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

**Influência do tratamento de sementes e da disponibilidade de água
na arquitetura e no crescimento de plântulas de soja**

Clayton Aparecido Gadotti

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

**Piracicaba
2018**

Clayton Aparecido Gadotti
Biólogo

**Influência do tratamento de sementes e da disponibilidade de água na
arquitetura e no crescimento de plântulas de soja**

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

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

Piracicaba
2018

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

Gadotti, Clayton Aparecido.

Influência do tratamento de sementes e da disponibilidade de água na arquitetura e no crescimento de plântulas de soja / Clayton Aparecido Gadotti. - Piracicaba, 2018.

92 p.

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

1. *Glycine max* 2. Raiz 3. Topologia 4. Deficiência hídrica I. Título

DEDICATÓRIA

DEDICO

À minha esposa Verônica Joana van den Broek Gadotti e à minha filha Melissa van den Broek Gadotti, pelo amor incondicional e pela compreensão e carinho, e aos meus pais Esmael Gadotti e Neide Schiavinatto Gadotti pela educação e ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo e à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela oportunidade e pelo apoio concedido que foi de fundamental importância para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pelo suporte e por acreditar no potencial deste estudo.

Ao meu orientador Dr. Durval Dourado Neto por todo ensinamento, compreensão, apoio e, principalmente, por acreditar em meu potencial e dar a oportunidade de realizar meu sonho de me tornar mestre pela Esalq/USP.

À minha esposa Verônica van den Broek Gadotti e à minha filha Melissa van den Broek Gadotti pelo carinho, companheirismo, paciência e compreensão quando tive que sacrificar finais de semana e feriados para a execução deste trabalho.

À minha amiga e mestranda Mariana Neves da Silva por me incentivar a ingressar no mestrado, por todo o apoio durante a pós-graduação e pelas correções neste trabalho.

Ao Dr. Reinaldo Antônio Garcia Bonnacarrère e à Basf pelo incentivo aos estudos, por acreditar em meu potencial e por investir no desenvolvimento de seus profissionais.

À Dra. Marcela dos Santos Müller por todo o apoio, pelas análises em conjunto e pela enorme paciência e compreensão com os prazos de entrega dos resultados.

Aos meus pais, Esmael Gadotti e Neide Schiavinatto Gadotti, por sempre me indicarem o caminho correto a seguir e pelo incentivo à educação.

Aos meus colegas de trabalho Pâmella Soldateli, Juscélio Donizete Cardoso, Marina Reggio Machado, Renato Luiz Contessoto e Gabriel Dutra Vaz pelo suporte no tratamento de sementes e na condução do experimento em casa de vegetação.

Ao doutorando Renan Caldas Umburanas por todos o conhecimento, paciência e suporte nas análises intermináveis do WinRHIZO.

Ao Departamento de Ciência do Solo pelas análises realizadas na areia utilizada neste trabalho.

Aos alunos de graduação Leticia Pacheco Inoue e Vanessa Mendes de Queiroz e ao doutorando Felipe Fadel Sartori pelo recebimento de amostras e análises das plântulas durante as férias, feriados e finais de semana.

E a Deus por me dar sabedoria, força e saúde nos momentos difíceis.

EPÍGRAFE

"Seja resiliente, acredite na sua força, no seu potencial, creia que é capaz e você será!".

(Roger Stankewski)

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE ABREVIATURAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1. A SOJA NO CONTEXTO BRASILEIRO.....	19
2.2. TRATAMENTO DE SEMENTES	19
2.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DEFICIÊNCIA HÍDRICA	22
2.4. ARQUITETURA E TOPOLOGIA DAS PLANTAS	24
2.5. ANÁLISE POR IMAGEM.....	25
2.6 CARACTERÍSTICAS DO FUNGICIDA PIRACLOSTROBINA.....	26
2.7 CARACTERÍSTICAS DO FUNGICIDA FLUXAPIROXADE	28
2.8 CARACTERÍSTICAS DO FUNGICIDA MEFENTRIFLUCONAZOLE	29
2.9 CARACTERÍSTICAS DO PROMOTOR DE CRESCIMENTO E BIOFUNGICIDA <i>BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS</i> CEPA MBI 600	30
2.10 CARACTERÍSTICAS DO INSETICIDA BROFLANILIDE	33
2.11 CARACTERÍSTICAS DO POLÍMERO FUNCIONAL - BAS 364 27 S.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 LOCALIZAÇÃO	35
3.2 INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	35
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA VARIEDADE UTILIZADA.....	35
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	35
3.5 TRATAMENTO DE SEMENTES	36
3.6 ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO SUBSTRATO AREIA	37
3.7 PREPARO DAS BANDEJAS E SEMEADURA	37
3.8 IRRIGAÇÃO	37
3.9 CÁLCULOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA (DH), PERDA RELATIVA (Θ , 100%), PERDA RELATIVA ACUMULADA (μ , 100%) E DEFICIÊNCIA HÍDRICA ACUMULADA (Δ , 100%) PELA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	38
3.10 EMERGÊNCIA EM AREIA E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE)	39

3.11 COLETA DE PLANTAS E ANÁLISE DE IMAGENS NO WINRHIZO.....	39
3.12 MASSA DE MATÉRIA SECA.....	40
3.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
3.14 ÍNDICE DE PERFORMANCE MÉDIA (IPM)	41
3.15 ÍNDICE DE PERFORMANCE AGRONÔMICA (IPA)	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 SUBSTRATO, TEMPERATURA E UMIDADE NA CASA DE VEGETAÇÃO, DEFICIÊNCIA HÍDRICA E DESENVOLVIMENTO DAS PLÂNTULAS	45
4.2 EMERGÊNCIA E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE)	57
4.3 ARQUITETURA E CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS.....	60
4.3.1 Experimento aos 7 DAS em condição sem estresse hídrico.....	60
4.3.2 Experimento aos 7 DAS em condição com estresse hídrico.....	61
4.3.3 Experimento aos 12 DAS em condição sem estresse hídrico.....	63
4.3.4 Experimento aos 12 DAS em condição com estresse hídrico.....	64
4.4 ÍNDICE DE PERFORMANCE MÉDIA (IPM) E ÍNDICE DE PERFORMANCE AGRONÔMICA (IPA)	71
5 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS.....	79
ANEXOS	91

RESUMO

Influência do tratamento de sementes e da disponibilidade de água na arquitetura e no crescimento de plântulas de soja

O tratamento de sementes pode promover alterações fisiológicas como maior tolerância à deficiência hídrica de plântulas de soja durante o estabelecimento no campo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tratamento de sementes na arquitetura e no crescimento de plântulas de soja em função da disponibilidade de água em dois momentos distintos, aos 7 e 12 dias após a semeadura (DAS). Foram realizados dois experimentos no setor de tecnologia de sementes da empresa BASF utilizando a variedade NA 5909 RG e os produtos Piraclostrobina, Fluxapiraxade, Mefentrifluconazole, Broflanilide, *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600 e um polímero funcional. Os tratamentos foram semeados em bandejas com areia irrigada até 80% da capacidade de campo, sendo dispostas no interior de uma casa de vegetação inteiramente ao acaso. As bandejas foram pesadas diariamente para se medir a evapotranspiração, sendo irrigadas sempre que a evapotranspiração real (ET_r) atingia 50% da evapotranspiração potencial da cultura (ET_c) nas bandejas com deficiência hídrica e diariamente nas bandejas com manejo hídrico adequado. Foram determinadas as características morfológicas da parte aérea e das raízes das plântulas através do *software* WinRHIZO e posteriormente a massa de matéria seca. Os tratamentos influenciaram em características da arquitetura e crescimento das plântulas de soja, com respostas distintas com relação ao período avaliado em cada experimento. No experimento aos 7 DAS, o Broflanilide apresentou os maiores incrementos nas raízes e parte aérea nas condições sem e com deficiência hídrica. Por outro lado, no experimento aos 12 DAS, o Fluxapiraxade na condição sem deficiência hídrica e o *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600 na condição com deficiência hídrica apresentaram as maiores respostas. A formulação de Mefentrifluconazole utilizada neste estudo no experimento aos 7 DAS em ambas condições hídricas e o *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600 no experimento aos 12 DAS na condição sem deficiência hídrica apresentaram os menores valores. Os índices propostos para avaliar a performance média e agrônômica das variáveis analisadas foram adequados para facilitar a interpretação dos resultados.

Palavras-chave: *Glycine max*; Raiz; Topologia; Deficiência hídrica

ABSTRACT

Influence of seed treatment and water availability in the architecture and growth of soybean seedlings

Seed treatment may promote physiological changes such as higher tolerance to water deficiency of soybean seedlings during field establishment. The objective of this study was to evaluate the influence of seed treatment on the architecture and growth of soybean seedlings as a function of the water availability in two different moments, at 7 and 12 days after sowing (DAS). Two experiments were carried out in the seed solutions technology center of BASF using the variety NA 5909 RG and the products pyraclostrobin, fluxapyroxad, Mefentrifluconazole, Broflanilide, *Bacillus amyloliquefaciens* strain MBI 600 and a functional polymer. The treatments were seeded in trays with irrigated sand up to 80% of soil water content, being arranged inside a greenhouse in a complete randomized design. The trays were weighed daily to measure the evapotranspiration, being irrigated whenever ETr reached 50% of ETc in trays with water deficiency and daily in the well irrigated trays. The morphological characteristics of the aerial part and the roots of the seedlings were determined through the software WinRHIZO and later the dry matter mass. The treatments influenced the architecture and growth characteristics of soybean seedlings, with different responses regarding the period of evaluation in each experiment. In the experiment at 7 DAS, Broflanilide presented the largest increases in roots and aerial part in conditions without and with water deficiency. On the other hand, in the experiment at 12 DAS, the Fluxapiroxade in the condition without water deficiency and the *Bacillus amyloliquefaciens* MBI 600 in the condition with water deficiency presented the highest responses. The formulation of Mefentrifluconazole used in this study in the experiment at 7 DAS in both water conditions and *Bacillus amyloliquefaciens* strain MBI 600 in the experiment at 12 DAS in the condition without water deficiency showed the lowest values. The proposed indexes to evaluate the average and agronomic performance of the analyzed variables were adequate to facilitate the interpretation of the results.

Keywords: *Glycine max*; Root; Topology; Water deficit

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUTURA MOLECULAR DE PIRACLOSTROBINA (NCBI, 2017).....	27
FIGURA 2. ESTRUTURA MOLECULAR TRIDIMENSIONAL DO FLUXAPIROXADE (BASF, 2018A).	28
FIGURA 3. ESTRUTURA MOLECULAR DO FLUXAPIROXADE (NCBI, 2017).	29
FIGURA 4. ESTRUTURA MOLECULAR TRIDIMENSIONAL DO MEFENTRIFLUCONAZOLE SE DOBRANDO NA CONFORMAÇÃO DE “GANCHO” AO LIGAR-SE AO SÍTIO ALVO (BASF, 2017).	30
FIGURA 5. ESTRUTURA MOLECULAR DO MEFENTRIFLUCONAZOLE (NCBI, 2017).....	30
FIGURA 6. INTERAÇÕES DAS RIZOBACTÉRIAS NA PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS E DA SANIDADE VEGETAL (GARCIA; KNAAK; FIUZA, 2015).	32
FIGURA 7. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO <i>BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS</i> MBI 600 NA FORMULAÇÃO COMERCIAL DO INTEGRAL® (KUMAR ET AL., 2013).	32
FIGURA 8. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA COLONIZAÇÃO DOS ENDÓSPOROS DE <i>BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS</i> MBI 600 NA VIABILIDADE DOS ESCLERÓDIOS DE <i>RHIZOCTONIA SOLANI</i> (A E B) (KUMAR ET AL., 2013).....	33
FIGURA 9. ESTRUTURA MOLECULAR DO BROFLANILIDE (NCBI, 2017).....	34
FIGURA 10. CAIXAS PLÁSTICAS COM SUBSTRATO AREIA E OS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SENDO IRRIGADAS APÓS A PESAGEM. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	42
FIGURA 11. PLÂNTULAS DE SOJA DE DISTINTOS TRATAMENTOS DE SEMENTES DO CULTIVAR NA 5909 RG SENDO COLETADAS AOS 7 DAS. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.....	43
FIGURA 12. TEMPERATURAS (°C) MÍNIMA E MÁXIMA DIÁRIAS DO NO INTERIOR DA CASA DE VEGETAÇÃO DURANTE OS DIAS DE CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS COM O CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	49
FIGURA 13. UMIDADE RELATIVA (%) MÉDIA DIÁRIA DO NO INTERIOR DA CASA DE VEGETAÇÃO DURANTE OS DIAS DE CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS COM O CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.....	49

FIGURA 14. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA PERDA RELATIVA (Θ , %) NO CONTROLE E NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTE DE SOJA (CV. NA 5909 RG) AOS 7 DIAS APÓS A SEMEADURA EM CASA-DE-VEGETAÇÃO. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	50
FIGURA 15. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA PERDA RELATIVA (Θ , %) NO CONTROLE E NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTE DE SOJA (CULTIVAR NA 5909 RG) AOS 12 DIAS APÓS A SEMEADURA EM CASA-DE-VEGETAÇÃO. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	51
FIGURA 16. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA PERDA ACUMULADA RELATIVA (μ , %) NO CONTROLE E NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTE DE SOJA (CULTIVAR NA 5909 RG) AOS 7 DIAS APÓS A SEMEADURA EM CASA-DE-VEGETAÇÃO. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	52
FIGURA 17. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA PERDA ACUMULADA RELATIVA (μ , %) NO CONTROLE E NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTE DE SOJA (CULTIVAR NA 5909 RG) AOS 12 DIAS APÓS A SEMEADURA EM CASA-DE-VEGETAÇÃO. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	53
FIGURA 18. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA RELATIVA (Δ , %) NO CONTROLE E NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTE DE SOJA (CULTIVAR NA 5909 RG) AOS 7 DIAS APÓS A SEMEADURA EM CASA-DE-VEGETAÇÃO. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	54
FIGURA 19. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA RELATIVA (Δ , %) NO CONTROLE E NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTE DE SOJA (CULTIVAR NA 5909 RG) AOS 12 DIAS APÓS A SEMEADURA EM CASA-DE-VEGETAÇÃO. BASF. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	55
FIGURA 20. PLÂNTULAS DE SOJA COLETADAS NO EXPERIMENTO AOS 12 DAS. AS PLÂNTULAS DA LINHA SUPERIOR SE REFEREM ÀS BANDEJAS SEM ESTRESSE HÍDRICO (SE), ENQUANTO ÀS DA LINHA INFERIOR ÀS BANDEJAS COM ESTRESSE HÍDRICO (CE). A) T ₁ (TESTEMUNHA); B) T ₂ (PIRACLOSTROBINA); C) T ₃ (FLUXAPIROXADE); T ₄ (MEFENTRIFLUCONAZOLE); T ₅ (BROFLANILIDE); T ₆ (<i>BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS</i> CEPA MBI 600) E T ₇ (POLÍMERO FUNCIONAL BAS 364 27 S).....	56

FIGURA 21. ÍNDICE DE PERFORMANCE MÉDIA (IPM, %) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES NOS EXPERIMENTOS AOS 7 DAS E 12 DAS SOB CONDIÇÃO SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. A DIFERENÇA ENTRE OS TRATAMENTOS FOI DETERMINADA USANDO O TESTE DE TUKEY COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 10%. MÉDIAS SEGUIDA DA MESMA LETRA NÃO SÃO DIFERENTES SIGNIFICATIVAMENTE. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV, %): A) 23,3; B) 23,0; C) 16,4; D) 18,5..... 75

FIGURA 22. ÍNDICE DE PERFORMANCE AGRONÔMICA (IPA, %) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES NOS EXPERIMENTOS AOS 7 DAS E 12 DAS SOB CONDIÇÃO SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. A DIFERENÇA ENTRE OS TRATAMENTOS FOI DETERMINADA USANDO O TESTE DE TUKEY COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 10%. MÉDIAS SEGUIDA DA MESMA LETRA NÃO SÃO DIFERENTES SIGNIFICATIVAMENTE. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV, %): A) 21,0; B) 24,5; C) 18,8; D) 18,8. 76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DESCRIÇÃO, DOSE, CONDIÇÃO HÍDRICA E ÉPOCA DE AVALIAÇÃO PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES (TS) NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. SANTO ANTÔNIO DE POSSE, SÃO PAULO. 2017.	36
TABELA 2. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO DO CRESCIMENTO E DA ARQUITETURA DE PLÂNTULAS DE SOJA. DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO VEGETAL, ESALQ, USP, PIRACICABA, SÃO PAULO. 2017.	44
TABELA 3. ANÁLISES FÍSICAS DO SUBSTRATO AREIA UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS COM O CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. PIRACICABA, SÃO PAULO. 2017.	48
TABELA 4. ANÁLISES QUÍMICAS DO SUBSTRATO AREIA UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS COM O CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. PIRACICABA, SÃO PAULO. 2017.	48
TABELA 5. PORCENTAGEM DE PLÂNTULAS EMERGIDAS (NORMAIS E ANORMAIS) NO TESTE DE EMERGÊNCIA EM AREIA E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM (PE_{SE} , %) E COM ESTRESSE HÍDRICO (PE_{CE} , %) AOS 6 (8 DE JUNHO DE 2017) E 7 (9 DE JUNHO DE 2017) DAS. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO (TS). A PORCENTAGEM INDICA A DIFERENÇA ENTRE AS CONDIÇÕES SE E CE (D, %).	58
TABELA 6. PORCENTAGEM DE PLÂNTULAS EMERGIDAS (NORMAIS E ANORMAIS) NO TESTE DE EMERGÊNCIA EM AREIA E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM (PE_{SE} , %) E COM ESTRESSE HÍDRICO (PE_{CE} , %) DOS 6 (8 DE JUNHO DE 2017) E 12 (14 DE JUNHO DE 2017) DAS. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO (TS). A PORCENTAGEM INDICA A DIFERENÇA ENTRE AS CONDIÇÕES SE E CE (D, %).	59
TABELA 7. COMPARAÇÃO DO CRESCIMENTO E ARQUITETURA NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) AOS 7 E 12 DAS. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO DE SEMENTES (TS). A PORCENTAGEM INDICA A DIFERENÇA ENTRE AS CONDIÇÕES SE E CE (D, %).	66

