.667 plantas ha^{-1}) a testemunha (ausência de aplicação) diferiu consistentemente dos demais níveis de tratamento, no entanto, aplicação nos estádios vegetativos não diferiu daquela no estágio reprodutivo, fato este também denotado na terceira maior população (311.111 plantas ha^{-1}).

A tabela 4.5.5 apresenta os efeitos das épocas dentro da população de plantas para a variável rendimento de óleo.

Tabela 4.5.5 – Desdobramento dos efeitos da interação das épocas de aplicação dentro das populações de plantas sobre a variável rendimento de óleo (kg ha^{-1}), no experimento 1

Época de aplicação	266.667 plantas ha^{-1} ($p < 0,0001$)
Testemunha	749,10 b*
V2	754,02 b
V5	785,28 b
R1	1290,53 a

*médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A variável rendimento de óleo traz uma importante informação dos pontos de vista qualitativo e quantitativo simultaneamente. Ela representa o efetivo real de óleo que poderá ser extraído pela indústria de processamento, seja ela de nutrição animal ou de produção de biocombustíveis. Apenas para a segunda maior população houve efeito significativo das épocas de aplicação, evidenciando que a aplicação na fase reprodutiva favoreceu a ampliação do rendimento de óleo. Ao relacionar o efeito da época de aplicação de redutor sobre a altura de plantas com o

rendimento de óleo, a aplicação no estágio R1 proporcionou plantas significativamente menores (Tabela 4.5.2).

A partir da Tabela 4.5.6, pode-se explorar os resultados denotados para as variáveis determinadas no experimento 2. Nessa tabela, estão os resultados onde a época de aplicação apresentou efeito significativo sobre as variáveis.

Tabela 4.5.6 – Efeito da época de aplicação de regulador de crescimento sobre altura de plantas (cm), grãos por vagem e germinação (%) de sementes de soja, no experimento 2

Época de aplicação	altura (cm)	grãos por vagem	germinação (%)
Testemunha	97,9 b*	2,36 a b	91,0 a
V2	98,4 a b	2,42 a	87,5 b
V5	100,5 a	2,34 a b	89,3 a b
R1	98,2 b	2,31 b	89,3 a b

*médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A altura de plantas sofreu efeito significativo das épocas de aplicação do redutor de crescimento. No entanto, do ponto de vista prático as diferenças não são robustamente distintas não permitem conclusão a respeito da melhor época para aplicação do redutor de crescimento. Adicionalmente, a média geral (98,7 cm; Tabela 1 – Experimento 2) apresenta-se muito próxima da altura máxima descrita pelo detentor do registro do genótipo (100 cm). Embora os experimentos não sejam comparáveis estatisticamente, em valores absolutos a altura de plantas neste experimento foi maior que no experimento 1 (76,2 cm).

A Figura 4.5.4 apresenta o efeito das populações de plantas sobre o a altura (a) e sobre o número de vagens (b) das mesmas.

Apesar de efeito significativo ($p < 0,0001$) sobre as duas variáveis, o coeficiente de determinação do modelo para altura de planta é relativamente baixo, demonstrando apenas tendência do comportamento da variável. Há uma tendência intrínseca de que as plantas cresçam mais em populações maiores devido a busca por luminosidade. Para o número de vagens por planta, o coeficiente de determinação do modelo foi alto (0,9696). Efeito semelhante foi observado no experimento 1, no entanto, em populações diferentes.

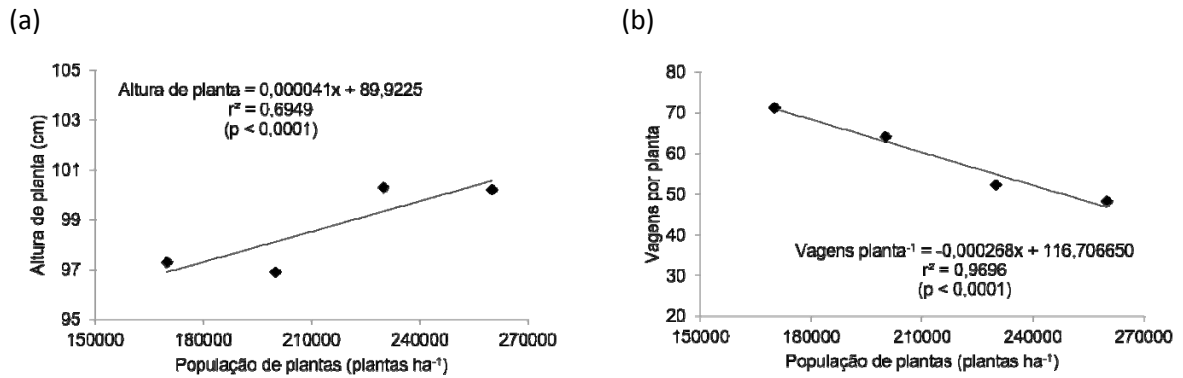


Figura 4.5.4 – Efeito das populações de plantas sobre a altura (cm) (a) e sobre o número de vagens por planta (b), no experimento 2

