

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

**EFEITO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA**  
**LIXIVIAÇÃO E RESIDUAL DA MISTURA DOS HERBICIDAS**  
**IMAZAPIR+IMAZAPIC**

**Amanda dos Santos Souza**

**2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**EFEITO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA LIXIVIAÇÃO E  
RESIDUAL DA MISTURA DOS HERBICIDAS IMAZAPIR+IMAZAPIC**

**AMANDA DOS SANTOS SOUZA**

*Sob a Orientação da Professora*  
**Camila Ferreira de Pinho**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de Concentração em Meio Ambiente.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S719e Souza, Amanda dos Santos, 1991-  
Efeito da disponibilidade hídrica na lixiviação e residual da mistura dos herbicidas imazapir+imazapic / Amanda dos Santos Souza. - 2018.  
57 f. : il.

Orientadora: Camila Ferreira de Pinho.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em engenharia agrícola e ambiental, 2018.

1. carryover. 2. herbicidas pré-emergente. 3. imidazolinonas. I. Pinho, Camila Ferreira de, 1986-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós-graduação em engenharia agrícola e ambiental III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL**

**AMANDA DOS SANTOS SOUZA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de Concentração em Meio Ambiente.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/02/2018



---

Camila Ferreira de Pinho. Dr<sup>a</sup>. UFRRJ  
(Orientadora)



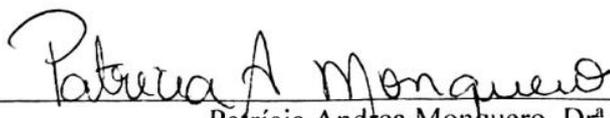
---

Aroldo Ferreira Lopes Machado. Dr. UFRRJ



---

Junior Borella. Dr. UFRRJ



---

Patrícia Andrea Monquero. Dr<sup>a</sup>. UFSCar

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar o dom da vida, alegria e todas as bênçãos recebidas.

A minha família pelo interminável apoio, sem o qual não chegaria até aqui.

Em memória a minha avó Dulcenéia, por me fazerem acreditar que tudo daria certo.

Aos meus pais Djane e Sérgio, por todo amor, conselhos e puxões de orelha, não sei o que seria de mim sem vocês. Amo vocês incondicionalmente.

A professora Dr. Camila Ferreira de Pinho, pela orientação, ensinamentos, toda a paciência, confiança e apoio em futuros trabalhos.

Aos amigos ruralinos, em especial: Felipe, Jéssica, Jocarstea, Gabriela e Sâmia, por aturarem a minha chatice, por todas as brigas e por sinceras demonstrações de amizade

As minhas amigas de infância, que sempre me disseram que o melhor a fazer era nunca desistir independentemente de qualquer acontecimento

Aos amigos e colegas de do grupo PDPA por tornarem momentos gratificantes, por toda ajuda física, intelectual e psicológica.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, quero agradecer a todos que de algum modo fizeram parte da minha vida, por cada momento vivido, saibam que o que sou hoje é reflexo de cada parte de vocês.

## RESUMO

SOUZA, Amanda dos Santos. **Efeito da disponibilidade hídrica na lixiviação e residual da mistura dos herbicidas imazapir+imazapic**. 2018. 67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

A cultura da soja possui grande importância na economia mundial por sua demanda e utilização tanto no consumo humano, como animal. A interferência das plantas daninhas, pode afetar negativamente sua produtividade e para controle a utilização de herbicidas pré-emergentes se torna uma boa ferramenta, porém a sua dinâmica é influenciada pelas características do ambiente, solo e condições físico-química da molécula e seu uso pode vir a causar efeito *carryover* em culturas subsequentes. A mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, pertence ao grupo químico das imidazolinonas seu comportamento no solo é influenciado pela umidade no solo, que afeta diretamente sua lixiviação. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da disponibilidade de água no solo na lixiviação e o residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e a fitotoxicidade destes herbicidas no milho semeado em sucessão a soja. O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, em colunas de lixiviação feitas de policloreto de polivinila (PVC) medindo 0,6m de comprimento por 0,25m de diâmetro, dispostas verticalmente em casa-de-vegetação. O delineamento utilizado foi em blocos generalizados com 4 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 3x3, sendo o fator A as lâminas de irrigação (volume de água correspondente a 30% acima da capacidade de campo, na capacidade de campo e 30% abaixo da capacidade de campo) e o fator B as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic (52,5+17,5 e 105+35 g i.a ha<sup>-1</sup>, além da testemunha sem herbicida). A semeadura da soja foi realizada nas colunas de PVC e imediatamente após foi realizada a aplicação da mistura comercial dos herbicidas, utilizando-se um pulverizador costal. Ao final do ciclo da soja (120 dias) foi realizada a coleta das plantas e realizada a análise de fluorescência da clorofila *a*, a altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos e imediatamente se procedeu à abertura das colunas no sentido vertical. Na metade das canaletas de cada tratamento, foi semeada a cultura do milho (*Zea mays*) e na outra metade a melancia (*Citrullus lanatus*) cv Congo como espécie bioindicadora, os quais foram avaliadas fluorescência da clorofila *a*, altura de plantas, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz. Os dados gerados no experimento foram submetidos à análise da variância ( $p \leq 0,05$ ) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A disponibilidade de água no solo, influenciou o comportamento da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. As condições de maior umidade do solo, favoreceram a lixiviação dos herbicidas e onde o solo se permaneceu em condições de seca foi observada maior retenção das moléculas no solo. A atividade residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, afetou o crescimento e desenvolvimento da planta de milho e melancia semeados 120 dias após a aplicação.