TABELA 8. COMPARAÇÃO DA ARQUITETURA NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) AOS 7 E 12 DAS. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO DE SEMENTES (TS). A PERCENTAGEM INDICA A DIFERENÇA ENTRE AS CONDIÇÕES SE E CE (D, %)	67
TABELA 9. COMPARAÇÃO DA ARQUITETURA NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) AOS 7 E 12 DAS. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO DE SEMENTES (TS). A PERCENTAGEM INDICA A DIFERENÇA ENTRE AS CONDIÇÕES SE E CE (D, %)	68
TABELA 10. COMPARAÇÃO DA ARQUITETURA NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) AOS 7 E 12 DAS. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO DE SEMENTES (TS). A PERCENTAGEM INDICA A DIFERENÇA ENTRE AS CONDIÇÕES SE E CE (D, %)	69
TABELA 11. COMPARAÇÃO DA ARQUITETURA NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) AOS 7 E 12 DAS. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO DE SEMENTES (TS). A PERCENTAGEM INDICA A DIFERENÇA ENTRE AS CONDIÇÕES SE E CE (%)	70
TABELA 12. ÍNDICE DE PERFORMANCE MÉDIA (IPA, %) E ÍNDICE DE PERFORMANCE AGRONÔMICA (IPM, %) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES NO EXPERIMENTO AOS 7 DAS E 12 DAS SOB CONDIÇÃO SEM (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) NO CULTIVAR DE SOJA NA 5909 RG. OS RESULTADOS SÃO AS MÉDIAS DE CADA TRATAMENTO DE SEMENTES (TS)	74
TABELA 13. SUMÁRIO ESTATÍSTICO DOS MELHORES RESULTADOS NA ARQUITETURA DE PLÂNTULAS DE SOJA REFERENTES AOS SETE TRATAMENTOS ESTUDADOS NO CULTIVAR NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM ESTRESSE HÍDRICO (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) AOS 7 E 12 DAS	91
TABELA 14. SUMÁRIO ESTATÍSTICO DOS PIORES RESULTADOS NA ARQUITETURA DE PLÂNTULAS DE SOJA REFERENTES AOS SETE TRATAMENTOS ESTUDADOS NO CULTIVAR NA 5909 RG SOB CONDIÇÕES SEM ESTRESSE HÍDRICO (SE) E COM ESTRESSE HÍDRICO (CE) AOS 7 E 12 DAS	92

LISTA DE ABREVIATURAS

ATP	Trifosfato de Adenosina
BASF	Badische Anilin und Soda Fabrik
DAS	Dias após a semeadura
DMI	Inibidores de dimetilação
ET _c	Evapotranspiração máxima ou potencial da cultura
ET _r	Evapotranspiração real da cultura
FAD	Dinucleótido de Flavina e Adenina
FADH ₂	Estado reduzido do Dinucleótido de Flavina e Adenina
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FATS	Fração de água transpirável no solo
GABA	Ácido Gama-Aminobutírico
IRAC	<i>Insecticide Resistance Action Committee</i>
IVE	Índice de Velocidade de Emergência
MCAG	Mitsui Agrochemicals Agro
PGPR	<i>Plant Growth-Promoting Rhizobacteria</i>
PIB	Produto Interno Bruto
SBI	Inibidor da Biossíntese do Esterol
SNC	Sistema Nervoso Central
TIS	Tratamento Industrial de Sementes
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é a espécie oleaginosa mais cultivada em todo o mundo, com aproximadamente 83% da produção concentrados em três países: Estados Unidos, Brasil e Argentina. O Brasil é o segundo maior produtor com 95.070 milhões de toneladas por ano (USDA, 2016) e uma produtividade média em torno de 3185 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018). Contudo, sua produtividade se encontra muito aquém do seu potencial genético, que pode ser melhor expressado quando se realiza um bom manejo na adubação, plantio, população, nutrição e aplicação de defensivos agrícolas, como demonstrado no Desafio Nacional de Máxima Produtividade de Soja de 2016, no qual chegou-se a produtividade de 7204,2 kg ha⁻¹ ou 120,07 sacas ha⁻¹ (CESB, 2016).

Os defensivos agrícolas desempenham importante papel na agricultura, visto que previnem perdas de produtividade causadas por plantas daninhas, pragas e doenças (FERMAM; SOUZA ANTUNES, 2015). Alguns desses produtos podem provocar efeitos fisiológicos nas plantas agindo como ativadores biológicos, modificando o desenvolvimento vegetal e atuando na síntese e ação de fitormônios. Por isso, sua aplicação nas sementes pode levar a aumentos significantes na produtividade, pois influenciam diretamente o estabelecimento no campo, modificando componentes como comprimento e ramificação das raízes e desenvolvimento da parte aérea (CAMARGO et al., 2007).

Neste contexto, o tratamento de sementes se torna um pilar fundamental no manejo da cultura da soja, pois os produtos desenvolvidos para esta finalidade como fungicidas, inseticidas, polímeros funcionais e produtos biológicos, além de proteger contra pragas e doenças, podem promover alterações fisiológicas positivas na ativação da defesa das plantas e no comprimento e ramificações das raízes e na parte aérea, melhorando o estabelecimento da planta no campo através de uma maior tolerância aos estresses bióticos e abióticos e prevenindo a perda de produtividade.

Os trabalhos disponíveis na literatura que estudam as alterações iniciais no estabelecimento das diferentes espécies cultivadas pelo tratamento de sementes são poucos em relação as moléculas e produtos biológicos em desenvolvimento ou disponíveis no mercado. Balardin et al. (2011), estudando a aplicação de fungicidas como a Piraclostrobina e inseticidas como o tiametoxam verificaram que estes

melhoram alguns aspectos fisiológicos das plantas de soja através do aumento da tolerância ao estresse hídrico e do efeito positivo sobre o rendimento de grãos da cultura. Binsfeld et al. (2014) verificaram que, em lotes de soja com alto vigor tratados com produtos biológicos e nutrientes, houve melhora na germinação e desenvolvimento de plântulas, assim como Moterle et al. (2015), que observaram a ação de biorreguladores vegetais na expressão de maior vigor das plantas em certos cultivares de soja. Esses resultados podem ser atribuídos a modificações na arquitetura e crescimento destas plantas em seu estabelecimento inicial, refletindo em efeitos positivos nas características agrônômicas do cultivo ao longo do seu ciclo.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência de diferentes produtos para o tratamento de sementes na arquitetura e no crescimento de plântulas de soja de acordo com a disponibilidade de água. Como objetivos específicos, pretende-se: (i) avaliar a influência dos produtos Piraclostrobina, Fluxapiraxade, Mefentrifluconazole, Broflanilide, *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600 e de um polímero funcional no tratamento de sementes; (ii) verificar se os produtos utilizados no tratamento de sementes influenciam de maneira distinta de acordo com a disponibilidade de água; (iii) determinar a melhor época para realizar a avaliação da influência dos tratamentos após a semeadura das sementes de soja; e (iv) propor índices de desempenho médio e agrônômico para avaliar as influências dos tratamentos de sementes nas características morfológicas das plântulas de soja de acordo com a disponibilidade de água.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A soja no contexto brasileiro

A agricultura brasileira possui uma área plantada de grãos ao redor de 61,53 milhões de hectares, representando um aumento de 0,2% em relação à safra 2016/2017 (CONAB, 2018). Somente a cultura da soja é responsável por 57,4% da área cultivada do país, com crescimento de 3,3% em área cultivada, chegando a 35.022,8 de hectares na atual safra (CONAB, 2018).

As principais culturas do país na estimativa de produção de grãos são: (i) soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com 111,59 milhões toneladas; (ii) milho total (*Zea mays* L.) com 88,01 milhões de toneladas; (iii) arroz (*Oryza sativa* L.) com 11,64 milhões de toneladas; (iv) trigo (*Triticum aestivum* L.) com 4,66 milhões de toneladas; (v) algodão caroço e pluma (*Gossypium hirsutum* L.) com 4,48 milhões de toneladas; e (vi) feijão total (*Phaseolus vulgaris* L.) com 3,30 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

A produção de soja está aliada ao aumento das divisas geradas pela exportação a países da União Europeia, China e Japão, à criação de renda e emprego na indústria brasileira com a produção de óleo comestível, farelo proteico e do biodiesel e à introdução de novas tecnologias no empenho à pesquisa. Sua importância ao mercado brasileiro pode ser observada na divulgação final do PIB brasileiro para o ano de 2015, no qual o Brasil teve uma retração de 3,8%, enquanto que o PIB agropecuário cresceu 1,8% com o aumento na produção de soja (11,9%) e milho (7,3%), atingindo o valor corrente de 263,6 bilhões de reais (MAPA, 2015).

2.2. Tratamento de sementes

Tratamento de sementes é a aplicação de ingredientes químicos e/ou organismos biológicos às sementes, de forma a suprimir, controlar ou afastar patógenos, insetos ou outras pragas que atacam sementes, mudas e plantas. Tecnologias aplicadas à semente, como inoculantes, agentes de proteção a herbicidas, micronutrientes, reguladores de crescimento, revestimentos de sementes e corantes também podem ser considerados tratamento de sementes. Já o

tratamento industrial de sementes (TIS) é o processo realizado pelo produtor de sementes, reembalador, beneficiador ou por empresa especializada que utiliza técnicas profissionais, produtos, máquinas e equipamentos específicos para o tratamento de sementes em conjunto com a utilização de polímeros para adesão dos produtos e que garante a taxa de aplicação recomendada pelo fabricante (dose e qualidade do recobrimento) (ABRASEM, 2014).

O tratamento de sementes traz benefícios tanto para o armazenamento das sementes quanto no processo produtivo após a sua semeadura, garantindo a sanidade e o estabelecimento do cultivo no campo devido a proteção contra patógenos e insetos. O custo relativo ao tratamento de sementes de soja representa cerca de 23 a 30% do custo total da semente (BAUDET; PESKE, 2007) e representa menos de 0,5% do custo de instalação da lavoura quando utilizado somente o fungicida (HENNING, 2005). Atualmente, cerca de 98% das sementes de soja são tratadas com defensivos agrícolas no mercado brasileiro, tanto no seguimento do TIS quanto em nível de propriedade agrícola, com seu valor de mercado saltando de 360 milhões em 2009 para 870 milhões de dólares na safra 2014/2015 (NUNES, 2016).

O tratamento de sementes com diferentes inseticidas na cultura da soja pode aumentar a produtividade devido ao controle inicial da lagarta-elasmô, resultando em um menor número de plantas atacadas (VIEIRA; VIVAN; AVILA, 2015) e sua associação com estimulantes biológicos pode melhorar o estande inicial e estimular o aumento da massa de matéria seca das raízes (COLMAN et al., 2013). Contudo, alguns outros estudos demonstraram o controle efetivo de percevejo pelo uso de inseticidas no tratamento de sementes, mas sem influenciar na produtividade de soja (CHIESA et al., 2016).

A aplicação de fungicidas nas sementes também pode favorecer o estabelecimento da cultura, apesar de não influenciar na produtividade, como demonstrado no estudo de Brzezinski et al. (2015). Eles também demonstraram que o tratamento antecipado de sementes com fungicidas e seu armazenamento por até 240 dias pode influenciar negativamente no estabelecimento, massa de mil sementes e produtividade. Contudo, os efeitos positivos ou negativos no tratamento de sementes antecipado são dependentes dos diferentes fungicidas utilizados, como demonstrado em um estudo de Antonello et al. (2009) com diferentes cultivares de

trigo, com respostas que vão desde o prejuízo ao desenvolvimento da plântula quanto à melhora no seu estabelecimento no campo.

Além da utilização de inseticidas e fungicidas, muitos outros produtos têm sido desenvolvidos para o tratamento de sementes, como polímeros com propriedades funcionais que melhoram o estabelecimento do cultivo no campo e produtos biológicos a base de esporos de bactérias para promoção de crescimento de raízes e parte aérea, ativação da defesa das plântulas e supressão de patógenos de solo, ambos atuando como em efeitos fisiológicos das plantas como ativadores biológicos. Estes são substâncias orgânicas complexas modificadoras do desenvolvimento vegetal, capazes de atuar na síntese ou ação de hormônios vegetais endógenos, levando a aumentos significantes na produtividade, pois influenciam no estabelecimento do cultivo no campo e modificam componentes como comprimento e ramificação das raízes, bem como o desenvolvimento da parte aérea (CAMARGO et al., 2007).

A utilização de produtos formulados a base de biológicos como as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas ou PGPR (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*) no tratamento de sementes promove controle biológico e proteção contra patógenos através de uma série de mecanismos que podem apresentar efeitos como o crescimento de planta em geral, com benefícios na germinação de sementes, emergência, desenvolvimento de plântulas e produção de grãos e frutos (SANTOS, 2008). Tais benefícios foram observados em híbrido de sementes de milho inoculados com *Azospirillum brasilense* no estudo de Quadros et al. (2014) no qual verificou-se que estas bactérias estimularam o desenvolvimento das plantas no período vegetativo, resultando em um estande de plantas mais uniforme, maior resistência aos estresses ambientais e maior concentração de clorofila nas folhas. Outras rizobactérias como a *Pseudomonas fluorescens* reduziram a pressão dos patógenos em plantas pela ativação de mecanismos de defesa e inibição dos patógenos devido a produção de antibióticos, prevenindo a redução da biomassa de plantas de cevada em resposta à infecção de *Fusarium graminearum* (HOOVER, 2011). O *Bacillus subtilis* também tem demonstrado grande capacidade de promoção de crescimento das plantas e a resistência contra patógenos em condições de estresse biótico e abiótico nas plantas de arroz, como observado por Garcia, Knaak e Fiuza (2015). Estes mesmos pesquisadores demonstraram em outro estudo que o *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600 (anteriormente classificado como

subespécie do *Bacillus subtilis*) foi efetivo na inibição da doença da queima-da-bainha causada pelo patógeno *Rhizoctonia solani*, reduzindo a severidade e promovendo o crescimento das plântulas em termos de altura, aumento de perfilhamento por planta e rendimento de grãos quando usado em combinação com a pulverização foliar no campo.

2.3. Evapotranspiração e deficiência hídrica

Em um cenário de crescimento populacional e mudança nos padrões de consumo ao longo das próximas décadas, a água se torna o recurso mais importante para a produção de alimentos e, como a expansão de área de cultivo e a disponibilidade de recursos hídricos são limitados, aumentar a eficiência do uso deste recurso com ganhos substanciais de produtividade é fundamental (STEDUTO et al., 2012).

Com o objetivo de aumentar a eficiência no uso de água e a produtividade dos cultivos, a FAO divulgou no final da década de 1970 um estudo demonstrando a relação entre a produtividade de um determinado cultivo e o uso de água. Foi proposta uma equação simples (1), relacionando a redução na produtividade com a redução relativa correspondente na evapotranspiração:

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_c}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right) \quad (1)$$

Nesta equação, as variáveis Y_c e Y_r são a produtividade máxima e real, ET_c e ET_r são a evapotranspiração máxima e real e K_y é o fator de resposta da produtividade representando o efeito da evapotranspiração nas perdas de produtividade, variando ao longo do ciclo do cultivo. Como nesta equação a produtividade está em função da disponibilidade de água, ela pode ser aplicada para todos os cultivos (STEDUTO et al., 2012).

O processo de evapotranspiração é a combinação da perda de água pela superfície do solo (evaporação) e pelo cultivo (transpiração), podendo ocorrer simultaneamente e difíceis de se medir separadamente. Cultivos de plantas pequenas ou no início do desenvolvimento perdem água predominantemente pela evaporação do solo, enquanto nas plantas bem desenvolvidas em que a parte aérea cobre bem o solo, a transpiração se torna o principal processo de perda de água (ALLEN et al., 1998).

A evapotranspiração máxima ou potencial da cultura (ET_c) é determinada através da equação (2), sendo esta obtida em condições padronizadas de quantidade ideal de água no solo e manejo adequado do cultivo. K_c é o coeficiente do cultivo e ET_o é a evapotranspiração de referência (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (2)$$

A evapotranspiração real (ET_r) pode ser determinada através da disponibilidade diária de água no solo próxima a zona radicular, sendo que quando a água está disponível no solo a ET_r é igual a ET_c . Ao se atingir o nível crítico de água no solo, que é uma fração situada entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, a transpiração é reduzida porque os estômatos se fecham e a ET_r se torna menor que a ET_c ($ET_r < ET_c$). Neste intervalo, uma diminuição da quantidade de água no solo resulta em diminuição proporcional de ET_c . No momento em que a quantidade de água no solo na zona radicular atinge o ponto de murcha permanente, assume-se por definição que o ET_r é igual a zero (STEDUTO et al., 2012).

Sinclair, Hammer e van Oosterom (2005) demonstraram a importância de se utilizar valores limites na taxa de evapotranspiração em cultivos não irrigados, como na cultura do sorgo em que a imposição de um limite máximo de transpiração aumentou a produtividade entre 76 e 90% em um ambiente semiárido, com aumento na eficiência do uso da transpiração. Por outro lado, eles também verificaram que quando a água não era um recurso limitante para o cultivo, a menor taxa de crescimento associada a um limite máximo de transpiração poderia resultar em decréscimos na produtividade (SINCLAIR; MUCHOW, 2001).

A deficiência hídrica no solo também pode ser medida por outros indicadores correlacionando a evapotranspiração, como a fração de água transpirável no solo (FATS), a qual indica o conteúdo real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração e, por consequência, a deficiência hídrica (KELLING et al., 2015).

Na cultura de soja, foi encontrada recentemente a correlação entre a FATS e a taxa de transpiração relativa (TR), podendo ser descrita na seguinte equação:

$$TR = \frac{1}{[1 + 5,25 \times \exp(-11,23 \times FATS)]} \quad (3)$$

Calculando-se um limite de rápido declínio para um valor crítico de transpiração relativa igual a 0,90, teremos um valor de FATS crítico de aproximadamente 0,34 (SINCLAIR; ZWIENIECKI; HOLBROOK, 2008).

A dinâmica da evapotranspiração também pode ser diferente dependendo do tipo de solo utilizado, o que pode restringir o desenvolvimento de plantas de formas distintas. Wahbi e Sinclair (2007), estudando as taxas de transpiração de *Arabidopsis thaliana*, milho e soja em solo mineral argilo-arenoso e em solo artificial, encontraram valores de FATS entre 0,27 e 0,34 para o solo mineral, sendo que para solo artificial obtiveram valores entre 0,60 e 0,70, indicando que as plantas em solo artificial foram expostas mais cedo ao estresse que no solo mineral. Sinclair; Zwieniecki e Holbrook (2008) também observaram que solos com quantidade de areia superior a 90% apresentam uma perda de água similar ao solo mineral argilo-arenoso.

2.4. Arquitetura e topologia das plantas

As plantas são estruturas complexas que podem ser descritas de diferentes formas através da biomecânica, arquitetura hidráulica ou simulação do crescimento das plantas. O conceito geral para a arquitetura das plantas é organização dos seus componentes no espaço e as alterações que podem ocorrer ao longo do tempo. Em um dado momento, a arquitetura da planta pode ser definida por informações topológicas e geométricas. A topologia engloba as conexões físicas entre os componentes das plantas (fluxo de energia, massa, transporte de água) enquanto que a geometria considera o formato, tamanho, orientação e localização espacial dos componentes (trocas com o ambiente, interceptação da luz, captação de recursos) (GODIN; COSTES; SINOQUET, 1999).

A arquitetura de plantas em termos práticos é o conjunto de características de uma planta, tais como o porte da planta, altura de inserção da primeira vagem, ângulo de inserção dos ramos, diâmetro do epicótilo e hipocótilo, números de nós na haste principal, número de grãos por vagem, número e comprimento de entrenós, estrutura e orientação de folhas, que definem a forma, tamanho e a geometria das plantas. Raízes com arquitetura superficiais e ricas em pelos, de preferência longos, complementam o sinergismo com a arquitetura sendo responsáveis por absorção de água, liberação e absorção de fósforo. Raízes com arquitetura propensas a serem

mais profundas, quando ricas em pelos, aumentam a tolerância da planta à deficiência hídrica (GONÇALVES; LYNCH, 2014a). As plantas de soja, por serem dicotiledôneas, apresentam um sistema radicular que surge com uma raiz principal, tendo raízes que surgem lateralmente do hipocótilo chamadas de raízes basais, que por sua vez também formam ramificações laterais (GONÇALVES; LYNCH, 2014b).