Para a variável germinação de sementes, não foi possível ajustar modelo de regressão que representasse o fenômeno, tendo em vista que a análise de variância para a regressão não foi significativa.

A Figura 4.5.5 apresenta o desdobramento dos efeitos da interação das populações de planta dentro das épocas de aplicação de redutor de crescimento sobre a variável massa de mil sementes.

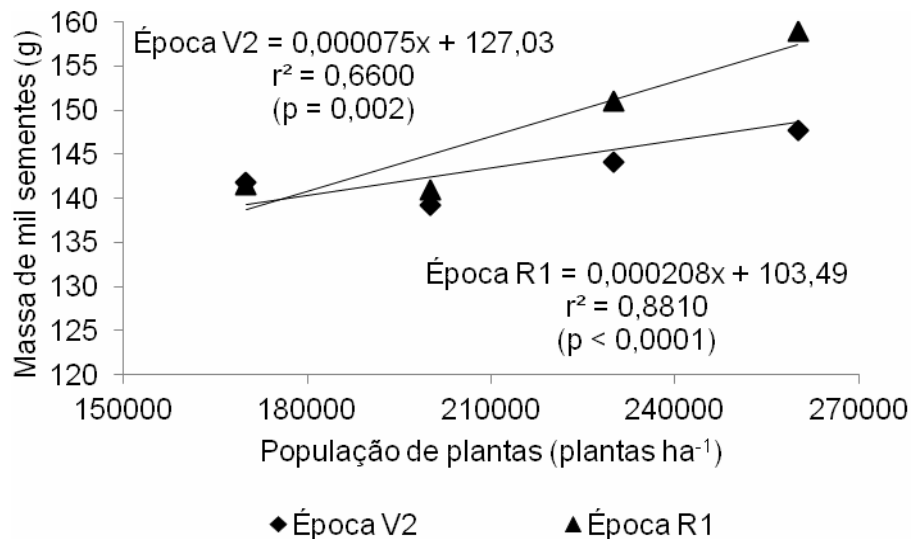


Figura 4.5.5 – Desdobramento dos efeitos da interação das populações de planta dentro das épocas de aplicação de redutor de crescimento sobre a variável massa de mil sementes (g), no experimento 2

Apesar de ter havido efeito dos tratamentos sobre a massa de mil sementes, não houve efeito cumulativo desta variável sobre o rendimento de grãos. Muito provavelmente houve efeitos de diluição entre os demais componentes de

rendimento (vagens por planta e grãos por vagem), o que não acarretou em efeito direto no rendimento de grãos.

Os efeitos sobre a altura de plantas determinadas nos experimentos são contrários aos reportados por Mangialardi et al. (2016), os quais concluíram que, em condições de lavoura irrigada, a aplicação de lactofen não foi capaz de alterar a estatura das plantas. O efeito por eles determinado na altura de plantas foi resposta direta da época de semeadura.

Quanto ao número de vagens por planta, o efeito da aplicação do redutor foi evidente apenas no experimento 1, não sendo possível diferenciar aplicações em estádios vegetativos iniciais e aquela no estágio reprodutivo. Orłowski, Gregg e Lee (2016) estudando épocas de aplicação de lactofen e efeitos nos componentes de rendimento, concluíram que houve aumento no número de nós, de vagens e de sementes na haste principal, no entanto, não houve alteração no rendimento.

Os trabalhos disponíveis na literatura relacionados à aplicação de redutores de crescimento na cultura da soja são escassos. Não há informações relacionadas às características qualitativas das sementes que possibilitem parametrização com as determinações realizadas neste trabalho.