**Palavras-chave:** *carryover*, herbicidas pré-emergentes, imidazolinonas.

## ABSTRACT

SOUZA, Amanda dos Santos. **Leaching and residual in soil of the commercial mixture of the herbicides imazapir + imazapic**. 2018. 67p. Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Department of Engineering, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

Soybean cultivation has a huge importance in the world economy, but the interference of weeds can affect negatively its productivity. For the weeds control, the use of pre-emergent herbicides has become a good tool, but its dynamics in the environment is influenced by the characteristics of the environment, soil and physicochemical conditions of the molecule and its use may cause a carryover effect in subsequent cultures. The commercial mixture of the herbicides imazapyr + imazapic belongs to the chemical group of imidazolinones and their behaviour in the soil is influenced by several factors, among them, soil moisture, which affects directly their leaching. The objective of this work was to evaluate the influence of soil water availability on the leaching and the residual of the commercial mixture of imazapir + imazapic herbicides and the phytotoxicity of these herbicides on corn sown in succession to soybean.. The experiment was developed at the Federal Rural University of Rio de Janeiro, in Seropédica, RJ, in leach columns, made of PVC, measuring 0.6m in length by 0.25m in diameter, arranged vertically in a greenhouse. Generalized randomized blocks design with 4 replicates was used, totalizing 36 experimental units. The treatments were arranged in a 3x3 factorial scheme, with factor A being the irrigation slides (water volume corresponding to 30% above field capacity, field capacity and 30% below field capacity) and factor B with doses of the commercial mixture of the herbicides imazapyr + imazapic 52.5 + 17.5 and 105 + 35 g ia ha<sup>-1</sup>, besides the control (without herbicide). The sowing of the soybean was carried out in the PVC columns and the application of the commercial mixture of the herbicides was immediately carried out, using a costal sprayer. At the end of the soybean cycle (120 days), the plants were collected, and immediately the columns were vertically opened. In the middle of the channels of each treatment, the maize crop (*Zea mays*) was sown and the other half was the watermelon (*Citrullus lanatus*) cv Congo as a bioindicator species. The data generated in the experiment were submitted to analysis of variance ( $p \leq 0.05$ ) and the means compared by the Tukey test at 5% probability. The availability of water in the soil influenced the behavior of the commercial mixture of the herbicides imazapir + imazapic. The conditions of higher soil moisture favored leaching of the herbicides and where the soil remained in drought conditions greater retention of the molecules in the soil was observed. The residual activity of the commercial mixture of the herbicides imazapir + imazapic, has changed the growth and development of the corn and watermelon plant seeded 120 days after application.