As plantas podem ter sua arquitetura alterada por substâncias naturais ou sintéticas aplicadas sobre as sementes, consequentemente alterando a sua arquitetura. Aminoácidos e hormônios podem reduzir o nível de estresse no período inicial de crescimento e aumentar o acúmulo de massa de matéria seca em plantas de soja (SOARES, 2013), bem como a aplicação de ácido giberélico nas sementes em conjunto com aplicação foliar conseguiu alterar a arquitetura das plantas de feijão no que se refere a inserção da primeira vagem da planta e na distribuição dos ramos basais e das folhas, as quais ficaram mais distantes uma das outras (SOUZA et al., 2015). Plantas monocotiledôneas também podem ter sua morfofisiologia alterada através do tratamento de sementes, como verificou Macedo (2012) com a utilização de um ativador biológico que influenciou no crescimento inicial das plantas, no desenvolvimento radicular e em ganhos no índice de colheita, porém estas alterações não foram observadas por Costa-Júnior (2014) trabalhando com arroz de terras altas, não encontrando diferenças na aplicação de estimulantes biológicos e do fungicida Piraclostrobina na produtividade de grãos, altura de plantas e no número de panículas por m².

2.5. Análise por imagem

O uso de computadores, dispositivos eletrônicos e *softwares* para captura de imagens e análises de atributos morfológicos como comprimento total, superfície, diâmetro médio e volume de raízes e sua interação com a parte aérea tem aumentando nos últimos anos, permitindo análises mais rápidas e precisas (CANTÃO, 2007). A análise de imagens fornece informações distintas e complementares daquelas obtidas através do teste tradicional de germinação em papel, no qual se realiza somente a contagem em percentagem de plântulas germinadas após alguns dias da semeadura em condições ideais e padronizadas para seu desenvolvimento (BRASIL, 2009). Mesmo testes complementares desenvolvidos para análise de aspectos fisiológicos como vigor, tetrazólio,

envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e testes baseados no comprimento da raiz primária e da parte aérea fornecem informações incompletas de como seria o comportamento da planta no campo, apesar de serem muito utilizados para avaliar vigor e detectar efeitos nocivos de produtos aplicados às sementes (MARCOS-FILHO, 2013).

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de correlacionar os resultados da análise de imagem por distintos equipamentos e *softwares* e as análises tradicionais de vigor e germinação em sementes. Em estudos realizados por Lima et al. (2014) com soja e milho e por Alvarenga, Marcos-Filho e Gomes-Júnior (2012) com milho doce, detectou-se uma boa correlação entre os resultados obtidos na germinação e crescimento das plântulas com aqueles do teste de germinação e envelhecimento acelerado padrão. Outros resultados satisfatórios e promissores com a utilização de imagens foram obtidos por Yagushi, Costa e França-Neto (2014), ao comparar a deterioração de sementes de soja durante o armazenamento com o teste de envelhecimento acelerado em solução saturada de NaCl, e por Wendt et al. (2014), ao estudar lotes de soja de alto e baixo vigor.

A análise de imagens tem como um de seus principais *softwares* para avaliação de características do sistema radicular o *WinRHIZO*, que realiza o cálculo de intersecções radiculares e do comprimento radicular. Sua grande vantagem é a facilidade de operação e as correções de análise, porém o sistema assume a distribuição aleatória das raízes e, se houver sobreposição de raízes, pode ser que o comprimento seja subestimado (CANTÃO, 2007). Sua utilização tem permitido avaliar o desenvolvimento de plântulas em início de desenvolvimento e acelerar o desenvolvimento de novos produtos para o tratamento de sementes.

2.6 Características do fungicida Piraclostrobina

A Piraclostrobina (Figura 1) é um ingrediente ativo fungicida do grupo das estrobilurinas com ação sistêmica e que atua como inibidor extracelular da quinona (QoI fungicidas) no Complexo III do citocromo bc_1 (Ubiquinol Oxidase) no sítio QoI da cadeia respiratória mitocondrial dos fungos (FRAC, 2017). No cultivo da soja é utilizada no combate às doenças fúngicas como a mancha-purpura-da-semente (*Cercospora kikuchii*), phomopsis-da-semente (*Phomopsis sojae*), podridão-de-

fusarium (*Fusarium semitectum*), antracnose (*Colletotrichum truncatum*) e fungos de armazenamento (*Aspergillus flavus*).

As estrobilurinas também podem atuar de forma positiva sobre a fisiologia da planta. A Piraclostrobina age especificamente na enzima nitrato redutase da planta, fazendo com que o NO_3^- seja convertido de maneira mais eficiente em NO_2^- , aumentando a fotossíntese, otimizando a fotorrespiração, produzindo mais carboidratos e proteínas e utilizando melhor os aminoácidos para o crescimento da planta. Estas condições permitem que a planta absorva mais nutrientes e água e que as raízes armazenem maior quantidade de reservas e, consequentemente, resistam a um maior estresse, quer seja biótico ou abiótico (KÖHLE et al., 2002).

Os estudos com Piraclostrobina realizados por Kanungo e Joshi (2014) evidenciam a atuação da molécula tanto na fotossíntese quanto nos hormônios das plantas, influenciando na abscisão foliar e na redução dos estresses biótico. Peloso et al. (2017) apresentaram resultados com plantas de café que receberam aplicação de Piraclostrobina e que também apresentaram resultados fisiológicos positivos, favorecendo o incremento da massa de matéria seca total, da parte aérea e da raiz, além de aumentar a área foliar, altura, diâmetro do coleto e na eficiência do uso da água na produtividade quando em regime hídrico adequado; porém, tais efeitos não foram observados sob déficit hídrico. No tratamento de sementes, a Piraclostrobina pode promover maior arranque, enraizamento e estabelecimento das plântulas e sua combinação com aplicações foliares de Piraclostrobina, pode aumentar o índice de área foliar, massa de matéria seca e de produtividade, como observado por Lima et. al. (2009) em sementes de milho.

Figura 1. Estrutura molecular de Piraclostrobina (NCBI, 2017).

2.7 Características do fungicida Fluxapirroxade

O ingrediente ativo Fluxapirroxade (Figuras 2 e 3) é um fungicida descoberto pela empresa Basf e pertence ao grupo químico das Carboxamidas, sendo um dos primeiros grupos de ação sistêmica a ser descoberto. Age na respiração mitocondrial dos fungos, com a diferença que atua no Complexo II da cadeia de transporte de elétrons, também conhecido como complexo Succinato-Desidrogenase (BASF, 2018a). Esse complexo utiliza o aceptor de elétrons FAD para efetuar a transferência de elétrons de FADH_2 para a Coenzima Q. A inibição deste processo resulta no bloqueio da produção de ATP, além da formação de várias moléculas intermediárias prejudiciais à célula (CARRIJO, 2014).

O Fluxapirroxade é sistêmico e se aplicado via foliar percorre toda a folha no sentido acropetal e tem potencial curativo e protetivo nas plantas de soja (SANTOS, 2016), tendo bons resultados no controle de *Corynespora cassiicola*, *Phakopsora pachyrhizi*, *Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines* (CARRIJO, 2014). Quando aplicado no tratamento de sementes, o Fluxapirroxade percorre as raízes e chega a todas as partes da planta jovem que está acima do solo em conjunto com o fluxo de água da planta, controlando um amplo espectro de fungos como *Rhizoctonia* spp. e *Fusarium* spp. Alguns estudos também indicam que o Fluxapirroxade aplicado no tratamento de sementes pode aumentar o ganho de massa das raízes produzindo plantas mais resistentes ao calor, frio e a doenças (BASF, 2018a).

Figura 2. Estrutura molecular tridimensional do Fluxapirroxade (BASF, 2018a).

Figura 3. Estrutura molecular do Fluxapiroxade (NCBI, 2017).

2.8 Características do fungicida Mefentrifluconazole

O ingrediente ativo Mefentrifluconazole (Figuras 4 e 5) é um fungicida descoberto e desenvolvido pela empresa BASF e que pertence ao grupo dos inibidores da biossíntese do esteroide (SBI), ao subgrupo dos inibidores de dimetilação (DMI) e ao grupo químico dos triazóis. O Mefentrifluconazole é um isopropanol-azole flexível que assume diferentes conformações quando se liga ao sítio ativo do C₁₄-dimetilase, se rearranjando como um gancho e se ligando à enzima alvo até 100 vezes mais forte que um fungicida triazol comum, mesmo onde mutações neste sítio alvo tenham ocorrido. Como consequência, a produção do ergosterol é inibida dentro da célula fúngica, causando a ruptura celular e a morte do fungo (BASF, 2017).

O Mefentrifluconazole é sistêmico e quando aplicado via foliar é rapidamente absorvido pela folha, sendo redistribuído através do sistema de transporte de água da planta no sentido acropetal, protegendo partes que não foram atingidas durante sua aplicação. Este ingrediente ativo tem efeito preventivo e curativo de longo residual em um amplo espectro de doenças para os cultivos de cereais de inverno, milho, soja, arroz, frutas e hortaliças (BASF, 2017).

Figura 4. Estrutura molecular tridimensional do Mefentrifluconazole se dobrando na conformação de “gancho” ao ligar-se ao sítio alvo (BASF, 2017).

Figura 5. Estrutura molecular do Mefentrifluconazole (NCBI, 2017).

2.9 Características do promotor de crescimento e biofungicida *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600

As bactérias do gênero *Bacillus* são rizobactérias, ou seja, habitantes naturais do solo e podem se associar as plantas, colonizando todos os órgãos vegetativos (LANNA-FILHO et al., 2010). Estes procariotos podem responder de diversas formas às condições ambientais desfavoráveis, desenvolvendo motilidade, transformando matéria de DNA exógeno, produzindo antibióticos e enzimas de degradação extracelular (STRAGIER; LOSICK, 1996) e, quando há escassez de nutrientes, formando os endósporos que são estruturas de resistência às agressões exógenas. (LANNA-FILHO et al., 2010).

A utilização agronômica de bactérias do gênero *Bacillus* tem crescido nos últimos anos devido às suas características biológicas como a produção de endósporos, o que apresenta facilidades para a manutenção de sua viabilidade em produtos comerciais formulados, aos atributos de promoção de crescimento de plantas e ao controle de patógenos. Os mecanismos envolvidos na promoção do crescimento de plantas hospedeiras incluem a produção de fitormônios, a solubilização de fosfato e a produção de quelantes de ferro ou sideróforos. O controle de patógenos está relacionado com a competição por nutrientes, sintetização e liberação de metabólitos antimicrobianos e enzimas líticas que degradam a parede celular de patógenos e a indução da resistência sistêmica das plantas (Figura 6) (KUMAR; PRAKASH; JOHRI, 2011; GARCIA; KNAAK; FIUZA, 2015).

O *Bacillus amyloliquefaciens* MBI 600 foi originalmente isolado da superfície de plantas de feijão no Reino Unido no ano de 1984 pela companhia *MicroBio Limited*. Atualmente a empresa BASF é detentora dessa tecnologia com o nome comercial Integral®, o qual possui uma formulação contendo endósporos para o tratamento de sementes (Figura 7). O *B. amyloliquefaciens* cepa MBI 600 possui múltiplos modos de ação contra doenças, sendo classificado como um desregulador microbiano das membranas celulares de patógenos (FRAC, 2017).

A colonização do solo e da raiz da planta no campo pelo Integral cria uma zona de exclusão, impedindo a germinação e o crescimento de esporos de fungos patogênicos como *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia* spp., disponibilizando maior quantidade de nutrientes para a planta (Figura 8). Consequentemente, a planta poderá utilizar de seus recursos para maior crescimento e produtividade, resultando em plantas mais vigorosas (BASF, 2015). Esses benefícios foram demonstrados por Kumar et al. (2011) em diferentes cultivares de sementes de arroz tratadas distintos fungicidas, com resultados positivos na produção de sideróforos, promoção de crescimento da parte aérea e da raiz e da emergência e compatibilidade com os fungicidas utilizados. Kumar et al. (2013) também verificaram através de microscopia eletrônica de varredura que o Integral causa a perda da integridade estrutural, murcha, enrolamento anormal e quebra da hifa de *Rhizoctonia solani* devido a antibiose e parasitismo.

Figura 6. Interações das rizobactérias na promoção do crescimento das plantas e da sanidade vegetal (GARCIA; KNAACK; FIUZA, 2015).

Figura 7. Microscopia eletrônica de varredura do *Bacillus amyloliquefaciens* MBI 600 na formulação comercial do Integral® (KUMAR et al., 2013).

Figura 8. Microscopia eletrônica de varredura da colonização dos endósporos de *Bacillus amyloliquefaciens* MBI 600 na viabilidade dos escleródios de *Rhizoctonia solani* (a e b) (KUMAR et al., 2013).

2.10 Características do inseticida Broflanilide

O ingrediente ativo bloflanilide (Figura 9) é um inseticida descoberto pela Mitsui Chemicals Agro (MCAG) e desenvolvido em conjunto com a empresa BASF desde 2014. Ele pertence ao subgrupo das meta-diamidas Carboxamidas e teve seu novo modo de ação recentemente aprovado pelo Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas (IRAC), que o classificou no Grupo 30 como um modulador alostérico do canal de Cl^- do GABA (ácido gama-aminobutírico), sendo o único ingrediente ativo neste grupo (IRAC, 2017). O GABA é o mais importante neurotransmissor inibidor do sistema nervoso central (SNC) e das sinapses neuromusculares e o influxo dos íons negativos de Cl^- através dele tem um efeito inibitório contrário aos sinais excitatórios. Alterações nesse mecanismo causado pelo Broflanilide levam a convulsões e à morte do inseto (WEDEL; SALGADO, 2016).

Estudos preliminares mostraram que o Broflanilide não é sistêmico ou translaminar (HUANG, 2016). Tem sido demonstrado que este ingrediente ativo apresenta uma excelente eficácia no controle de insetos mastigadores, incluindo lagartas e besouros nos grandes cultivos, além de formigas, cupins, baratas e carrapatos no segmento doméstico, sendo uma nova ferramenta no manejo de resistência à inseticidas, podendo ser utilizado no tratamento de sementes de cereais, hortaliças, batata, soja, algodão, milho e leguminosas (BASF, 2018b).

Figura 9. Estrutura molecular do Broflanilide (NCBI, 2017).

2.11 Características do polímero funcional - BAS 364 27 S

O polímero funcional BAS 364 27 S é uma tecnologia em desenvolvimento pela BASF e que atua em características agronômicas da planta, resultando em plantas mais tolerantes aos estresses térmico e hídrico, age como uma barreira física contra patógenos e promove maior adesão de fungicidas e inseticidas aplicados sobre as sementes. O desenvolvimento e uso de polímeros está associado com o avanço do tratamento industrial de sementes e novas necessidades do mercado, sendo uma tecnologia que garante a melhor adesão e distribuição dos produtos aplicados nas sementes, semeadura com menor número de falhas, diminuição de perdas dos produtos aplicados sobre a superfície das sementes, redução significativa de liberação de pó ambiente e redução de riscos aos trabalhadores envolvidos neste processo (ALVES, 2017).

Pouco são os trabalhos que exploram as características agronômicas de distintos polímeros de recobrimento de sementes disponíveis no mercado e suas associações com fungicidas, inseticidas, biológicos e estimulantes. Pereira et al. (2015) observaram que polímeros podem influenciar na fitotoxicidade de inseticidas e na germinação das sementes, assim como Pires, Bragantini e Costa (2004) ao verificarem que distintos polímeros podem influenciar a eficácia de fungicidas no controle de patógenos, porém há uma escassez de trabalhos e um vasto campo a ser estudado sobre este tema.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

Os experimentos foram conduzidos no período de 2 de junho a 14 de junho de 2017, no Centro de Tecnologia em Soluções para Sementes da empresa BASF, localizado no município de Santo Antônio de Posse no estado de São Paulo (Latitude: 22°36'16" Sul. Longitude 46°58'49" Oeste. Altitude: 695 m).

3.2 Instalação dos experimentos

Dois experimentos com a cultura da soja foram instalados simultaneamente para avaliação em duas épocas distintas: 7 DAS e 12 DAS. Ambos experimentos foram realizados nas condições sem (SE) e com estresse hídrico (CE), sendo que os períodos foram analisados separadamente.

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação climatizada que possibilita o ajuste na temperatura de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ em relação a temperatura externa, sendo os dados da temperatura máxima e mínima e umidade relativa média coletados com um termo-higrômetro digital posicionado sobre a mesa metálica ao centro da casa de vegetação.

3.3 Caracterização da variedade utilizada

Para a realização dos experimentos foi utilizada a variedade comercial de soja NA 5909 RG da empresa Nidera Sementes. Esta variedade possui crescimento indeterminado, ciclo superprecoce e máxima estabilidade em diferentes ambientes, sendo seu cultivo abrangente e em distintas regiões edafoclimáticas, desde o Rio Grande do Sul até o Centro Norte e Oeste de Mato Grosso (NIDERA, 2018).

3.4 Delineamento experimental

Nos experimentos foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado constituindo-se de sete tratamentos com 200 repetições, distribuídos em quatro

bandejas contendo areia grossa lavada com 50 sementes cada, sendo que cada semente ou plântula foi considerada uma parcela, obtendo-se uma precisão de 0,5% na avaliação.

3.5 Tratamento de sementes

Para o tratamento de sementes foram utilizadas formulações experimentais líquidas dos fungicidas Piraclostrobina, Fluxapirroxade e Mefentrifluconazole, do inseticida Broflanilide, do polímero funcional BAS 364 27 S e a formulação comercial do promotor de crescimento e biofungicida *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600, com as doses utilizadas sob recomendação de pesquisas internas da empresa BASF (Tabela 1). Estes produtos foram diluídos em água e aplicados sobre as sementes em uma máquina automatizada de batelada da marca Cimbria-Heid CC2 no dia 26 de maio de 2017, sendo posteriormente armazenadas em caixas de papelão em câmara-fria na temperatura de $12 \pm 5^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $40 \pm 10^\circ\text{C}$.

Tabela 1. Descrição, dose, condição hídrica e época de avaliação para os diferentes tratamentos de sementes (TS) no cultivar de soja NA 5909 RG. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

TS ^a	Descrição	Dose (p.c.) ^b	Dose (i.a.) ^c	Estresse Hídrico	Época de avaliação
T ₁	Testemunha	-	-	Com e Sem	7 e 12 dias
T ₂	Piraclostrobina	40	10	Com e Sem	7 e 12 dias
T ₃	Fluxapirroxade	75	25	Com e Sem	7 e 12 dias
T ₄	Mefentrifluconazole	62	25	Com e Sem	7 e 12 dias
T ₅	<i>B. amyloliquefaciens</i> cepa MBI 600	10	0,21 ^d	Com e Sem	7 e 12 dias
T ₆	Broflanilide	166	50	Com e Sem	7 e 12 dias
T ₇	Polímero funcional	200	-	Com e Sem	7 e 12 dias

^a O volume de calda foi completado com água até 600 mL.100 kg⁻¹ de sementes nos tratamentos T₂ ao T₇.