Tendo em vista o modo de ação do redutor de crescimento utilizado, pode-se afirmar que as possíveis alterações nos componentes de rendimento e qualidade das sementes estão relacionadas de forma indireta à fixação de matéria seca e não aos efeitos diretos na rota metabólica de síntese de reservas. Como há relatos de que os difenil éteres são capazes de causar níveis variados de clorose e necrose nos tecidos das plantas (NELSON; RENNER; HAMMERSCHMIDT, 2002), a área foliar para interceptação de luminosidade e também a disponibilidade de clorofila podem ser responsáveis pela consequente redução da fotossíntese e, na sequência, do rendimento. Neste trabalho, o rendimento foi apenas afetado significativamente pelo redutor de crescimento no experimento 1, sendo que aplicações mais precoces foram melhores que aquela no estágio reprodutivo.

Importante ressaltar que a contenção do crescimento da haste principal na cultura da soja é prática rotineira na região onde os dois experimentos foram conduzidos, mesmo sem recomendações específicas e tecnicamente balizadas. Na safra de primavera/verão 2009/2010, por exemplo, em diversas regiões do estado do Paraná houve relatos de florescimento precoce de lavouras de

soja (25-30 dias após a emergência), causados por estresse térmico (altas temperaturas) nas fases iniciais de desenvolvimento (EMBRAPA, 2010). No entanto, prejuízos mais severos foram observados em lavouras que foram manejadas com herbicidas pós-emergentes para a contenção de crescimento. Neste sentido, a decisão pela utilização desta prática deve levar em conta, também, previsões meteorológicas de ocorrência de fenômenos climáticos capazes de afetar as temperaturas.

4.6 CONCLUSÕES

Quanto ao rendimento de grãos, as épocas de aplicação não proporcionaram efeitos suficientes para conclusão de melhor época de aplicação, sendo que ausência de aplicação não diferiu das aplicações. Para a qualidade fisiológica, não há diferença entre aplicar em V5 ou em R1. Para teor proteína, as aplicações mais precoces são melhores e para rendimento de óleo, aplicações mais tardias demonstraram melhores resultados.

4.7 AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de pós-graduação. Ao Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar) pelo fornecimento de dados meteorológicos.

4.8 REFERÊNCIAS

AGROFIT. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 01 nov. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA. **Padrões para produção e comercialização de semente de soja**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/padroes_soja.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CAVIGLIONE, J. H. et al. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo). **Cultivares de soja** – Macrorregiões 1, 2 e 3 (Centro-Sul do Brasil). Londrina: EMPRAPA-CNPSo. 2014a. 60p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. **Sistema alerta**: considerações sobre o florescimento precoce. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=214&cultura=>. Acesso em: 01 nov. 2015.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977, 11p. (Special Report, 80).

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology, and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1999. 532 p.

MANGIALARDI, J. P.; ORLOWSKI, J. M.; LAWRENCE, B. H.; BOND, J. A.; GOLDEN, B. R.; CATCHOT, A.; PEEPLES, J. D.; EUBANK, T. W. Growth regulation with lactofen does not affect seed yield of irrigated soybean. **Agronomy Journal**, no prelo, 2016.

NELSON, K. A.; RENNER, K. A.; HAMMERSHMITD, R. Effects of protoporphyrinogen oxidase inhibitors on soybean (*Glycine max* L.) response, Sclerotinia sclerotiorum disease development, and phytoalexin production by soybean. **Weed Technology**, v. 16, p. 353-359, 2002.

ORLOWSKI, J. M.; GREGG, G. L.; LEE, C. D. Early-season lactofen application has limited effect on soybean branch and mainstem yield components. **Crop Science**, v. 56, n. 1, p. 432-438, 2016.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina: Embrapa. Comunicado técnico 86. 15p.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, n.1, p. 501-531, 2000.

SOUZA, C.A.; FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M.; CASA, R.T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Tanto o manejo agronômico, baseado na utilização de regulador de crescimento e alterações na população de plantas quanto às condições edafoclimáticas de cultivo apresentam fortes influências sobre a variabilidade qualitativa de grãos em soja.

A maior influência sobre a variabilidade do teor de proteína e ácido oleico (C 18:1) foi o grupo de maturidade, onde ambos foram aumentando em grupos mais tardios; do teor de óleo, ácido palmítico (C 16:0) e esteárico (C 18:0) foi o ano de cultivo, onde os teores foram aumentando com o passar dos anos; do ácido linoleico (C 18:2) foi a soma térmica janeiro/fevereiro, com tendência de redução do teor com aumento da soma térmica; e do ácido linolênico (C 18:3) foi a altitude, com aumento do teor concomitante ao aumento da altitude.