**Keywords:** carryover, pre-emergent herbicides, imidazolinonas.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Curva de retenção de água no solo, obtida pelo software SWRC (DOURADO NETO et al., 2001) ..... **8**
- Figura 2.** Leituras realizadas utilizando o tensiômetro (A) e disposição do tensiômetro nos tubos de PVC (B), Seropédica-RJ, 2018. .... **9**
- Figura 3.** Esquema de montagem do experimento, onde A- coluna de lixiviação, B- canaleta com plantas de milho e C - canaleta com plantas bioindicadoras, UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018. .... **10**
- Figura 4.** Parâmetros  $PI_{total}$  (A),  $DI_0/RC$  (B),  $ET_0/RC$  (C) e  $ABS/RC$  (D) da fluorescência da clorofila *a*, pelo teste JIP, para as plantas de soja 30 dias após a aplicação da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018. .... **15**
- Figura 5.** Parâmetros  $PI_{total}$  (A),  $DI_0/RC$  (B),  $ABS/RC$  (C) e  $ET_0/RC$  (D) da fluorescência da clorofila *a*, pelo teste JIP, para as plantas de soja 60 dias após a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018. .... **17**
- Figura 6.** Parâmetros  $PI_{total}$  (A),  $DI_0/RC$  (B),  $ABS/RC$  (C) e  $ET_0/RC$  (D) da fluorescência da clorofila *a*, pelo teste JIP, para as plantas de soja semeadas 90 dias após a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018. .... **19**
- Figura 7.** Plantas de melancia, semeadas sob o residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, no dobro da dose recomendada e na menor disponibilidade de água (70%), onde A- topo e B- base, UFRRJ, Seropédica-RJ, 2018. .... **21**
- Figura 8.** Plantas de melancia, semeadas no solo sob residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, no dobro da dose recomendada e na maior disponibilidade de água (130%) onde A- topo e B- base, UFRRJ, Seropédica-RJ, 2018. .... **21**

**Figura 9.** Parâmetro  $PI_{total}$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imzapir+imazapic, onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo, onde CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.....**24**

**Figura 10.** Parâmetro  $DI_0/RC$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imzapir+imazapic, onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo, onde CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.....**26**

**Figura 11.** Parâmetro  $ABS/RC$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imzapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.....**28**

**Figura 12.** Parâmetro  $ET_0/RC$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imzapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.....**30**

**Figura 13.** Parâmetro  $PI_{total}$  da fluorescência da clorifila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imzapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.....**34**

**Figura 14.** Parâmetro  $DI_0/RC$  da fluorescência da clorifila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura

no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e diferentes disponibilidades de água no solo. Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018..... **36**

**Figura 15.** Parâmetro ABS/RC da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018..... **38**

**Figura 16.** Parâmetro ET<sub>0</sub>/RC da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018..... **40**

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Característica química e física do solo utilizado no experimento. UFRRJ, Seropédica/RJ – 2018 .....7
- Tabela 2.** Principais parâmetros do Teste JIP (STRASSER et al., 2004 e adaptado por YUSUF et al., 2010)..... 11
- Tabela 3.** Altura de plantas e número de vagens por planta, da cultura da soja, sob doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018. .... 13
- Tabela 4.** Número de grãos e massa de grãos, da cultura da soja, sob doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%-30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018. 14
- Tabela 5.** Altura das plantas de melancia semeadas em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018. .... 20
- Tabela 6.** Massa seca da parte aérea das plantas de melancia semeadas em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018. .... 22
- Tabela 7.** Massa seca de raiz das plantas de melancia semeadas em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018. .... 22
- Tabela 8.** Altura da planta de milho semeado em sucessão a soja, em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018. .... 31
- Tabela 9.** Massa seca da parte aérea das plantas de milho semeados em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir + imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018. .... 32
- Tabela 10.** Massa seca de raiz de milho semeados em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir + imazapic e disponibilidade de água no solo (CC-

capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ – 2018.....	<b>32</b>
--	-----------

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	2
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	7
4	RESULTADOS.....	13
4.1	Cultura da soja .....	13
4.2	Teste de Resíduo e Lixiviação por Bioindicadora .....	20
4.3	Cultura do Milho.....	31
5	DISCUSSÃO.....	41
5.1	Cultura da Soja.....	41
5.2	Teste de Resíduo e Lixiviação por Bioindicadora .....	43
5.3	Cultura do Milho.....	44
6	CONCLUSÃO .....	46
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

# 1 INTRODUÇÃO

A sucessão soja milho tornou-se um dos principais sistemas de produção agrícola no Brasil, a partir da década de 90, e o manejo de plantas daninhas neste intensivo sistema torna-se indispensável. Porém o controle tem sido dificultado em vista dos problemas com seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas pós-emergentes, sendo o uso de herbicidas em pré-emergência essencial no controle de plantas daninhas (PALARO et al., 2013; GARCIA et al., 2018).

A utilização de herbicidas em pré-emergência com longo residual pode causar efeitos negativos em culturas utilizadas em sucessão, sendo este fenômeno denominado *carryover*, o qual é dependente das características das moléculas e das condições do ambiente (MELO et al., 2016). Uma série de fatores podem vir a influenciar a dinâmica de herbicidas pré-emergentes no solo o que pode interferir na persistência e eficácia, sendo estes processos de retenção, degradação, transporte e transformação, o que resulta na sua dissipação no ambiente (ALLETTO et al., 2010). A disponibilidade de água no solo influencia fortemente a dissipação da molécula do herbicida, uma vez que altera a atividade microbiana e a absorção das moléculas pelas plantas, além do comportamento destes na interface dos componentes do solo (CARVALHO et al., 2012).