^b Dose de produto comercial (p.c.) em mL.100 kg⁻¹ de sementes.

^c Dose de ingrediente ativo (i.a.) em mL.100 kg⁻¹ de sementes.

^d Dose equivalente a $2,2 \times 10^{11}$ Unidades Formadoras de Colônia (UFC).100 kg⁻¹ de sementes.

3.6 Análise física e química do substrato areia

Duas amostras da areia utilizada nos experimentos foram enviadas para análises físicas e químicas ao Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. As análises físicas utilizaram do método Boyoucos com densímetros dividindo a amostra em classes de diâmetro por milímetro conforme recomendação da USDA (DANE; TOPP, 2012). Com relação às análises químicas foram avaliados pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, fósforo (P) pelo método colorimétrico extraído com resina trocadora de íons, enxofre (S) pela determinação por turbidimetria e extração com fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹, potássio (K) pela extração com resina trocadora de íons e determinação em espectrofotômetro de emissão atômica, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) pela extração com resina trocadora de íons e determinação em espectrofotômetro de absorção atômica, alumínio trocável (Al) pelo método colorimétrico extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹, acidez potencial (H + Al) extraído com tampão SMP, Soma de Base trocáveis (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação da CTC por bases (V) e da saturação de alumínio (m) (VAN RAIJ et al., 2001).

3.7 Preparo das bandejas e semeadura

Bandejas plástica brancas nas dimensões 36x26x6 cm de comprimento, largura e profundidade, respectivamente, com volume aproximado de 5,6 L, foram preenchidas com areia grossa lavada até $\frac{3}{4}$ do volume e dispostas sobre duas bancadas metálicas com 0,9 m de altura por 24 horas para secagem, sendo posteriormente irrigadas até 80% da capacidade de campo (BRASIL, 2009). Posteriormente, as sementes tratadas foram semeadas a 3 cm de profundidade de maneira equidistante no dia 2 de junho de 2017 (Figura 10).

3.8 Irrigação

A partir do início dos experimentos, as bandejas foram pesadas diariamente às 9 horas da manhã para se determinar a quantidade de água perdida (evapotranspiração), do dia 3 de junho até 14 de junho de 2017, utilizando-se de

balança eletrônica com capacidade para 30 kg e precisão de 5 g. Bandejas preenchidas somente com areia foram utilizadas como controle.

As bandejas sem estresse hídrico foram irrigadas diariamente repondo a diferença entre a massa da bandeja no dia da pesagem e a massa inicial da bandeja, sendo esta perda de água definida como a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c). A perda de água nas bandejas com estresse hídrico foi definida como a evapotranspiração real da cultura (ET_r), determinada pela diferença entre a massa da bandeja no dia e a massa da mesma bandeja no dia anterior, sendo irrigadas somente nos dias em que a ET_r/ET_c foi igual ou menor que 0,5. Neste caso, a quantidade de água repostada foi igual àquela das bandejas sem estresse hídrico no dia da pesagem.

3.9 Cálculos da deficiência hídrica (DH), perda relativa (θ , 100%), perda relativa acumulada (μ , 100%) e deficiência hídrica acumulada (Δ , 100%) pela evapotranspiração

A deficiência hídrica (DH) foi definida como a diferença entre a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c) e a evapotranspiração real da cultura (ET_r), sendo representada pela equação 4:

$$DH = ET_c - ET_r \quad (4)$$

A perda relativa (θ ; %) foi definida pela equação 5:

$$\theta = \frac{ET_r}{ET_c} \cdot 100 \quad (5)$$

Através das equações 4 e 5 determinou-se a perda acumulada relativa (μ , %) pela relação entre a somatória da evapotranspiração real acumulada (ET_r_{cac}) e a evapotranspiração potencial acumulada (ET_c_{cac}) nas equações 6 e 7:

$$\left(\frac{ET_{r,cac}}{ET_{c,cac}}\right) = \sum_{i=1}^{\mu} \left(\frac{ET_r}{ET_c}\right) \quad (6)$$

$$\mu(\%) = \left(\frac{ET_{r,cac}}{ET_{c,cac}}\right) \cdot 100 \quad (7)$$

A deficiência hídrica relativa (Δ) foi calculada através das equações 8, 9 e 10:

$$\Delta(\%) = \frac{DH}{ET_c} \cdot 100 \quad (8)$$

$$\Delta(\%) = 100 - \frac{ET_{rac}}{ET_{cac}} \cdot 100 \quad (9)$$

$$\Delta(\%) = 100 - \mu \quad (10)$$

3.10 Emergência em areia e índice de velocidade de emergência (IVE)

A contagem de emergência em areia foi realizada a partir da emergência das primeiras plantas no dia 8 de junho de 2017, sendo os resultados expressos em média da porcentagem de emergência de plântulas normais somadas às anormais (BRASIL, 2009; ISTA, 2018). Através dos resultados de emergência foi determinada a velocidade com que as plântulas emergem do substrato através do índice de velocidade de emergência (IVE), na qual se utilizou a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n} \quad (11)$$

Os numeradores E_1 , E_2 , ..., E_n se referem ao número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem e na enésima contagem. Os denominadores N_1 , N_2 , ..., N_n se referem ao número de dias após a semeadura correspondente à primeira, segunda e à enésima contagem. O valor do índice é adimensional e valores maiores indicam uma velocidade mais rápida de emergência das plântulas.

3.11 Coleta de plantas e análise de imagens no WinRHIZO

As plântulas com desenvolvimento normal foram coletadas inteiras ao final dos experimentos (Figura 11), colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e, em seguida, transportadas ao Laboratório Multiuso do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, onde foram armazenadas em ambiente de temperatura controlada de -4°C

para paralisar o crescimento e evitar a desidratação, possibilitando a posterior análise. Momentos antes das análises de imagens, as plântulas foram retiradas dos sacos plásticos e submergidas em bacias contendo água destilada por 30 minutos. Esse procedimento teve por objetivo facilitar o processo de lavagem das raízes, que foi realizado utilizando-se um jato de água, até que os sistemas radiculares das plântulas ficassem livres de partículas de solo. Em seguida, os cotilédones foram retirados e a parte aérea separada do sistema radicular na altura do coleto.

Para a análise do sistema radicular e da parte aérea foi utilizado o sistema WinRHIZO Pro 2007a acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 equipado com unidade de luz adicional para uma definição de 200 dpi (*dots per inch*), realizando-se avaliações métricas para a caracterização da arquitetura, da altitude e da magnitude das plântulas de soja. As raízes foram dispostas em uma cuba de acrílico de 20 cm de largura por 30 cm de comprimento contendo água. A utilização deste acessório permitiu a obtenção de imagens em três dimensões, evitando também a sobreposição das raízes (WINRHIZO, 2017). As variáveis utilizadas na caracterização do sistema radicular e da parte aérea de plântulas de soja se encontram descritas na Tabela 2.

3.12 Massa de matéria seca

Para a determinação massa de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea foram avaliadas as plantas utilizadas na análise de imagens. As repetições de cada lote foram acondicionadas em sacos de papel, identificados, e levados à estufa com circulação de ar forçada, mantida à temperatura de 80°C por um período de 24 horas (NAKAGAWA, 1999). Após este período, cada repetição foi resfriada em um dessecador e a sua massa foi avaliada em balança com precisão de 0,001 g, com os resultados médios expressos em gramas por plântula.

3.13 Análise Estatística

Os resultados obtidos foram submetidos a ANOVA (análise de variância) e foi utilizado o teste de Tukey ao nível de probabilidade de 10% para a comparação das

médias dos tratamentos, sendo utilizado o pacote estatístico do programa SAS versão 9.2 (SAS, 2013).

3.14 Índice de Performance Média (IPM)

Para o cálculo do índice de performance média (IPM, %) foi proposta a média aritmética das variáveis consideradas:

$$T_i = \frac{\sum_{r=1}^m A_{i,1,r}}{m} \quad (12)$$

$$x_{i,t,r} = \frac{A_{i,t,r}}{T_i} \quad (13)$$

$$IPM_{t,r} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i,t,r}}{n} \quad (14)$$

$$IPM_t = \frac{100 \sum_{r=1}^m IPM_{t,r}}{m} \left(\frac{100 \sum_{r=1}^m IPM_{1,r}}{m} \right)^{-1} \quad (15)$$

em que n se refere ao número de variáveis consideradas, m ao número de repetições, T_i ao valor médio absoluto obtido no tratamento controle (testemunha) e x_i ao valor médio relativo (variável escalonada x, entre 0 e 1) referente ao i-ésimo parâmetro (p_i) considerado.

3.15 Índice de Performance Agronômica (IPA)

Para o cálculo do índice de performance agronômica (IPA, %) foi proposta a média geométrica dos parâmetros considerados:

$$T_i = \frac{\sum_{r=1}^m A_{i,1,r}}{m} \quad (16)$$

$$x_{i,t,r} = \frac{A_{i,t,r}}{T_i} \quad (17)$$

$$IPA_{t,r} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_{i,r}} \quad (18)$$

$$IPA_t = \frac{100 \sum_{r=1}^m IPA_{t,r}}{m} \left(\frac{100 \sum_{r=1}^m IPA_{1,r}}{m} \right)^{-1} \quad (19)$$

em que n se refere ao número de parâmetros considerados, m ao número de repetições, T_i ao valor médio absoluto obtido no tratamento controle (testemunha) e x_i ao valor médio relativo (variável escalonada x, entre 0 e 1) referente ao i-ésimo parâmetro (p_i) considerado.

Figura 10. Caixas plásticas com substrato areia e os diferentes tratamentos de sementes no cultivar de soja NA 5909 RG sendo irrigadas após a pesagem. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 11. Plântulas de soja de distintos tratamentos de sementes do cultivar NA 5909 RG sendo coletadas aos 7 DAS. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Tabela 2. Descrição das variáveis utilizadas na caracterização do crescimento e da arquitetura de plântulas de soja. Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, USP, Piracicaba, São Paulo. 2017.

Variável	Descrição
MMSpa	Massa de matéria seca de parte aérea (g)
Cpa	Comprimento de parte aérea (cm)
APpa	Área projetada de parte aérea (cm ²)
MMSr	Massa de matéria seca das raízes (g)
Cr	Comprimento do somatório das raízes (cm)
VOLr	Volume das raízes (cm ³)
APr	Área projetada das raízes (cm ²)
DIAMr	Diâmetro médio das raízes (mm)
CTRAEXTr	Número do somatório de ligações entre a ligação e sua base
CEIXPr	Comprimento do eixo principal (cm)
ALTr	Altitude do sistema radicular (Maior distância entre um segmento do sistema radicular até alcançar a parte aérea da planta) (cm)
MAGr	Magnitude do sistema radicular (Número de pontos de crescimento das raízes - meristema apical)
BIFr	Número de bifurcações das raízes
CLr	Comprimento médio de ligações das raízes (cm)
APLr	Área projetada média de ligações das raízes (cm ²)
DIAMLr	Diâmetro médio de ligações das raízes (mm)
ANGLr	Ângulo médio de ligações das raízes (graus)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Substrato, temperatura e umidade na casa de vegetação, deficiência hídrica e desenvolvimento das plântulas

Os resultados das análises físicas e químicas realizadas no substrato areia se encontram nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. As análises físicas classificaram o substrato como solo tipo 1 com textura arenosa (MAPA, 2008) e as análises químicas indicaram um pH de acidez média, com baixos teores de fósforo, cálcio, potássio, magnésio e matéria orgânica, médio teor de enxofre, acidez potencial muito boa e com saturação de alumínio baixa e não prejudicial, com uma capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de CTC por bases e soma de bases trocáveis adequadas (Tabela 4) (SOUSA; LOBATO, 2004). A utilização de areia predominantemente grossa e lavada, como estudado por Zilli et al. (2011), reduziu a probabilidade da presença de elementos como o Cobalto (Co), Cromo (Cr) e Níquel (Ni), evidenciado pela ausência de fitotoxicidade durante a condução dos experimentos.

As temperaturas durante a condução dos experimentos no mês de junho de 2017 estão descritas na Figura 12. A temperatura máxima atingiu 29,7°C no 2º e 5º dias dos experimentos. As temperaturas mínimas chegaram a abaixo de 10°C no 1º, 8º, 9º e 10º dias dos experimentos, podendo ter influenciado na emergência e o desenvolvimento das plântulas, as quais foram coletadas aos 7 e 12 DAS, dentro do intervalo de tolerância para as avaliações de emergência e IVE (BRASIL, 2009). A umidade relativa média diária durante a condução dos experimentos apresentou variações entre 74,6% e 91,3% (Figura 13).

Com relação a deficiência hídrica nos tratamentos sob esta condição, as médias da perda relativa por evapotranspiração (Θ , %) se encontram nas Figuras 14 e 15 para os experimentos aos 7 DAS e 12 DAS, respectivamente. No experimento aos 7 DAS os valores atingiram entre 50% e 60% no 5º dia para o tratamento T₁ e entre o 6º e 7º dias para os demais tratamentos, enquanto que no experimento aos 12 DAS no 3º dia para os tratamentos T₂, T₃, T₅ e T₇, 4º dia para T₁ e 5º dia para T₄ e T₆. Os valores entre 50% e 60% equivaleriam a FATS de 0,14 e 0,18, respectivamente (SINCLAIR; ZWIENIECKI; HOLBROOK, 2008).

Os valores das análises de perda acumulada relativa (μ , %) nos experimentos aos 7 DAS e 12 DAS se encontra nas Figuras 16 e 17, respectivamente. No experimento até os 7 DAS, os valores decaem até o 7º dia em todos os tratamentos, alcançando valores entre 80% e 90% para os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₅ e T₇ e entre 90% e 100% nos tratamentos T₄ e T₆. Para o experimento até os 12 DAS, os valores de perda acumulada diminuem mais acentuadamente até o 9º e 10º dias, com os valores entre 63% e 75% entre o 10º e 12º dias.

Os valores médios da deficiência hídrica relativa (Δ , %) nos experimentos aos 7 DAS e 12 DAS estão descritos nas Figuras 18 e 19, respectivamente. No experimento aos 7 DAS, a deficiência hídrica relativa se torna positiva a partir do 5º dia para os tratamentos T₁ e T₇, do 6º dia para os tratamentos T₂ e T₃ e no 7º dia para os demais tratamentos. No experimento aos 12 DAS, a deficiência hídrica relativa passou a ser positiva a partir do 4º dia no tratamento T₅, do 5º dia nos tratamentos T₁, T₂, T₃, T₆ e T₇ e do 6º dia no tratamento T₄.

A utilização da fração de água transpirável do solo (FATS) crítica para se determinar a deficiência hídrica de uma cultura foi demonstrada nos trabalhos de Sinclair (1986), Muchow e Sinclair (1991) e Wahbi e Sinclair (2007), nos quais foram propostos os valores de FATS crítica de 0,20, 0,30 e 0,27-0,34, respectivamente, baseados na perda relativa por transpiração para a cultura da soja. Nestes experimentos todos os tratamentos estiveram em deficiência hídrica no momento da coleta das plântulas, com valores de FATS variando entre 0,14 e 0,18 no 7º dia no experimento aos 7 DAS e do 5º dia no experimento aos 12 DAS, sendo estes valores obtidos menores e mais restritos que aqueles propostos para FATS crítica na cultura da soja.

Os valores do controle para a perda relativa, perda acumulada relativa e deficiência hídrica relativa por evapotranspiração foram similares às bandejas dos tratamentos, não sendo possível distinguir diferenças pela transpiração das plântulas através do método utilizado. Por outro lado, Steduto et al. (2002) afirmam que em plantas em início de desenvolvimento o processo de evaporação é predominante em relação à evapotranspiração, sendo difícil medir-se a evaporação e a transpiração separadamente (ALLEN et al., 1998).

O tamanho das bandejas também teve pouca influência na evapotranspiração e, conseqüentemente, na FATS nas plântulas de soja, pois a taxa de evapotranspiração começa a declinar com relação ao teor de água no solo em

resposta a deficiência hídrica, sendo o teor de água no solo o fator determinante na deficiência hídrica (RAY e SINCLAIR, 1998). A distribuição das bandejas dos distintos experimentos na casa de vegetação pode ter influenciado no momento em que os tratamentos atingiram a deficiência hídrica proposta nestes estudos, podendo ser necessário períodos mais longos dos experimentos como o realizado até os 12 DAS para se garantir a padronização da condição de deficiência hídrica.

A deficiência hídrica varia de acordo com a textura do solo e, em conjunto com a transpiração reduzida, resultam em uma menor produção de biomassa que, normalmente, reduz a produtividade da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1979; WAHBO; SINCLAIR, 2007; STEDUTO et al., 2012). Em ambos experimentos, as plântulas em condições de estresse hídrico apresentaram plântulas aparentemente menos desenvolvidas em relação aquelas com irrigação adequada, independentemente do tratamento aplicado nas sementes (Figura 20). Contudo, as respostas ao estresse hídrico podem ser significativamente variáveis (STEDUTO et al., 2012), sendo necessária a análise de outros componentes da planta em detalhes e suas respostas ao tratamento de sementes e condições de disponibilidade de água.

Tabela 3. Análises físicas do substrato areia utilizado nos experimentos com o cultivar de soja NA 5909 RG. Piracicaba, São Paulo. 2017.

Determinação	Unidade	Identificação das amostras	
		11038	11039
AF	g.kg ⁻¹	456	438
AG	g.kg ⁻¹	518	511
AT	g.kg ⁻¹	974	949
Argila (com dispersante)	g.kg ⁻¹	12	37
Silte	g.kg ⁻¹	13	14
Classe de Textura	-	Ar	ar

AF: fração de areia fina (0,25 a 0,10 mm); AG: fração de areia grossa (1,0 a 0,5 mm); AT: areia total; ar: arenosa

Tabela 4. Análises químicas do substrato areia utilizado nos experimentos com o cultivar de soja NA 5909 RG. Piracicaba, São Paulo. 2017.

Determinação	Unidade	Identificação das amostras	
		11038	11039
pH CaCl ₂	-	5,3	5,2
M.O. Colorimétrica	g.dm ³	2	1
P Resina	mg.dm ³	5	6
S Fosfato de cálcio 0,01 mol. L ⁻¹	mg.dm ³	8	7
K Resina	mmolc.dm ³	<0,9	<0,9
Ca Resina	mmolc.dm ³	7	6
Mg Resina	mmolc.dm ³	2	2
Al KCl 1 mol. L ⁻¹	mmolc.dm ³	<2	<2
H + Al SMP	mmolc.dm ³	9	9
SB	mmolc.dm ³	9,1	8,3
CTC	mmolc.dm ³	18,1	17,3
V	%	50	48
m	%	10	11

M.O.: matéria orgânica. SB: soma de base trocáveis. CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação da CTC por bases. m: saturação de alumínio. (<): menor do que o Limite de Quantificação.