Quanto ao manejo agronômico baseado na utilização de redutor de crescimento e populações de plantas, para o rendimento de grãos as épocas de aplicação não proporcionaram efeitos suficientes para conclusão de melhor época de aplicação, sendo que ausência de aplicação não diferiu das aplicações. Para a qualidade fisiológica, não há diferença entre aplicar em V5 ou em R1. Para teor proteína, as aplicações mais precoces foram melhores e para rendimento de óleo, aplicações mais tardias demonstraram melhores resultados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS/AN P. **Biocombustíveis**. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Acesso em: 20 jul. 2015.

AGROFIT. Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 01 nov. 2015.

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 865-873, 2008.

AMABILE, R. F.; MINELLA, E.; VALENTE, C. M. W.; DA SERRA, D. D. **Efeito do regulador de crescimento trinexapac-etil em cevada cervejeira irrigada em áreas de cerrado do Distrito Federal**. 1ª ed. Planaltina DF: Embrapa Cerrado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 120. 2004. 14 p.

AYRES, M.; AYRES JR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. S. **BioEstat: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas**. Belém: Instituto Mamirauá, 380p.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3rd ed. New York: Springer, 2013. 392p .

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos situação atual e perspectivas. In: CÂMARA, G. M. **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. cap. 1. p.1-17.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

CARLSON, J. B.; LERSTEN, N. R. Reproductive morphology. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Eds). **Soybeans: improvement, production, and uses**. 3rd. Madison (WI): American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), 2004, cap. 3. p. 59 – 95.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. 650 p.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CHENG, J.; YUAN, C.; GRAHAM, T. L. Potential defense-related prenylated isoflavones in lactofen- induced soybean. **Phytochemistry**, v. 72, p. 875-881, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB. **Séries históricas**. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 10 jan. 2016.

CROSS, C.; WRATHER, A.; FOTHERGILL, K.; SHANNON, G. Effect of lactofen, azoxystrobin, and genotypes on charcoal rot, Phomopsis seed decay and pod and stem blight in soybean. **Plant Disease**, v. 16, n. 8, p. 1154-1158, 2012

DALL'AGNOL, A. **Por que fazemos biodiesel de soja?** Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

DURRETT, T. P.; BENNING, C.; OHLROGGE, J. Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels. **The Plant Journal**, v. 54, p. 593-607, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo). **Cultivares de soja – Macrorregiões 1, 2 e 3 (Centro-Sul do Brasil)**. Londrina: EMPRAPA-CNPSo. 2014a. 60p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo). **Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil 2004**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2014b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo). **Usos**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=25&cod_pai=29>. Acesso em: 30 abr. 2012.

ESRI. **ARCGIS 10, Environmental Systems Research Institute**. ESRI, 2010.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977, 11p. (Special Report, 80).

FARIA, A. T.; SILVA, A. F.; FERREIRA, E. A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, D. V.; SILVA, A. A.; TIRONI, S. P. Alterações nas características fisiológicas da cana-de-açúcar causadas por trinexapac-ethyl. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 200-204, 2014

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFPA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C.; REMAHE, L. M. R.; CORNIANI, N.; FUMIS, T. F.; SOUZA, Y. A.; SCAVRONI, J.; SOARES, B. J. A. Nitric oxide reduces oxidative stress generated by lactofen in soybean plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 97, p. 47-54, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/FAO. **ProdStat: Crops**. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 20 jun. 2010.

- GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 9 p. (Circular Técnica 63)
- GAO, J.; HAO, X.; THELEN, K. D.; ROBERTSON, G. P. Agronomic management system and precipitation effects on soybean oil and fatty acid profiles. **Crop Science**, v. 49, p. 1049-1057, 2009.
- GIBSON, L. R.; MULLEN, R. E. Soybean seed composition under high day and night growth temperatures. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 73, n. 6, p. 733-737, 1996.
- GRAHAM, M. Y. The diphenylether herbicide lactofen induces cell death and expression of defense-related genes in soybean. **Plant Physiology**, v. 139, p. 1784-1794, 2005.
- HAQ, M. U.; MALLARINO, A. P. Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 910-918, 2005.
- HILL, J. E.; BREIDENBACH, R. W. Proteins of soybeans seeds: II. Accumulation of the major protein components during seed development and maturation. **Plant Physiology**, v. 53, p. 747-751, 1974.
- HILLS, M. J. Control of storage-product synthesis in seeds. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 3, p. 302-308, 2004.
- HURBURGH, JR., C. R.; BRUMM, T. J.; GUINN, J. M.; HARTWIG, R. A. Protein and oil patterns in U.S. and world soybean market. **Journal of the American Oil and Chemists' Society**, v. 67, p. 966-973, 1990.
- INFOMETRIX. **Pirouette Multivariate Data Analysis Software**. Versão 4.5. Seattle: Infometrix, 2011.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ISO. **Animal and vegetable fats and oils – Preparation of methyl esters of fatty acids**. ISO. Method ISO 5509. p. 1-6, 1978.
- INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE/IPNI. **Como a planta de soja se desenvolve**. Disponível em: <<http://www.potafos.org/>>. Acesso em: 07 set. 2010.
- KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 340 p.
- LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B. **Reguladores de crescimento na cultura do algodoeiro**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Comunicado Técnico 121, 2006. 4 p.