Figura 12. Temperaturas (°C) mínima e máxima diárias do no interior da casa de vegetação durante os dias de condução dos experimentos com o cultivar de soja NA 5909 RG. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 13. Umidade relativa (%) média diária do no interior da casa de vegetação durante os dias de condução dos experimentos com o cultivar de soja NA 5909 RG. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 14. Representação gráfica da perda relativa (Θ , %) no controle e nos diferentes tratamentos de semente de soja (cv. NA 5909 RG) aos 7 dias após a semeadura em casa-de-vegetação. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 15. Representação gráfica da perda relativa (Θ , %) no controle e nos diferentes tratamentos de semente de soja (cultivar NA 5909 RG) aos 12 dias após a semeadura em casa-de-vegetação. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 16. Representação gráfica da perda acumulada relativa (μ , %) no controle e nos diferentes tratamentos de semente de soja (cultivar NA 5909 RG) aos 7 dias após a semeadura em casa-de-vegetação. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 17. Representação gráfica da perda acumulada relativa (μ , %) no controle e nos diferentes tratamentos de semente de soja (cultivar NA 5909 RG) aos 12 dias após a semeadura em casa-de-vegetação. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 18. Representação gráfica da deficiência hídrica relativa (Δ , %) no controle e nos diferentes tratamentos de semente de soja (cultivar NA 5909 RG) aos 7 dias após a semeadura em casa-de-vegetação. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 19. Representação gráfica da deficiência hídrica relativa (Δ , %) no controle e nos diferentes tratamentos de semente de soja (cultivar NA 5909 RG) aos 12 dias após a semeadura em casa-de-vegetação. BASF. Santo Antônio de Posse, São Paulo. 2017.

Figura 20. Plântulas de soja coletadas no experimento aos 12 DAS. As plântulas da linha superior se referem às bandejas sem estresse hídrico (SE), enquanto às da linha inferior às bandejas com estresse hídrico (CE). a) T₁ (Testemunha); b) T₂ (Piraclostrobina); c) T₃ (Fluxapiroxade); T₄ (Mefentrifluconazole); T₅ (Broflanilide); T₆ (*Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600) e T₇ (polímero funcional BAS 364 27 S).

4.2 Emergência e índice de velocidade de emergência (IVE)

Na avaliação da qualidade de um mesmo lote de sementes, os tratamentos que apresentam maior velocidade na emergência de plântulas são os mais vigorosos. A velocidade de emergência é um dos conceitos mais antigos de vigor de sementes (AOSA, 1983), e se baseia no princípio de que há relação direta entre a velocidade e o vigor de sementes (ABRATES, 1999).

Na Tabela 5 são apresentadas a emergência e o IVE no experimento até os 7 DAS. Os valores de emergência e IVE foram menores em todos os tratamentos sob condição com estresse hídrico. Na condição sem estresse hídrico, o tratamento T₄ e na condição com estresse hídrico, o tratamento T₃ apresentaram os maiores valores para IVE. Não houve diferença estatística entre todos os resultados.

Os resultados para o experimento até o 12 DAS se encontram na Tabela 6. Os valores sob estresse hídrico foram menores para emergência e IVE, com exceção para o tratamento T₂ aos 10, 11 e 12 DAS e tratamento T₃ aos 8 DAS para a emergência. Em ambas condições hídricas o tratamento T₆ apresentou o maior valor para IVE, porém sem diferenças estatísticas em relação aos demais tratamentos.

As diferenças do IVE encontrado entre os tratamentos dentro de cada condição hídrica em ambos experimentos não foram significativas, não sendo possível distinguir diferenças entre os tratamentos analisados. Brown e Mayer (1986) também verificaram que o IVE pode nem sempre mensurar diferenças entre tratamentos ou lotes, podendo ser obtidos valores semelhantes para tratamentos com comportamentos distintos quanto ao vigor de sementes. Neste caso, a análise de comprimento de plântulas pode ser mais sensível para diferenciar tratamentos ou lotes de sementes com diferenças sutis e apresentam uma correlação positiva com a emergência de plântulas de soja em campo, conforme demonstrado nos estudos de Vanzolini et al. (2007) e de Marcos-Filho et al. (2009).

Tabela 5. Porcentagem de plântulas emergidas (normais e anormais) no teste de emergência em areia e índice de velocidade de emergência (IVE) para os diferentes tratamentos de sementes no cultivar de soja NA 5909 RG sob condições sem (PE_{SE}, %) e com estresse hídrico (PE_{CE}, %) aos 6 (8 de junho de 2017) e 7 (9 de junho de 2017) DAS. Os resultados são as médias de cada tratamento (TS). A percentagem indica a diferença entre as condições SE e CE (d, %).

TS	6 DAS			7 DAS			IVE		
	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d
T ₁	80 ^a	58 ^a	-27,5	82 ^a	68 ^a	-17,1	13,6 ^a	11,1 ^a	-18,4
T ₂	84 ^a	70 ^a	-16,7	88 ^a	70 ^a	-20,5	14,6 ^a	11,8 ^a	-19,2
T ₃	82 ^a	66 ^a	-19,5	84 ^a	76 ^a	-9,5	14,0 ^a	12,4 ^a	-11,4
T ₄	92 ^a	70 ^a	-23,9	92 ^a	72 ^a	-21,7	15,4 ^a	11,9 ^a	-22,7
T ₅	84 ^a	68 ^a	-19,0	88 ^a	70 ^a	-20,5	14,6 ^a	11,5 ^a	-21,2
T ₆	90 ^a	68 ^a	-24,4	92 ^a	70 ^a	-23,9	15,1 ^a	11,7 ^a	-22,5
T ₇	86 ^a	64 ^a	-25,6	88 ^a	74 ^a	-15,9	14,7 ^a	12,0 ^a	-18,4
CV ¹ (%)	7,5	21,3		7,5	16,7		6,5	20,9	

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguidas da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. Dados de germinação transformados por arco seno da raiz quadrada. ¹ CV: Coeficiente de variação (%).

Tabela 6. Porcentagem de plântulas emergidas (normais e anormais) no teste de emergência em areia e índice de velocidade de emergência (IVE) para os diferentes tratamentos de sementes no cultivar de soja NA 5909 RG sob condições sem (PE_{SE}, %) e com estresse hídrico (PE_{CE}, %) dos 6 (8 de junho de 2017) e 12 (14 de junho de 2017) DAS. Os resultados são as médias de cada tratamento (TS). A percentagem indica a diferença entre as condições SE e CE (d, %).

TS	6 DAS			7 DAS			8 DAS			9 DAS			10 DAS			11 DAS			12 DAS			IVE		
	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d	PE _{SE}	PE _{CE}	d
T ₁	57 ^a	48 ^a	-16	82 ^a	77 ^a	-6,1	89 ^a	84 ^a	-5,6	91 ^a	85 ^a	-6,6	92 ^a	89 ^a	-3,3	92 ^a	89 ^a	-3,3	92 ^a	89 ^a	-3,3	13,9 ^a	13,7 ^a	-1,4
T ₂	47 ^a	38 ^a	-19	79 ^a	68 ^a	-14	87 ^a	82 ^a	-5,7	88 ^a	87 ^a	-1,1	89 ^a	90 ^a	1,1	89 ^a	91 ^a	2,2	90 ^a	93 ^a	3,3	13,6 ^a	13,4 ^a	-1,5
T ₃	52 ^a	46 ^a	-12	87 ^a	72 ^a	-17	94 ^a	79 ^a	-16	95 ^a	84 ^a	-12,0	95 ^a	87 ^a	-8,4	95 ^a	88 ^a	-7,4	95 ^a	94 ^a	-1,1	14,5 ^a	13,4 ^a	-7,6
T ₄	49 ^a	45 ^a	-8,2	80 ^a	68 ^a	-15	91 ^a	82 ^a	-9,9	93 ^a	84 ^a	-9,7	94 ^a	89 ^a	-5,3	94 ^a	90 ^a	-4,3	95 ^a	90 ^a	-5,3	14,2 ^a	13,4 ^a	-5,6
T ₅	55 ^a	38 ^a	-31	81 ^a	78 ^a	-3,7	90 ^a	86 ^a	-4,4	95 ^a	87 ^a	-8,4	95 ^a	91 ^a	-4,2	96 ^a	91 ^a	-5,2	97 ^a	92 ^a	-5,2	14,3 ^a	14,0 ^a	-2,1
T ₆	61 ^a	49 ^a	-20	83 ^a	81 ^a	-2,4	89 ^a	90 ^a	1,1	93 ^a	93 ^a	0,0	94 ^a	93 ^a	-1,1	95 ^a	94 ^a	-1,1	96 ^a	95 ^a	-1,0	14,6 ^a	14,5 ^a	-0,7
T ₇	43 ^a	25 ^a	-42	89 ^a	74 ^a	-17	94 ^a	84 ^a	-11,0	95 ^a	86 ^a	-9,5	95 ^a	87 ^a	-8,4	96 ^a	87 ^a	-9,4	96 ^a	87 ^a	-9,4	14,1 ^a	13,2 ^a	-6,4
CV ¹	20,0	20,1		10,5	13,5		8,4	10,1		7,0	7,0		7,7	6,0		8,4	5,9		8,2	5,1		5,8	6,9	

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguida da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. Dados de germinação transformados por arco seno da raiz quadrada. ¹ CV: Coeficiente de variação (%).

4.3 Arquitetura e crescimento das plântulas

O crescimento das plântulas de soja do cultivar NA 5909 RG nos experimentos aos 7 DAS e 12 DAS na condição sem e com estresse hídrico foi analisado através da massa de matéria seca da parte aérea (MMSpa) e da massa de matéria seca da raiz (MMSr) (Tabelas 2 e 7), buscando mensurar os efeitos do tratamento de sementes no crescimento da plântula sob irrigação adequada e com deficiência hídrica.

A arquitetura das plantas de soja do cultivar NA 5909 RG nos experimentos aos 7 DAS e 12 DAS na condição sem e com estresse hídrico foi analisada através das variáveis de comprimento de parte aérea (Cpa), área projetada da parte aérea (APpa), comprimento do somatório das raízes (Cr), volume das raízes (VOLr), área projetada das raízes (APr) e de ligações das raízes (APLr), diâmetro médio das raízes (DIAMr) e de ligações das raízes (DIAMr), número do somatório de ligações entre as ligações e sua base (CTRAEXTr), comprimento do eixo principal (CEIXPr), altitude do sistema radicular (ALTr), magnitude do sistema radicular (MAGr), número de bifurcações das raízes (BIFr) e ângulo médio de ligações das raízes (ANGLr) (Tabelas 2, 7, 8, 9, 10 e 11).

Para todas as variáveis foram considerados os maiores valores como os melhores resultados para um determinado tratamento de sementes dentro de uma variável analisada. Em seguida, as variáveis foram utilizadas na composição de dois índices permitindo comparar o desempenho médio e agronômico dos tratamentos sem e com estresse hídrico com relação a testemunha (tratamento T₁) e aos demais tratamentos.

4.3.1 Experimento aos 7 DAS em condição sem estresse hídrico

Os valores de MMSpa, Cpa, APpa e MMSr estão descritos na Tabela 7. O tratamento T₂ apresentou os maiores valores de crescimento na avaliação de MMSpa (0,115 g) e MMSr (0,009 g), porém sem diferença significativa entre os tratamentos. Nas variáveis Cpa e APpa, a testemunha T₁ (5,08 cm e 1,11 cm², respectivamente) obteve os maiores valores, diferindo significativamente somente do tratamento T₆ (4,66 cm e 1,00 cm², respectivamente) (Tabela 7).

Na Tabela 8 se encontram os valores para as variáveis Cr, VOLr, APr e DIAMr. O tratamento T₆ apresentou o maior valor para as variáveis Cr (20,40 cm), VOLr (0,111 cm³) e APr (1,69 cm²), diferindo significativamente em relação ao tratamento T₃ (17,47 cm) para Cr, T₅ (0,099 cm³) para VOLr e T₄ (1,51 cm²) e T₃ (1,50 cm²) para APr. Com relação ao DIAMr, o tratamento T₇ (0,59 mm) apresentou o maior valor, sem diferença significativa em relação aos tratamentos T₁ (0,50 mm) e T₂ (0,57 mm).

Para a variável CTRAEXTr, o tratamento T₇ (154,58) apresentou o maior valor, sem diferença significativa em relação aos demais tratamentos, sendo que todos os tratamentos obtiveram valores maiores que o tratamento T₁ (136,68). Com relação à variável CEIXPr, o tratamento T₆ (7,10 cm) obteve o maior valor, porém diferindo significativamente somente do tratamento T₄ (5,91 cm) (Tabela 9).

Os valores para ALTr, MAGr e BIFr se encontram na Tabela 10. Para a variável ALTr o tratamento T₆ (14,10 cm) e para a variável BIFr o tratamento T₅ (25,69) apresentaram os maiores valores, porém sem diferença estatística em relação aos demais tratamentos. Para a variável MAGr, o tratamento T₇ (21,21) apresentou o maior valor, diferindo significativamente dos tratamentos T₄ (18,25), T₁ (18,17) e T₂ (17,40).

Na Tabela 11 estão descritos os valores de CLr, APLr, DIAMr e ANGLr. O tratamento T₅ apresentou os maiores valores para CLr (0,44 cm) e DIAMr (47,17 mm), com diferença significativa com relação ao tratamento T₆ (0,41 cm) para a variável CLr e ao tratamento T₃ (0,63 mm) para a variável DIAMr. Para as variáveis APLr e ANGLr o tratamento T₁ apresentou os maiores valores (0,025 cm² e 48,53 graus, respectivamente), com diferença significativa para os tratamentos T₃ (0,021 cm²) e T₆ (0,022 cm²) para a variável APLr e para o tratamento T₄ (46,11 graus) para a variável ANGLr.

4.3.2 Experimento aos 7 DAS em condição com estresse hídrico

Os valores das variáveis MMSpa, Cpa, APpa e MMSr foram menores em relação àqueles para a condição sem estresse hídrico. O tratamento T₅ obteve o maior valor para MMSpa (0,094 g) sem diferença significativa em relação aos demais tratamentos. O valor do Cpa e da APpa do tratamento T₆ foi significativamente maior em comparação aos demais tratamentos (3,54 cm e 0,74 cm², respectivamente). Para MMSr, o tratamento T₅ (valor aproximado para 0,007 g)

se destaca com o maior valor, porém sem diferença significativa em relação aos demais tratamentos (Tabela 7).

Para as variáveis Cr, VOLr e APr os valores foram menores e para DIAMr os valores foram maiores em relação àqueles obtidos na condição sem estresse hídrico. O tratamento T₆ obteve os maiores valores nas variáveis Cr (15,52 cm), VOLr (0,104 cm³) e APr (1,42 cm²), diferindo significativamente em relação às variáveis Cr e APr dos tratamentos T₁ (12,97 cm e 1,25 cm² respectivamente) e T₄ (11,19 cm e 1,11 cm², respectivamente) e de tratamento T₄ (0,089 cm³) para VOLr. Para DIAMr o valor do tratamento T₁ (0,71 mm) foi significativamente maior em relação aos demais tratamentos (Tabela 8).

Os valores de CTRAEXTr e CEIXPr foram menores em relação aos valores da condição sem estresse hídrico, com exceção para os tratamentos T₃ e T₅ para CTRAEXTr. O tratamento T₅ (174,53) apresentou o maior valor para CTRAEXTr de maneira significativa em relação aos demais tratamentos. Para a variável CEIXPr o tratamento T₇ (5,90 cm) apresentou o maior valor, contudo diferindo significativamente somente do tratamento T₄ (3,95 cm) (Tabela 9).

Os valores de ALTr, MAGr e BIFr em condição de estresse hídrico foram menores em relação aos valores sem estresse hídrico, com exceção para os tratamentos T₃ e T₅ para ALTr e BIFr e tratamentos T₂ e T₅ para MAGr. O tratamento T₅ apresentou o maior valor para ALTr (15,20 cm), MAGr (21,08) e BIFr (25,69), sem diferença significativa em relação aos tratamentos T₃ (14,11 cm) e T₂ (13,02 cm) para a variável ALTr, tratamentos T₇ (20,17), T₂ (19,42), T₆ (19,14) e T₃ (18,64) para a variável MAGr e tratamento T₃ (25,34) para BIFr (Tabela 10).

Para as variáveis CLr e APLr os tratamentos apresentaram valores inferiores àqueles em condição sem estresse hídrico, com exceção do tratamento T₃ para a variável APLr. Os valores da variável DIAMr foram maiores em relação à condição sem estresse hídrico para todos os tratamentos, enquanto que para a variável ANGLr os tratamentos T₁, T₂ e T₃ obtiveram valores menores e os tratamentos T₄, T₅, T₆ e T₇ valores maiores em relação à condição sem estresse hídrico. O tratamento T₅ apresentou os maiores valores para as variáveis CLr (0,42 cm) e APLr (valor aproximado de 0,023 cm²), com diferença significativa em relação aos demais tratamento para a variável CLr e sem diferença significativa aos demais tratamentos para a variável APLr. Para a variável DIAMr o tratamento T₁ (0,77 mm) obteve o maior valor com diferença significativa aos demais tratamentos. Para a variável

ANGLr o tratamento T₄ (48,72 graus) apresentou maior valor, porém sem diferenças significativas em relação aos demais tratamentos (Tabela 11).

4.3.3 Experimento aos 12 DAS em condição sem estresse hídrico

Não houve diferença significativa entre os tratamentos nas variáveis MMSpa e MMSr, sendo os maiores valores apresentados pelo tratamento T₄ (0,148 g) e o tratamento T₂ (0,032 g) respectivamente. Para as variáveis Cpa e APpa, os tratamentos T₇ (8,43 cm) e T₃ (1,58 cm²) respectivamente, obtiveram valores significativamente maiores em relação aos demais tratamentos (Tabela 7).

Na Tabela 8 se encontram os valores das variáveis Cr, VOLr, APr e DIAMr. O tratamento T₄ apresentou os maiores valores para Cr (146,28 cm) e DIAMr (0,93 mm), com diferença significativa em relação aos tratamentos T₁ (133,19 cm) e T₅ (126,68 cm) para Cr e aos tratamentos T₅ (0,86 mm), T₆ (0,86 mm) e T₇ (0,85 mm) para DIAMr. O tratamento T₇ se destacou com os maiores valores em VOLr (0,383 cm³) e APr (8,36 cm²), com diferenças significativas em relação ao tratamento T₂ (0,344 cm³), T₁ (0,340 cm³), T₆ (0,340 cm³) e T₅ (0,299 cm³) para VOLr e T₁ (7,56 cm²) e T₅ (6,94 cm²) para APr.

Na Tabela 9 se encontram os valores para as variáveis CTRAEXTr e CEIXPr. O tratamento T₃ apresentou os maiores valores para CTRAEXTr (1105,05) e CEIXPr (14,87 cm), com diferença significativa somente para o tratamento T₅ em ambas variáveis (789,39 e 11,90 cm, respectivamente).

O tratamento T₃ se destaca com os maiores valores para as variáveis ALTr (34,23 cm) e MAGr (80,61), com diferença significativa em relação ao tratamento T₅ (27,39 cm) para a variável ALTr e aos tratamentos T₅ (62,26) e T₆ (64,58) para a variável MAGr. Para a variável BIFr, o tratamento T₇ (241,11 cm) apresentou o maior valor, diferindo estatisticamente dos tratamentos T₁ (203,79) e T₅ (192,35) (Tabela 10).

Para as variáveis CLr e APLr não houve diferença significativa entre os tratamentos, com o tratamento T₁ (0,50 cm) para a variável CLr e os tratamentos T₁ (0,041 cm²), T₂ (0,041 cm²) e T₃ (0,041 cm²) para a variável APLr apresentando os maiores valores. Para a variável DIAMr o tratamento T₄ (1,01 mm) obteve o maior valor, sendo superior aos tratamentos T₅ (0,93 mm), T₆ (0,93 mm) e T₇ (0,93 mm) e sem diferença significativa com relação aos tratamentos T₁ (0,97 mm), T₂ (0,98 mm)

e T₃ (0,97 mm). Com relação à variável ANGLr, o tratamento T₇ (52,55 graus) apresentou o maior valor, com diferença significativa somente em relação ao tratamento T₁ (51,11 graus) (Tabela 11).

4.3.4 Experimento aos 12 DAS em condição com estresse hídrico

Os valores das variáveis MMSpa, Cpa, APpa e MMSr foram menores em relação àqueles para a condição sem estresse hídrico. Os tratamentos T₄ (0,120 g) e T₅ (0,120 g) para MMSpa e o tratamento T₆ (0,028 g) para MMSr apresentaram os maiores valores, porém sem diferença estatísticas aos demais tratamentos. O tratamento T₃ (6,74 cm) obteve valor significativamente maior somente em relação ao tratamento T₄ (5,90 cm) para a variável Cpa, enquanto que o tratamento T₅ (1,30 cm²) apresentou o maior valor para a variável APpa, sem diferir significativamente em relação ao tratamento T₆ (1,22 cm²) e diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 7).

Para as variáveis Cr e APr os valores foram menores em relação aqueles da condição sem estresse hídrico, com exceção dos tratamentos T₅ para Cr e APr e tratamento T₆ para APr. Para VOLr e DIAMr os valores foram maiores, com exceção dos tratamentos T₁ e T₄ para VOLr, em relação aos valores obtidos na condição sem estresse hídrico. O tratamento T₅ apresentou os maiores valores para as variáveis Cr (135,82 cm), VOLr (0,413 cm³) e APr (8,40 cm²), sem diferir de forma significativa do tratamento T₆ para Cr (125,49 cm) e APr (7,85 cm²) e dos tratamentos T₇ (0,412 cm³), T₂ (0,392 cm³) e T₆ (0,388 cm³) para VOLr. Para DIAMr, o tratamento T₄ (1,05 mm) apresentou valor significantemente maior em relação aos demais tratamentos (Tabela 8).

Os tratamentos T₁ e T₄ para CTRAEXTr e os tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄ para CEIXPr apresentaram valores menores em relação a condição sem estresse hídrico. O tratamento T₃ (1198,91) apresentou o maior valor para a variável CTRAEXTr, diferindo significativamente somente dos tratamentos T₁ (887,85) e T₄ (891,20). Para a variável CEIXPr o tratamento T₅ (16,28 cm) apresentou o maior valor, sem diferença significativa em relação ao tratamento T₆ (14,67 cm) e com diferença significativa aos demais tratamentos (Tabela 9).

Na Tabela 10 pode-se verificar que os valores dos tratamentos para as variáveis MAGr e BIFr foram menores em relação à condição sem estresse hídrico,

com exceções para os tratamentos T₅ e T₆ para MAGr e T₅ para BIFr. Para a variável ALTr, os valores foram maiores em relação à condição sem estresse hídrico, excetuando-se os tratamentos T₁ e T₄. O tratamento T₅ apresentou os maiores valores para as variáveis ALTr (37,33 cm) e BIFr (213,26), com diferença significativa com relação aos tratamentos T₁ (32,34 cm) e T₃ (36,54 cm) para ALTr e os tratamentos T₁ (161,24) e T₄ (183,17) para BIFr. Para a variável MAGr, o tratamento T₃ (76,82) apresentou o maior valor, sem diferença significativa apenas com relação ao tratamento T₅ (71,41).

Os valores dos tratamentos para as variáveis CLr, APLr, DIAMr e ANGLr foram menores em relação àqueles sem estresse hídrico, com exceção para o tratamento T₁ para a variável APLr, os tratamentos T₄, T₆ e T₇ para a variável DIAMr e os tratamentos T₁ e T₅ para ANGLr. O tratamento T₁ apresentou os maiores valores para CLr (0,49 cm) e APLr (0,047 cm²), sem diferença significativa com relação aos tratamentos T₆ (0,43 cm) e T₇ (0,43 cm) para a variável CLr e com diferença estatística aos demais tratamentos para a variável APLr. O tratamento T₄ (1,05 mm) apresentou o maior valor para a variável DIAMr diferindo significativamente dos demais tratamentos. Para a variável ANGLr, o tratamento T₆ (52,00 graus) apresentou o maior valor sem diferença significativa em relação aos demais tratamentos (Tabela 11).

Tabela 7. Comparação do crescimento e arquitetura no cultivar de soja NA 5909 RG sob condições sem (SE) e com estresse hídrico (CE) aos 7 e 12 DAS.

Os resultados são as médias de cada tratamento de sementes (TS). A percentagem indica a diferença entre as condições SE e CE (d, %).

TS	MMSpa (g)			Cpa (cm)			APpa (cm ²)			MMSr (g)			
	SE	CE	d	SE	CE	d	SE	CE	d	SE	CE	d	
7 DAS	T ₁	0,096 ^a	0,084 ^a	-12,5	5,08 ^a	2,51 ^c	-50,6	1,11 ^a	0,49 ^d	-55,9	0,007 ^a	0,006 ^a	-7,4
	T ₂	0,115 ^a	0,078 ^a	-32,5	4,93 ^{ab}	2,59 ^c	-47,5	1,10 ^a	0,52 ^{cd}	-52,7	0,009 ^a	0,007 ^a	-14,7
	T ₃	0,104 ^a	0,087 ^a	-16,3	4,83 ^{ab}	2,76 ^{bc}	-42,9	1,05 ^{ab}	0,56 ^{bcd}	-46,7	0,007 ^a	0,006 ^a	-16,8
	T ₄	0,110 ^a	0,080 ^a	-27,1	4,79 ^{ab}	2,91 ^b	-39,2	1,06 ^{ab}	0,59 ^b	-44,3	0,007 ^a	0,007 ^a	-3,8
	T ₅	0,112 ^a	0,094 ^a	-15,8	4,81 ^{ab}	2,64 ^{bc}	-45,1	1,04 ^{ab}	0,53 ^{bcd}	-49,0	0,008 ^a	0,007 ^a	-15,4
	T ₆	0,094 ^a	0,091 ^a	-2,9	4,66 ^b	3,54 ^a	-24,0	1,00 ^b	0,74 ^a	-26,0	0,007 ^a	0,007 ^a	0,0
	T ₇	0,095 ^a	0,092 ^a	-3,0	5,04 ^a	2,81 ^{bc}	-44,2	1,09 ^a	0,58 ^{bc}	-46,8	0,007 ^a	0,007 ^a	-3,4
CV ¹ (%)	15,7	22,3		21,2	34,4		24,6	39,3		20,2	26,6		
12 DAS	T ₁	0,139 ^a	0,119 ^a	-14,4	7,47 ^{bc}	6,10 ^{ab}	-18,3	1,49 ^b	1,16 ^{bc}	-22,1	0,025 ^a	0,022 ^a	-8,0
	T ₂	0,121 ^a	0,111 ^a	-8,3	6,94 ^c	5,92 ^{ab}	-14,7	1,39 ^c	1,12 ^{cd}	-19,4	0,032 ^a	0,022 ^a	-30,0
	T ₃	0,122 ^a	0,116 ^a	-4,9	7,93 ^{ab}	6,74 ^a	-15,0	1,58 ^a	1,13 ^{cd}	-29,1	0,030 ^a	0,024 ^a	-19,9
	T ₄	0,148 ^a	0,120 ^a	-18,9	7,37 ^{bc}	5,90 ^b	-19,9	1,43 ^{bc}	1,16 ^{bc}	-19,6	0,031 ^a	0,027 ^a	-13,9
	T ₅	0,121 ^a	0,120 ^a	-1,6	7,24 ^c	6,73 ^{ab}	-7,1	1,45 ^{bc}	1,30 ^a	-10,4	0,030 ^a	0,026 ^a	-13,3
	T ₆	0,122 ^a	0,117 ^a	-4,1	7,57 ^{bc}	6,49 ^{ab}	-14,3	1,41 ^{bc}	1,22 ^{ab}	-13,5	0,029 ^a	0,028 ^a	-2,5
	T ₇	0,119 ^a	0,118 ^a	-0,8	8,43 ^a	6,20 ^{ab}	-26,5	1,43 ^{bc}	1,04 ^d	-27,3	0,028 ^a	0,024 ^a	-11,4
CV ¹ (%)	15,8	6,5		29,1	45,5		20,5	24,8		21,0	11,6		

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguida da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. ¹ CV: Coeficiente de variação (%). MMSpa: Massa de matéria seca de parte aérea. Cpa: Comprimento de parte aérea. APpa: Área projetada de parte aérea. MMSr: Massa de matéria seca das raízes.

Tabela 8. Comparação da arquitetura no cultivar de soja NA 5909 RG sob condições sem (SE) e com estresse hídrico (CE) aos 7 e 12 DAS. Os resultados são as médias de cada tratamento de sementes (TS). A porcentagem indica a diferença entre as condições SE e CE (d, %).

TS		Cr (cm)			VOLr (cm ³)			APr (cm ²)			DIAMr (mm)		
		SE	CE	d	SE	CE	d	SE	CE	d	SE	CE	d
7 DAS	T ₁	18,72 ^{ab}	12,97 ^{bc}	-30,7	0,110 ^a	0,097 ^{ab}	-17,7	1,61 ^{ab}	1,25 ^b	-22,4	0,58 ^{ab}	0,71 ^a	22,4
	T ₂	18,45 ^{ab}	13,97 ^{ab}	-24,3	0,105 ^{ab}	0,095 ^{ab}	-9,5	1,56 ^{ab}	1,29 ^{ab}	-17,3	0,57 ^{abc}	0,66 ^b	15,8
	T ₃	17,47 ^b	13,96 ^{ab}	-20,1	0,103 ^{ab}	0,103 ^a	-0,5	1,50 ^b	1,35 ^{ab}	-10,0	0,56 ^{bc}	0,62 ^c	10,7
	T ₄	17,81 ^{ab}	11,19 ^c	-37,2	0,103 ^{ab}	0,089 ^b	-14,0	1,51 ^b	1,11 ^c	-26,5	0,56 ^c	0,66 ^b	17,9
	T ₅	18,96 ^{ab}	14,70 ^{ab}	-22,5	0,099 ^b	0,102 ^a	-3,0	1,53 ^{ab}	1,37 ^{ab}	-10,5	0,56 ^{bc}	0,63 ^c	12,5
	T ₆	20,40 ^a	15,52 ^a	-23,9	0,111 ^a	0,104 ^a	-6,7	1,69 ^a	1,42 ^a	-16,0	0,57 ^{bc}	0,63 ^c	10,5
	T ₇	19,33 ^{ab}	14,23 ^{ab}	-26,4	0,103 ^{ab}	0,098 ^{ab}	-5,8	1,59 ^{ab}	1,32 ^{ab}	-17,0	0,59 ^a	0,68 ^b	15,3
CV ¹ (%)		45,8	43,5		28,6	30,3		35,6	35,1		16,3	11,5	12,6
12 DAS	T ₁	133,19 ^{bc}	95,07 ^d	-28,6	0,340 ^b	0,339 ^c	-0,2	7,56 ^{bc}	6,36 ^c	-15,9	0,90 ^{abc}	1,00 ^b	11,1
	T ₂	136,70 ^{abc}	118,22 ^b	-13,5	0,344 ^b	0,392 ^{ab}	14,1	7,69 ^{ab}	7,63 ^b	-0,8	0,90 ^{ab}	0,95 ^d	5,6
	T ₃	145,01 ^{ab}	123,99 ^b	-14,5	0,356 ^{ab}	0,367 ^{bc}	3,2	8,07 ^{ab}	7,58 ^b	-6,1	0,89 ^{abcd}	1,00 ^{bc}	12,4
	T ₄	146,28 ^a	106,10 ^{cd}	-27,5	0,352 ^{ab}	0,352 ^c	-0,1	8,04 ^{ab}	6,83 ^c	-15,0	0,93 ^a	1,05 ^a	12,9
	T ₅	126,68 ^c	135,82 ^a	7,2	0,299 ^c	0,413 ^a	37,8	6,94 ^c	8,40 ^a	21,0	0,86 ^{cd}	0,97 ^{bcd}	12,8
	T ₆	138,86 ^{abc}	125,49 ^{ab}	-9,6	0,340 ^b	0,388 ^{ab}	14,1	7,72 ^{ab}	7,85 ^{ab}	1,7	0,86 ^{bcd}	0,95 ^d	10,5
	T ₇	144,55 ^{ab}	114,00 ^{bc}	-21,1	0,383 ^a	0,412 ^a	7,8	8,36 ^a	7,70 ^b	-7,9	0,85 ^d	0,96 ^{cd}	12,9
CV ¹ (%)		32,9	33,9		31,4	29,4		30,8	30,2		11,5	16,3	13,3

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguida da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. ¹ CV: Coeficiente de variação (%). Cr: comprimento do somatório das raízes. VOLr: Volume das raízes. APr: Área projetada das raízes. DIAMr: Diâmetro médio das raízes.

Tabela 9. Comparação da arquitetura no cultivar de soja NA 5909 RG sob condições sem (SE) e com estresse hídrico (CE) aos 7 e 12 DAS. Os resultados são as médias de cada tratamento de sementes (TS). A percentagem indica a diferença entre as condições SE e CE (d, %).

	TS	CTRAEXTr			CEIXPr (cm)		
		SE	CE	d	SE	CE	d
7 DAS	T ₁	136,68 ^a	112,45 ^{cd}	-17,7	6,92 ^{ab}	5,83 ^a	-15,8
	T ₂	140,94 ^a	140,70 ^{abc}	-0,2	6,66 ^{ab}	5,36 ^a	-19,5
	T ₃	144,59 ^a	152,76 ^{ab}	5,7	6,14 ^{ab}	5,68 ^a	-7,5
	T ₄	137,24 ^a	84,19 ^d	-38,7	5,91 ^b	3,95 ^b	-33,2
	T ₅	154,45 ^a	174,53 ^a	13,0	6,20 ^{ab}	5,73 ^a	-7,6
	T ₆	152,55 ^a	136,75 ^{bc}	-10,4	7,10 ^a	5,63 ^a	-20,7
	T ₇	154,58 ^a	142,97 ^{abc}	-7,5	6,73 ^{ab}	5,90 ^a	-12,3
	CV ¹ (%)	57,7	84,1		54,3	55,7	
12 DAS	T ₁	998,39 ^a	887,85 ^b	-10,8	13,94 ^{ab}	12,96 ^{bc}	-7,0
	T ₂	1070,50 ^a	1086,61 ^a	1,5	14,84 ^a	13,86 ^{bc}	-6,6
	T ₃	1105,05 ^a	1198,91 ^a	8,5	14,87 ^a	12,62 ^c	-15,1
	T ₄	1066,29 ^a	891,20 ^b	-16,4	13,03 ^{ab}	12,46 ^c	-4,4
	T ₅	789,39 ^b	1184,92 ^a	49,5	11,90 ^b	16,28 ^a	36,8
	T ₆	953,42 ^a	1113,09 ^a	16,7	14,53 ^a	14,67 ^{ab}	1,0
	T ₇	964,27 ^a	1065,34 ^a	10,5	13,16 ^{ab}	13,63 ^{bc}	3,6
	CV ¹ (%)	55,1	51,8		54,9	45,1	

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguidas da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. ¹ CV: Coeficiente de variação (%). CTRAEXTr: número do somatório de ligações entre a ligação e sua base. CEIXPr: Comprimento do eixo principal.

Tabela 10. Comparação da arquitetura no cultivar de soja NA 5909 RG sob condições sem (SE) e com estresse hídrico (CE) aos 7 e 12 DAS. Os resultados são as médias de cada tratamento de sementes (TS). A percentagem indica a diferença entre as condições SE e CE (d, %).

TS	ALTr (cm)			MAGr			BIFr			
	SE	CE	d	SE	CE	d	SE	CE	d	
7 DAS	T ₁	12,71 ^a	11,47 ^{cd}	-9,8	18,17 ^b	16,75 ^{bc}	-7,8	24,48 ^a	18,39 ^c	-24,9
	T ₂	13,30 ^a	13,02 ^{abc}	-2,1	17,40 ^b	19,42 ^{ab}	11,6	23,67 ^a	20,97 ^{bc}	-11,4
	T ₃	13,53 ^a	14,11 ^{ab}	4,3	19,01 ^{ab}	18,64 ^{ab}	-1,9	23,16 ^a	25,34 ^{ab}	9,4
	T ₄	12,65 ^a	10,28 ^d	-18,7	18,25 ^b	14,88 ^c	-18,5	22,92 ^a	18,42 ^c	-19,6
	T ₅	13,68 ^a	15,20 ^a	11,1	19,79 ^{ab}	21,08 ^a	6,5	25,69 ^a	28,91 ^a	12,5
	T ₆	14,10 ^a	12,74 ^{bc}	-9,6	19,52 ^{ab}	19,14 ^{ab}	-1,9	25,17 ^a	23,65 ^b	-6,0
	T ₇	13,68 ^a	13,08 ^{bc}	-4,4	21,21 ^a	20,17 ^a	-4,9	24,12 ^a	22,2 ^{bc}	-8,0
CV ¹ (%)	46,5	50,0		55,4	50,8		55,4	64,1		
12 DAS	T ₁	32,82 ^a	32,34 ^b	-1,5	68,06 ^{abc}	55,36 ^d	-18,7	203,79 ^{bc}	161,24 ^c	-20,9
	T ₂	34,20 ^a	36,58 ^a	7,0	72,25 ^{abc}	63,94 ^c	-11,5	216,80 ^{abc}	196,63 ^{ab}	-9,3
	T ₃	34,23 ^a	36,54 ^a	6,7	80,61 ^a	76,82 ^a	-4,7	218,73 ^{abc}	209,90 ^a	-4,0
	T ₄	32,81 ^a	32,60 ^b	-0,6	70,44 ^{abc}	53,04 ^d	-24,7	231,74 ^{ab}	183,17 ^{bc}	-21,0
	T ₅	27,39 ^b	37,33 ^a	36,3	62,26 ^c	71,41 ^{ab}	14,7	192,35 ^c	213,26 ^a	10,9
	T ₆	32,20 ^a	35,59 ^{ab}	10,5	64,58 ^{bc}	67,61 ^{bc}	4,7	225,70 ^{abc}	211,24 ^a	-6,4
	T ₇	30,79 ^{ab}	35,40 ^{ab}	15,0	77,09 ^{ab}	68,86 ^{bc}	-10,7	241,11 ^a	191,05 ^{ab}	-20,8
CV ¹ (%)	38,6	32,7		65,2	38,9		56,0	38,9		

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguida da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. ¹ CV: Coeficiente de variação (%). ALTr: Altura do sistema radicular. MAGr: Magnitude do sistema radicular. BIFr: Número de bifurcações das raízes.