LANDINI, S.; GRAHAM, M. Y.; GRAHAM, T. L. Lactofen induces isoflavone accumulation and glyceollin elicitation competency in soybean. **Phytochemistry**, v. 62, p. 865-874, 2003.

LEHNINGER, A. L.; NIELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 2. ed. São Paulo: SARVIER, 1995. 839 p.

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology, and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1999. 532 p.

LUSAS, E. W. Soybean processing and utilization. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Eds). **Soybeans: Improvement, Production, and Uses**. 3rd ed. Madison (WI): American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), 2004, cap 20. p. 949-1036.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MANGIALARDI, J. P.; ORLOWSKI, J. M.; LAWRENCE, B. H.; BOND, J. A.; GOLDEN, B. R.; CATCHOT, A.; PEEPLES, J. D.; EUBANK, T. W. Growth regulation with lactofen does not affect seed yield of irrigated soybean. **Agronomy Journal**, no prelo, 2016.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; AMBROSANO, G. M. B.; CARMELLO, Q. A. C. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 1, 1996.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR/MDIC. **Exportação brasileira: grupo de produtos**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=1161&refr=3355>>. Acesso em: 06 fev. 2016.

MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, v.65, p.567- 573, 2008.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; MARQUES DA SILVA, J. R. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

NAEVE, S. L.; HUERD, S. C. Year, Region, and Temperature Effects on the Quality of Minnesota's Soybean Crop. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 690-695, 2008.

NELSON, K. A.; RENNER, K. A.; HAMMERSHMIDT, R. Effects of protoporphyrinogen oxidase inhibitors on soybean (*Glycine max* L.) response, *Sclerotinia sclerotiorum* disease development, and phytoalexin production by soybean. **Weed Technology**, v. 16, p. 353-359, 2002.

- ORLOWSKI, J. M.; GREGG, G. L.; LEE, C. D. Early-season lactofen application has limited effect on soybean branch and mainstem yield components. **Crop Science**, v. 56, n. 1, p. 432-438, 2016.
- PLAXTON, W. C.; PODESTÁ, F. E. The functional organization and control of plant respiration. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, n. 2, p. 159-198, 2006.
- PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. B.; OLIVEIRA, M. A.; FERREIRA, A. S.; SPOLADOR, L. T. Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 1735-1742, 2015.
- RADEMACHER, W. Growth Retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 51, n. 1, p. 501-531, 2000.
- RUUSKA, S. A.; GIRKE, T.; BENNING, C.; OHLROGGE, J. B. Contrapuntal networks of gene expression during Arabidopsis seed filling. **The Plant Cell**, v. 14, n. 6, p. 1191-1206, 2002.
- SALAS, J. J.; OHLROGGE, J. B. Characterization of substrate specificity of plant FatA and FatB acyl-ACP thioesterases. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 403, n. 1, p. 25-34, 2002.
- SECRETARIA DO ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO/SEAB. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL/DERAL. **Previsão e estimativa de safras**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=75>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- SHAHANDEH, H.; WRIGHT, A. L.; HONS, F. M. Use of soil nitrogen parameters and texture for spatially-variable nitrogen fertilization. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 146-163, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/USDA. Foreign Agricultural Service. **Table 11: Soybean area, yield, and production**. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2016.
- VAZ, A. P. A.; SANTOS, H. P.; Z Aidan, L. B. P. Floração. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008, cap 18. p. 340-357.
- WIERSMA, J. J.; DAI, J.; DURGAN, B. R. Optimum timing and rate of trinexpac-ethyl to reduce lodging in spring wheat. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 3, p. 864-870, 2011.
- WILCOX, J. R.; GUODONG, Z. Relationships between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, v. 37, n.2, p. 361-364, 1997.

WILSON, R. F. Seed Composition. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Eds). **Soybeans: Improvement, Production, and Uses**. 3rd ed. Madison (WI): American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), 2004, cap. 13. p. 621-677.