Tabela 11. Comparação da arquitetura no cultivar de soja NA 5909 RG sob condições sem (SE) e com estresse hídrico (CE) aos 7 e 12 DAS. Os resultados são as médias de cada tratamento de sementes (TS). A percentagem indica a diferença entre as condições SE e CE (%).

	TS	CLr (cm)			APLr (cm ²)			DIAMLR (mm)			ANGLr (graus)		
		SE	CE	d	SE	CE	d	SE	CE	d	SE	CE	d
7 DAS	T ₁	0,43 ^{ab}	0,39 ^b	-9,3	0,025 ^a	0,023 ^a	-5,5	0,65 ^{ab}	0,77 ^a	18,5	48,53 ^a	47,96 ^a	-1,2
	T ₂	0,42 ^{ab}	0,40 ^b	-4,8	0,024 ^{ab}	0,022 ^a	-6,5	0,65 ^{ab}	0,72 ^b	10,8	47,23 ^{ab}	47,48 ^a	-1,2
	T ₃	0,43 ^{ab}	0,38 ^b	-11,6	0,021 ^c	0,022 ^a	3,2	0,63 ^b	0,69 ^c	9,5	47,23 ^{ab}	47,19 ^a	-0,1
	T ₄	0,42 ^{ab}	0,39 ^b	-7,1	0,023 ^{ab}	0,022 ^a	-7,3	0,65 ^{ab}	0,73 ^b	12,3	46,11 ^b	48,72 ^a	5,7
	T ₅	0,44 ^a	0,42 ^a	-4,6	0,024 ^a	0,023 ^a	-6,3	0,67 ^a	0,68 ^c	1,5	47,17 ^{ab}	47,52 ^a	0,7
	T ₆	0,41 ^b	0,39 ^b	-4,9	0,022 ^{bc}	0,022 ^a	-4,0	0,66 ^a	0,68 ^c	3,0	47,58 ^{ab}	48,24 ^a	1,4
	T ₇	0,41 ^{ab}	0,39 ^b	-4,9	0,024 ^a	0,022 ^a	-8,9	0,65 ^{ab}	0,74 ^b	13,8	46,93 ^{ab}	47,45 ^a	1,1
CV ¹ (%)		32,2	17,8		22,2	30,0		14,6	13,3		12,4	14,9	
12 DAS	T ₁	0,50 ^a	0,49 ^a	-2,0	0,041 ^a	0,047 ^a	12,1	0,97 ^{ab}	0,95 ^b	-2,1	51,11 ^b	51,25 ^a	0,3
	T ₂	0,49 ^a	0,41 ^b	-16,3	0,041 ^a	0,037 ^b	-8,4	0,98 ^{ab}	0,95 ^b	-3,1	51,86 ^{ab}	51,76 ^a	-0,2
	T ₃	0,49 ^a	0,37 ^b	-24,5	0,041 ^a	0,035 ^b	-14,5	0,97 ^{ab}	0,96 ^b	-1,0	51,56 ^{ab}	51,32 ^a	-0,5
	T ₄	0,47 ^a	0,39 ^b	-17,0	0,040 ^a	0,037 ^b	-9,2	1,01 ^a	1,05 ^a	4,0	51,70 ^{ab}	51,97 ^a	0,5
	T ₅	0,46 ^a	0,39 ^b	-15,2	0,037 ^a	0,035 ^b	-4,0	0,93 ^b	0,92 ^b	-1,1	52,45 ^a	51,69 ^a	-1,5
	T ₆	0,49 ^a	0,43 ^{ab}	-12,2	0,039 ^a	0,038 ^b	-1,8	0,93 ^b	0,95 ^b	2,2	52,52 ^a	52,00 ^a	-1,0
	T ₇	0,49 ^a	0,43 ^{ab}	-12,2	0,039 ^a	0,038 ^b	-2,0	0,93 ^b	0,96 ^b	3,2	52,55 ^a	51,49 ^a	-2,0
CV ¹ (%)		32,0	44,2		41,5	61,6		18,5	16,4		8,2	5,5	

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguida da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. ¹ CV: Coeficiente de variação (%). CLr: Comprimento do somatório de ligações das raízes. APLr: Área projetada de ligações das raízes. DIAMLR: Diâmetro médio de ligações das raízes. ANGLr: Ângulo médio de ligações das raízes.

4.4 Índice de Performance Média (IPM) e Índice de Performance Agronômica (IPA)

Atualmente não existe classificação que permita distinguir entre as variáveis da arquitetura do sistema radicular, apesar de alguns trabalhos terem trazido propostas de classificação do sistema radicular baseadas na topologia (FITTER et al., 1991; BODNER et al., 2013). A arquitetura e morfologia das raízes de soja como o ângulo, diâmetro, comprimento, área de superfície e profundidade da raiz, apesar de determinados pela genética da planta (ZHAO et al., 2004; AO et al., 2010), podem ser bastante modificadas sob condições de estresse hídrico, o qual favorece a produção de um grande número de raízes laterais e de pelos radiculares mais longos para aumentar a área de superfície total para uma melhor absorção de água (OSMONT; SIBOUT; HARDTKE, 2007; FENTA et al., 2014).

Neste cenário, a análise de variáveis com distintas unidades de medidas e com comportamentos diferentes se torna complexa e de difícil interpretação, sendo que a utilização de índices baseados em uma referência facilita a comparação e a explicação de determinada condição, simplificando a análise e a interpretação de resultados.

O Índice de Performance Média (IPM) proposto se baseia na utilização da média aritmética dos valores relativos das variáveis de cada tratamento em relação ao tratamento 1 (testemunha). Com relação ao Índice de Performance Agronômica (IPA) foi utilizada a média geométrica para comparar as distintas variáveis que possuem múltiplas propriedades e diferentes escalas numéricas, encontrando uma única figura representativa para cada variável. Em ambos os índices os maiores valores de cada variável analisada foram considerados como os melhores resultados para um determinado tratamento analisado.

Na Tabela 12 e nas Figuras 21 e 22 se encontram os valores do IPM e IPA nos experimentos aos 7 DAS e 12 DAS em condição sem e com estresse hídrico.

No experimento aos 7 DAS em condição sem estresse hídrico, somente os tratamentos T₆ e T₇ apresentaram valores maiores que o tratamento T₁ (100,0%) para o IPM, mas sem diferenças significativas entre todos os tratamentos. Na análise do IPA, o tratamento T₆ apresentou o maior valor (95,0%), diferindo do tratamento T₄ (88,6%) e sem diferenças estatísticas para o tratamento T₁ (92,6%%) e demais tratamentos.

No experimento aos 7 DAS em condição de estresse hídrico, com exceção do tratamento T₄ (93,6%) que foi significativamente inferior ao tratamento T₁ (100,0%), os demais tratamentos obtiveram valores maiores que o tratamento T₁ para o IPM, com os tratamentos T₆ (110,7%) e T₅ (110,5%) com os maiores valores sem diferenças estatísticas com relação aos tratamentos T₃ (106,3%) e T₇ (105,9%). Na avaliação do IPA, novamente com exceção do tratamento T₄ (84,6%) com valor significativamente inferior ao tratamento T₁ (91,3%), os demais tratamentos apresentaram valores superiores ao tratamento T₁, com o maior valor para o tratamento T₆ (99,6%) com diferença significativa somente com relação aos tratamentos T₁ e T₄ (84,6%).

Os resultados nas condições sem e com estresse hídrico no experimento aos 7 DAS demonstraram um efeito positivo na utilização do Broflanilide (tratamento T₆) no tratamento de sementes, porém há poucos estudos sobre os efeitos fisiológicos do Broflanilide no desenvolvimento inicial das plantas, indicando a necessidade de se investigar em mais detalhes estes efeitos.

No experimento aos 12 DAS em condição sem estresse hídrico somente os tratamentos T₅ (93,6%) e T₆ (99,1%) obtiveram valores inferiores ao tratamento T₁ (100,0%), sendo a diferença significativa para o tratamento T₅ em relação ao tratamento T₁. O tratamento T₃ (104,7%) apresentou o maior valor, sem diferença significativa com relação aos tratamentos T₂ (101,7%), T₇ (101,7%) e T₁ (100,0%) e com diferença significativa em relação aos demais tratamentos. Na análise do IPA, o tratamento T₅ (87,0%) foi significativamente inferior ao tratamento T₁ (93,8%), com os demais tratamentos com valores maiores que o tratamento T₁. O tratamento T₃ (99,8%) obteve o maior valor com diferença significativa em relação aos tratamentos T₇ (94,0%), T₁ (93,8%) e T₅ (87,0%) e sem diferenças significativas em relação aos demais tratamentos.

O melhor resultado do Fluxapíroxade (tratamento T₅) no experimento aos 12 DAS em condição sem estresse hídrico pode estar relacionado com suas características de sistemicidade intermediária e de translocação rápida no sentido acropetal, com um aumento desta translocação ao longo das horas para a cultura da soja (SANTOS, 2016). Estas características podem ter favorecido com que as plântulas apresentassem os efeitos positivos do Fluxapíroxade somente no experimento aos 12 DAS e em condição sem estresse hídrico.

No experimento aos 12 DAS em condição de estresse hídrico, todos os tratamentos apresentaram valores maiores que o tratamento T₁ (100,0%) na análise do IPM, com o tratamento T₅ (116,2%) com o maior valor, sem diferença significativa em relação ao tratamento T₆ (110,4%) e com diferenças significativas em relação aos demais tratamentos. Na análise do IPA, todos os tratamentos apresentaram valores superiores ao tratamento T₁ (95,8%), sendo o tratamento T₅ (110,6%) o que apresentou o maior valor, sem diferença significativa para o tratamento T₆ (105,7%) e com diferenças significativas com relação aos demais tratamentos.

Os efeitos positivos do tratamento T₅ (*Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600) no experimento aos 12 DAS em condição com estresse hídrico no tratamento de sementes corroboram com os resultados encontrados por Medeiros et al. (2010) com a utilização de uma estirpe específica de *Bacillus subtilis* em tratamento de sementes de algodão, com a qual foi possível induzir a tolerância ao estresse hídrico, com uma maior eficiência fotossintética e massa de matéria seca da parte aérea. Além disso, as rizobactérias do gênero *Bacillus* respondem às condições desfavoráveis do ambiente, colonizando o solo e se associando às plantas, produzindo fitormônios, solubilizando o fosfato e produzindo quelantes de ferro ou sideróforos envolvidos na nutrição e no desenvolvimento inicial das plântulas (STRAGIER; LOSICK, 1996; LANNA-FILHO et al., 2010; GARCIA; KNAAK; FIUZA, 2015), podendo seus efeitos serem distintos dependendo da espécie, do cultivar, do tipo de solo e das características da região (GRAÇAS et al., 2015).

O tratamento T₄ (Mefentrifluconazole) apresentou uma performance inferior ao tratamento T₁ no experimento aos 7 DAS em ambas condições hídricas. Este efeito pode indicar uma fitotoxicidade da formulação, da molécula ou da dosagem utilizada no tratamento de sementes do cultivar NA 5909 RG. O tratamento T₅ (*Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600) foi significativamente inferior ao tratamento T₁ nos experimentos aos 12 DAS sem estresse hídrico, indicando possíveis efeitos adversos da dose avaliada no desenvolvimento da planta nesta condição. Para ambos produtos são necessários estudos adicionais para se confirmar tais resultados.

Os valores do IPM e IPA demonstraram resultados mais expressivos do tratamento de sementes quando as plântulas estiveram sob condição de estresse hídrico, indicando uma significante alteração na arquitetura e morfologia das

plântulas nesta condição, como observado nos estudos de Osmont, Sibout e Hardtke (2007) e Fenta et al. (2014).

A análise de produtos para tratamento de sementes pode ser realizada em ambas as épocas, mas o conhecimento inicial das características do cultivar e do modo de ação dos produtos são fundamentais para se determinar a melhor época de avaliação de seus efeitos.

Tabela 12. Índice de Performance Média (IPA, %) e Índice de Performance Agronômica (IPM, %) para os diferentes tratamentos de sementes no experimento aos 7 DAS e 12 DAS sob condição sem (SE) e com estresse hídrico (CE) no cultivar de soja NA 5909 RG. Os resultados são as médias de cada tratamento de sementes (TS).

	TS	SE		CE	
		IPM	IPA	IPM	IPA
7 DAS	T ₁	100,0 ^a	92,6 ^{ab}	100,0 ^{bc}	91,3 ^{bc}
	T ₂	98,3 ^a	91,3 ^{ab}	103,0 ^b	93,8 ^{ab}
	T ₃	97,3 ^a	90,8 ^{ab}	106,3 ^{ab}	97,0 ^{ab}
	T ₄	96,0 ^a	88,6 ^b	93,6 ^c	84,6 ^c
	T ₅	98,1 ^a	91,0 ^{ab}	110,5 ^a	97,9 ^{ab}
	T ₆	100,9 ^a	95,0 ^a	110,7 ^a	99,6 ^a
	T ₇	100,5 ^a	93,5 ^{ab}	105,9 ^{ab}	96,4 ^{ab}
	CV ¹ (%)	23,3	21,0	23,0	24,5
12 DAS	T ₁	100,0 ^{ab}	93,8 ^b	100,0 ^c	95,8 ^c
	T ₂	101,7 ^{ab}	94,9 ^{ab}	108,2 ^b	102,9 ^b
	T ₃	104,7 ^a	99,8 ^a	107,9 ^b	100,8 ^{bc}
	T ₄	101,1 ^{ab}	96,0 ^{ab}	100,7 ^c	96,4 ^c
	T ₅	93,6 ^c	87,0 ^c	116,2 ^a	110,6 ^a
	T ₆	99,1 ^b	95,5 ^{ab}	110,4 ^{ab}	105,7 ^{ab}
	T ₇	101,7 ^{ab}	94,0 ^b	108,4 ^b	102,9 ^b
	CV ¹ (%)	16,4	18,0	18,5	18,8

A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguidas da mesma letra dentro da coluna não são diferentes significativamente. ¹ CV: Coeficiente de variação (%).

Figura 21. Índice de Performance Média (IPM, %) para os diferentes tratamentos de sementes nos experimentos aos 7 DAS e 12 DAS sob condição sem (SE) e com estresse hídrico (CE) no cultivar de soja NA 5909 RG. A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguidas da mesma letra não são diferentes significativamente. Coeficiente de Variação (CV, %): a) 23,3; b) 23,0; c) 16,4; d) 18,5.

Figura 22. Índice de Performance Agronômica (IPA, %) para os diferentes tratamentos de sementes nos experimentos aos 7 DAS e 12 DAS sob condição sem (SE) e com estresse hídrico (CE) no cultivar de soja NA 5909 RG. A diferença entre os tratamentos foi determinada usando o teste de Tukey com nível de significância de 10%. Médias seguidas da mesma letra não são diferentes significativamente. Coeficiente de Variação (CV, %): a) 21,0; b) 24,5; c) 18,8; d) 18,8.

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados é possível concluir que:

- (i) Os tratamentos de sementes influenciaram de maneiras distintas nas características da arquitetura e no crescimento das plântulas de soja do cultivar NA 5909 RG;
- (ii) O tratamento T₆ (Broflanilide), nas condições sem e com estresse hídrico no experimento aos 7 DAS, o tratamento T₃ (Fluxapirroxade), na condição sem estresse hídrico, e o tratamento T₅ (*Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600), na condição com estresse hídrico no experimento aos 12 DAS, foram os tratamentos que apresentaram os maiores incrementos nas variáveis analisadas. O tratamento T₄ (Mefentrifluconazole), aos 7 DAS em ambas condições hídricas, e o tratamento T₅ (*Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI 600), na condição sem estresse hídrico, apresentaram reduções na performance das plântulas de soja.
- (iii) A análise de produtos para tratamento de sementes pode ser realizada em ambas as épocas, mas o conhecimento inicial das características do cultivar e do modo de ação dos produtos são fundamentais para se determinar a melhor época de avaliação de seus efeitos.
- (iv) Os índices propostos para avaliar a performance média (IPM) e agronômica (IPA) das variáveis analisadas se mostraram ferramentas que podem ser utilizadas para facilitar a interpretação dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ABRASEM. Associação Brasileira de Sementes e Mudanças. Guia Abrasem de boas práticas de tratamento de sementes. Brasília, 28 p., 2014.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guideline for computing crop water requirements). **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome, v. 56, n. 97, p. e156, 1998.
- ALVARENGA, R. O.; MARCOS-FILHO, J.; GOMES-JÚNIOR, F. G. G. Avaliação do vigor de sementes de milho superdoce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, Piracicaba, v. 34, n. 3, p. 488-494, 2012.
- ALVES, E.; AGUIAR, E.; PEREIRA, C.; MOREIRA, I.; LOPES FILHO, L. C.; SANTINI, J. M. K. Efeito do tratamento químico com inseticida/fungicida e polímero na qualidade fisiológica da semente de soja. **Revista Científic@**, Rio Verde, v. 4, n. 1, p. 12-18, 2017.
- ANTONELLO, L. M.; MNIZ, M. B.; BRAND, S. C.; VIDAL, M. D.; GARCIA, D.; RIBEIRO, L.; SANTOS, V. D. Qualidade de sementes de milho armazenadas em diferentes embalagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2191-2194, 2009.
- AO, J.; FU, J.; TIAN, J.; YAN, X.; LIAO, H. Genetic variability for root morph-architecture traits and root growth dynamics as related to phosphorus efficiency in soybean. **Functional Plant Biology**, v. 37, p. 304-312, 2010.
- AOSA. Association of official seed analysts. **Seed Vigor Test Handbook**. S.L.p., 88 p., 1983.
- BALARDIN, R. S.; SILVA, F. D.; DEBONA, D.; CORTE, G. D.; FAVERA, D. D.; TORMEN, N. R. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1120-1126, 2011.

BASF. **A guide to biological crop protection**. BASF Corporation. Alemanha, 16p., 2015.

BASF. Mitsui Chemicals Agro, Inc. (MCAG) and BASF sign commercialization agreement for new insecticide with IRAC novel mode of action. 2018b. <https://www.basf.com/en/company/news-and-media/news-releases/2017/12/p-17-390.html>. Acesso em: 2 jan. 2018.

BASF. Revysol®: designed to outperform. **Internal Brochure**. BASF Corporation. Alemanha, 12 p., 2017.

BASF. The next generation fungicide: Xemium®. 2018a. <https://agriculture.basf.com/en/Crop-Protection/Innovation-Fungicides/Xemium-sup-sup.html>. Acesso em: 2 jan. 2018.

BAUDET, L.; PESKE, F. Aumentando o desempenho das sementes. Seed News, Pelotas, v. 9, n. 5, p. 22-24, 2007. http://www.seednews.inf.br/_html/site/content/edicoes_anteriores/edicoes_antigas.php?codigo=115&janela=reportagemCapa. Acesso em: 20 mar. 2018.

BINSFELD, J. A.; BARBIERI, A. P. P.; HUTH, C.; CABRERA, I. C.; HENNING, L. M. M. Uso de bioativador, bioestimulante e complexo de nutrientes em sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 10-1590, 2014.

BODNER, G.; LEITNER, D.; NAKHFOROOSH, A.; SOBOTIK, M.; MODER, K.; KAUL, H. P. A statistical approach to root system classification. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 292, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 395 p., 2009.

BROWN, R. F.; MAYER, D. G. A critical analysis of Maguire's germination rate index. **Journal of Seed Technology**, v. 10, n. 2, p. 101-110, 1986.

BRZEZINSKI, C. R.; HENNING, A. A.; ABATI, J., HENNING; F. A.; FRANÇA-NETO, J. D. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; ZUCARELI, C. Seeds treatment times in the establishment and yield performance of soybean crops. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 2, p. 147-153, 2015.

CAMARGO, P. R.; PITELLI, A. M. D. C. M.; PERES, L. E. P.; ARAMAKI, P. H. Análise da atividade reguladora de crescimento vegetal de tiametoxam através de biotestes. **UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 13, n. 3, 2007.

CANTÃO, F. R. O. Marcadores morfológicos de raiz em genótipos de milho contrastantes para tolerância à seca em resposta a estresses de fósforo e alumínio. Dissertação de Mestrado em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. 98 p., 2007.

CARRIJO, D. R. Efeitos fisiológicos provocados pelo fungicida Fluxapiroxade, isolado e em mistura com a Piraclostrobina, na cultura de soja. **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2014.

CESB. COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL. Vencedor do desafio colhe 120 sacas de soja por hectare. Disponível em: <http://www.cesbrasil.org.br/vencedor-do-desafio-colhe-120-sacas-de-soja-por-hectare>. Acesso em: 7 jul. 2016.

CHIESA, A. C. M.; SANTOS SISMEIRO, M. N.; PASINI, A.; ROGGIA, S. Tratamento de sementes para manejo do percevejo-barriga-verde na cultura de soja e milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 4, p. 301-308, 2016.

COLMAN, B. A.; LIMA MASSON, G.; MISSIO, H. G.; SILVA NUNES, A.; CEOLIN, A. C. Efeito da adição de inseticidas no tratamento de sementes de soja com bioestimulante. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 5, p. 45-48, 2013.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos safra 2017/2018 - 5º levantamento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

COSTA-JÚNIOR, G. T. Efeito de bioestimulante, Piraclostrobina, inibidor da nitrificação e parcelamento de nitrogênio em arroz de terras altas. Jataí, 2014.

DANE, J. H.; TOPP, C. Methods of soil analysis. Physical Methods. Part 4. **Soil Science Society of America Book Series**, v. 5, 2012.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. **Crop water requirements**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1977.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. **Yield response to water**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1979.

FENTA, B. A.; BEEBE, S. E.; KUNERT, K. J.; BURRIDGE, J. D.; BARLOW, K. M.; LYNCH, J. P.; FOYER, C. H. Field phenotyping of soybean roots for drought stress tolerance. **Agronomy**, v. 4, n. 3, p. 418-435, 2014.

FERMAM, R. K. S.; SOUZA ANTUNES, A. M. Uso de defensivos agrícolas, limites máximos de resíduos e impacto no comércio internacional: estudo de caso. **Revista de Economia e Agronegócio**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, 2015.

FITTER, A. H.; STICKLAND, T. R.; HARVEY, M. L.; WILSON, G. W. Architectural analysis of plant root systems 1. Architectural correlates of exploitation efficiency. **New Phytologist**, v. 118, p. 375-382. 1991.

FRAC. Fungicide resistance action committee. Modo de Ação de Fungicidas. 2017. <http://www.frac-br.org/modo-de-acao>. Acesso em: 28 dez. 2017.

GARCIA, T. V.; KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Bactérias endofíticas como agentes de controle na orizicultura. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 82, p. 1-9, 2015.

GODIN, C.; COSTES, E.; SINOQUET, H. A Method for describing plant architecture which Integrates Topology and Geometry, **Annals of Botany**, Montpellier, v. 84, n. 3, p. 343-357. 1999. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.0923>.

GONÇALVES, S. L.; LYNCH, J. P. Pelos radiculares: seleção de genótipos em soja, girassol e trigo. **Embrapa Soja-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, Londrina, 2014a.

GONÇALVES, S. L.; LYNCH, J. P. Raízes de plantas anuais: tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos. **Embrapa Soja - Documentos (INFOTECA-E)**, Londrina, 2014b.

GRAÇAS, J.P.; RIBEIRO, C.; COELHO, F.A.A.; CARVALHO, M.E.A.; CASTRO, P.R.C. Microrganismos estimulantes na agricultura. **Série produtor rural, nº 59**, Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca, 56 p., 2015.

HENNING, A. A. Patologia e tratamento de sementes: noções gerais. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 52 p. (Documentos, 264). <http://www.cnpso.embrapa.br/download/alerta/documento235.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.

HOOVER, J. Strategies for managing fusarium head blight in western Canada: a review of literature. **Canadian Workshop for Fusarium Head Blight**, Winnipeg, Canada, 2011.

HUANG, H. Theories behind systemic insecticidal activity. **Internal training presentation**. BASF Corporation. USA, 50p, 2016.

IRAC. Inseticide resistance action committee. Classificação do modo de ação. 2017. <http://www.irac-br.org/outros>. Acesso em: 28 dez. 2017.

ISTA. International Seed Testing Association. **International Rules for Seed Testing**. Zürich, 296p, 2018.

KANUNGO, M.; JOSHI, J. Impact of pyraclostrobin (F-500) on crop plants. **Plant Science Today**, India, v. 1, n. 3, p. 174-178, 2014.

KELLING, C. R. S. Resposta da transpiração e do crescimento foliar de cultivares de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) à fração de água transpirável no substrato. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

KELLING, C. R. S.; REICHARDT, K.; STRECK, N. A.; LAGO, I.; ZANON, A. J.; RODRIGUES, M. A. Transpiração e crescimento foliar de crisântemo em função da fração de água transpirável no substrato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 735-744, 2015.

KÖHLE, H.; GROSSMANN, K.; JABS, T.; GERHARD, M.; KAISER, W.; GLAAB, J.; CONRATH, U.; SEEHAUS, K; HERMS, S. Physiological effects of the strobilurin fungicide F 500 on plants. *Uruguiana*, p. 61-74, 2002.

KUMAR, A.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. *Bacillus* as PGPR in crop ecosystem. In: **Bacteria in agrobiolgy: crop ecosystems**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 37-59, 2011.

KUMAR, V. K. K.; REDDY, M. S.; KLOEPPER, J. W.; YELLAREDDYGARI, S. K. R.; LAWRENCE, K. S.; ZHOU, X. G.; SUDINI H.4, MILLER M.E.5, APPA RAO PODILE, SURENDRANATHA REDDY E.C.; NIRANJANA S.R.; CHANDRA NAYAKA S. Plant growth-promoting activities of *Bacillus subtilis* MBI 600 (Integral®) and its compatibility with commonly used fungicides in rice sheath blight management. **International Journal of Microbiology**. Research, USA, v. 3, n. 2, p. 120, 2011.

KUMAR, V. K. K.; YELLAREDDYGARI, S. K.; REDDY, M. S.; LAWRENCE, K.S.; MILLER, M. E.; SUDINI, H.; SURENDRANATHA REDDY, E. C.; ZHOU, X. G.; GROTH, D. E. Ultrastructural studies on the interaction between *Bacillus subtilis* MBI 600 (Integral®) and the rice sheath blight pathogen, *Rhizoctonia solani*. **African Journal of Microbiology Research**, USA, v. 7, n. 19, p. 2078-2086, 2013.

LANNA-FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, São Luís, v. 4, n. 2, 12 p., 2010.

LIMA, A. D. S.; REFFATTI, T. N.; JUNCOS, M. C.; BURBULHAN, T.; MARTIKOSKI, L. Efeito fisiológico de fungicida pyraclostrobin e tratamento de sementes na cultura do milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 2, n. 3, p. 113-128, 2011.

LIMA, D. C.; JORGE, L. D. C.; RODRIGUES, E. L. L.; GOMES-JÚNIOR, F. G. Sistema de Análise Automatizada do Vigor de Sementes. **Anais do SIAGRO**, Foz do Iguaçu, p. 45, 2014.

MACEDO, W. R. Bioativador em culturas monocotiledôneas: avaliações bioquímicas, fisiológicas e da produção. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa número 2, de 9 de outubro de 2008. http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/INSTRU%C3%87%C3%83O_NORMATIVA_N%C2%BA_2,_DE_9_DE_OUTUBRO_DE_2008.pdf. Acesso em 31 mar. 2018.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. PIB da agricultura tem alta de 1,8% em 2015. <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/03/pib-da-agropecuaria-tem-alta-de-1porcento-em-2015>. Acesso em: 10 jul. 2016.

MARCOS-FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. D. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 23, p. 21-23, 2013.

MARCOS FILHO, J. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.

MEDEIROS, F.H.V.; SOUZA, R.M.; PARE, P.W.; MEDEIROS, F.C.L.; FERRO, H.M. Indução de tolerância à murcha biótica e abiótica em algodoeiro por rizobactérias. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A PATÓGENOS, 5., 2010, Lavras. **Anais...**, Lavras: UFLA, p. 71-84, 2010.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; SCAPIM, C. A.; DE LUCCA, A.; BONATO, C. M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, 2015.

MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R. Water deficits effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 1052-1059, 1991.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p. 2.1-2.24, 1999.

NCBI. National Center for Biotechnology Information. 2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/compound>. Acesso em: 29 dez. 2017.

NIDERA. Nidera sementes. 2018. <http://www.niderasementes.com.br/produtos.aspx?cat=23,31>. Acesso em: 30 mar. 2018.

NUNES, J. C. S. Tratamento de sementes de soja como um processo industrial no Brasil. Seed News, Ano XX, n. 1, 2016. Disponível em <http://www.seednews.inf.br/_html/site/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=251>. Acesso em: 10 jul. 2016.

OSMONT, K.S.; SIBOUT, R.; HARDTKE, C.S. Hidden branches: Developments in root system architecture. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 93-113, 2007.

PELOSO, A. D. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T. D.; CAVATTE, P. C.; TOMAZ, M. A. Efeito da aplicação de Piraclostrobina no crescimento inicial de café arábica em diferentes disponibilidades hídricas. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 498-507, out./dez. 2017.

PEREIRA, C. E.; OLIVEIRA, J. A.; NETO, J. C.; MOREIRA, F. M. D. S.; VIEIRA, A. R. Tratamentos inseticida, peliculização e inoculação de sementes de soja com rizóbio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, 2015.

PIRES, L. L.; BRAGANTINI, C.; COSTA, J. L. D. Storage of dry bean seeds coated with polymers and treated with fungicides. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 709-715, 2004.

QUADROS, P. D.; WURDIG ROESCH, L. F.; SILVA, R. F.; VIEIRA, V. M.; ROEHRS, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2. 2014.

RAY, J. D.; SINCLAIR, T. R. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 325, p. 1381-1386, 1998.

SANTOS, H. A. *Trichoderma spp.* como promotores de crescimento em plantas e como antagonista a *Fusarium oxysporum*. **Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias**. Brasília, 94 p. 2008.

SANTOS, P. S. J. Estudo da sistemicidade e tenacidade de epoxiconazol, Piraclostrobina e Fluxapiroxade em plantas de soja e videira. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2016.

SAS. Pacote estatístico do programa SAS versão 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2013.

SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I. Model development. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 15, p. 125-141, 1986.

SINCLAIR, T. R.; HAMMER, G. L.; VAN OOSTEROM, E. J. Potential yield and water-use efficiency benefits in sorghum from limited maximum transpiration rate. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 945-952, 2005.

SINCLAIR, T. R., MUCHOW, R. C. System analysis of plant traits to increase grain yield on limited water supplies. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 263-270, 2001.

SINCLAIR, T. R.; ZWIENIECKI, M. A.; HOLBROOK, N. M. Changes in plant–soil hydraulic pressure gradients of soybean in response to soil drying. **Annals of Applied Biology**, v. 152, n. 1, p. 49-57, 2008.

SOARES, L. H. Manejo fisiológico com base em tratamento de sementes e aplicação de organominerais via foliar para sistemas de alto potencial produtivo de soja. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. **Embrapa Informação Tecnológica**. Brasília, 416 p., 2004.

SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M.; AMARANTE, C. V. T.; MIQUELLUTI, D. J.; VIEIRA, S. P.; ARCARO, T. F. Proposta para modificar a arquitetura de plantas de feijão pelo uso de ácido giberélico. **InterSciencePlace**, Lages, v. 1, n. 9, 2015.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. FAO Irrigation and drainage paper No. 66. **Crop yield response to water**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 500, 2012.

STRAGIER, P.; LOSICK, R. Molecular genetics of sporulation in *Bacillus subtilis*. **Annual review of genetics**, USA, v. 30, n. 1, p. 297-341, 1996.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H; QUAGGLIO, J. A. **Manual de análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, 2001.

VANZOLINI, S.; ARAKI, C. A. D. S.; SILVA, A. C. T. M. D., NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, p. 90-96, 2007.

VIEIRA, E. D. S.; VIVAN, L.; AVILA, C. Eficácia de inseticidas aplicados nas sementes de soja no controle de *Elasmopalpus lignosellus* (ZELLER, 1848) (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE), na primeira época de plantio. **Embrapa Agropecuária Oeste-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, Dourados, 2015.

WAHBI, A.; SINCLAIR, T. R. Transpiration response of Arabidopsis, maize, and soybean to drying of artificial and mineral soil. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 188-192, 2007.

WEDEL, B.; SALGADO, V. Insecticide mode of action. **Internal training presentation**. BASF Corporation. USA, 42 p., 2016.

WENDT, L.; GOMES-JÚNIOR, F. G.; ZORATO, M. D. F.; MOREIRA, G. C. Evaluation of the physiological potential of soybean seeds by image analysis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Rio Verde, v. 44, n. 3, p. 280-286, 2014.

WINRHIZO. WinRHIZO™ 2017. **Product family for root image analysis and more 2017**. http://regent.qc.ca/assets/images_winrhizo/WinRHIZO2017.pdf. Acesso em: 30 mar. 2018.

YAGUSHI, J. T.; COSTA, D. E.; FRANÇA-NETO, J. D. B. Envelhecimento acelerado e análise computadorizada de imagem de plântulas para avaliação do desempenho de sementes de soja. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 2, 2014.

ZHAO, J.; FU, J.; LIAO, H.; HE, Y.; NIAN, H.; HU, Y.; QIU, L.; DONG, Y.; YAN, X. Characterization of root architecture in an applied core collection for phosphorus efficiency of soybean germplasm. **Chinese Science Bulletin**, v. 49, p. 1611-1620, 2004.

ZILLI, J. E.; VILLAS BOAS, D. C.; ALVES, B. J. R.; STRALIOTTO, R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Análise da qualidade do substrato composto por areia e vermiculita para cultivo de leguminosas em vasos de Leonard, nas condições da Embrapa Agrobiologia. **Documentos**, 289. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, 24 p., 2011.

ANEXOS

Tabela 13. Sumário estatístico dos melhores resultados na arquitetura de plântulas de soja referentes aos sete tratamentos estudados no cultivar NA 5909 RG sob condições sem estresse hídrico (SE) e com estresse hídrico (CE) aos 7 e 12 DAS.

Variável	7 DAS														12 DAS													
	SE							CE							SE							CE						
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
Cpa	a												a							a								
APpa	a												a				a										a	
MMSpa	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
MMSr	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Cr						a							a				a	a			a					a		
VOLr						a				a		a	a						a							a		a
APr						a							a								a	a						
DIAMr				a							a				a										a			
CTRAEXTr	a	a	a	a	a	a	a					a			a	a	a	a		a	a							
CEIXPr						a		a	a	a		a	a	a					a				a	a		a		
ALTr	a	a	a	a	a	a	a					a							a									
MAGr							a					a		a			a								a			
BIFr	a	a	a	a	a	a	a					a									a				a		a	
CLr	a	a	a	a	a	a	a	a											a				a	a	a	a	a	a
APLr	a	a	a	a	a	a	a	a							a	a	a	a	a	a	a	a				a		a
DIAMLr				a							a								a	a		a						
ANGLr	a							a	a	a	a	a	a	a					a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Total	10	7	7	9	7	11	8	6	4	5	4	9	9	5	5	4	7	5	9	6	9	6	5	9	4	10	5	6
FreqRel (%)	59	41	41	53	41	65	47	35	24	29	24	53	53	29	29	24	41	29	53	35	53	35	29	53	24	59	29	35

Cpa: Comprimento de parte aérea. APpa: Área projetada de parte aérea. MMSpa: Massa de matéria seca de parte aérea. MMSr: Massa de matéria seca das raízes. Cr: comprimento do somatório das raízes. VOLr: Volume das raízes. APr: Área projetada das raízes. DIAMr: Diâmetro médio das raízes. CTRAEXTr: comprimento da trajetória externa das raízes. CEIXPr: Comprimento do eixo principal. ALTr: Altitude do sistema radicular. MAGr: Magnitude do sistema radicular. BIFr: Número de bifurcações das raízes. CLr: Comprimento do somatório das ligações das raízes. APLr: Área projetada das ligações das raízes. DIAMLr: Diâmetro médio das ligações das raízes. ANGLr: Ângulo médio das ligações das raízes. FreqRel (%): Frequência relativa das variáveis em porcentagem.

Tabela 14. Sumário estatístico dos piores resultados na arquitetura de plântulas de soja referentes aos sete tratamentos estudados no cultivar NA 5909 RG sob condições sem estresse hídrico (SE) e com estresse hídrico (CE) aos 7 e 12 DAS.

Variável	7 DAS														12 DAS														
	SE							CE							SE							CE							
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
Cpa						b		c	c						c				c						b				
APpa						b		d							c														d
MMSpa																													
MMSr																													
Cr			b								c								b			d							
VOLr					b						b								c			c			c				
APr			b	b							c									c		c			c				
DIAMr							d		d				d					c							c		c	c	
CTRAEXTr											d				b							b			b				
CEIXPr				b							d								b						c	c			
ALTr											d				b							b			b				
MAGr	b	b		b							c								c			d			d				
BIFr								c			c								c			c							
CLr									b	b	b	b								b		b	b	b	b		b	b	
APLr									b	b	b	b	b	b											c				
DIAMLr							c	b	b	b		b	b	b					b						c		c	c	
ANGLr		b													b														
Total	1	2	2	3	1	2	2	4	5	3	10	3	3	2	1	4	0	1	7	1	1	8	1	5	8	2	3	2	
FreqRel (%)	6	12	12	18	6	12	12	24	29	18	59	18	18	12	6	24	0	6	41	6	6	47	6	29	47	12	18	12	

Cpa: Comprimento de parte aérea. APpa: Área projetada de parte aérea. MMSpa: Massa de matéria seca de parte aérea. MMSr: Massa de matéria seca das raízes. Cr: comprimento do somatório das raízes. VOLr: Volume das raízes. APr: Área projetada das raízes. DIAMr: Diâmetro médio das raízes. CTRAEXTr: comprimento da trajetória externa das raízes. CEIXPr: Comprimento do eixo principal. ALTr: Altura do sistema radicular. MAGr: Magnitude do sistema radicular. BIFr: Número de bifurcações das raízes. CLr: Comprimento do somatório das ligações das raízes. APLr: Área projetada das ligações das raízes. DIAMLr: Diâmetro médio das ligações das raízes. ANGLr: Ângulo médio das ligações das raízes. FreqRel (%): Frequência relativa das variáveis em porcentagem.