Como opção para o controle de plantas daninhas em pré-emergência na cultura da soja no Brasil, encontra-se em fase de lançamento a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, o qual através da ação residual e da eficiência controla plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas. A mistura dos herbicidas imazapir+imazapic, pertence ao grupo químico das imidazolinonas e atuam inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS) presente nos cloroplastos, a qual é essencial na síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (DUGGLEBY et al., 2008).

O herbicida imazapir e seus metabólitos apresentam solubilidade em água 11,272 ppm (25°C), constante de ionização ácido (pKa) de 1,9 e 3,6 e coeficiente octanol/água (Kow) de 1,3, sendo considerado persistente no solo, com meia vida variando de 25 a 142 dias (SENSEMAN et al., 2007). O imazapic apresenta solubilidade em água 2200 ppm (25°C), constante de ionização (pKa) 3,9 e coeficiente octanol/água (Kow) 0,16 (SENSEMAN et al., 2007), quando em pH 6,0 encontra-se muito dissociado e não se espera adsorção do mesmo ao solo, sendo a lixiviação aumentada com o aumento do teor de umidade do solo (Monquero et al., 2013).

Diante dos problemas residuais causados nas culturas em sucessão a soja pelo uso de herbicidas pré-emergentes e a falta de estudos relacionados a influência da disponibilidade de água na degradação destas moléculas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da disponibilidade de água no solo na lixiviação e residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e a fitotoxicidade deste herbicida no milho semeado em sucessão a soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é uma planta herbácea, dicotiledônea e possui uma grande variedade genética, que determina diferenças tanto no ciclo vegetativo, quanto reprodutivo (MATEUS & SILVA, 2013). A cultura possui uma elevada importância na economia mundial, devido ao grande aumento da demanda global e também pela sua diversidade de uso. No Brasil, a cultura da soja corresponde a quase um terço da cultura de grãos semeadas no país, aproximadamente 50,1% (IBGE, 2017), sendo a cultura agrícola que mais cresceu nas últimas três décadas. Segundo dados da CONAB, na safra de 2017/18 estima-se que a área de produção possa atingir entre 34,6 a 35,3 milhões de hectares, mostrando a grande rentabilidade da cultura em relação a outras cultivadas no país. Na safra de 2016/17 a produção da cultura foi de 113,923 milhões de toneladas do grão, com 33,890 milhões de hectares em área plantada e produtividade de 3,362 kg ha<sup>-1</sup>, sendo o Brasil o maior exportador mundial do grão (CONAB, 2017).

Devido ao aumento do uso de tecnologias é cada vez mais comum no sistema de plantio o cultivo de culturas em sucessão, neste cenário temos o milho safrinha sendo a principal cultura semeada em sucessão a soja na região Centro-Sul, do Brasil (CONAB, 2017). O milho é uma cultura monocotiledônea, com grande importância econômica, pelo alto valor energético do grão, sendo utilizado tanto na alimentação humana como animal e possui também importância social, por sua viabilidade de cultivo tanto em pequena como grande escala, sendo o segundo grão mais cultivado no Brasil (GALVÃO et al., 2014).

O milho segunda safra, mais comumente conhecido como milho safrinha é cultivado no período de janeiro a abril e o volume de produção para a safra 2016/17 alcançou total de 67,25 milhões de toneladas, cultivadas em 12 milhões de hectares. Os dois maiores estados produtores são Mato Grosso e o Paraná, com 28,5% e 18,8% da produção nacional, respectivamente (CONAB, 2017). A sucessão soja-milho se tornou componente fundamental das cadeias produtivas sendo uma opção economicamente viável, porém quando opta-se pelo cultivo do milho safrinha deve-se observar algumas mudanças no manejo da cultura relacionados principalmente a menor quantidade de palhada, menor teor de matéria orgânica que aumentam a suscetibilidade à erosão hídrica e as perdas de água por evaporação, resultando em maior compactação do solo.

A produtividade das culturas de interesse econômico pode ser reduzida por diversos fatores, refletindo em diminuição na qualidade do produto e no rendimento do grão, sendo esses fatores bióticos e abióticos (VITORINO et al., 2017). Dentre os fatores bióticos podemos citar pragas, doenças e a interferência das plantas daninhas (REZENDE et al., 2012). A interferência das plantas daninhas irá depender de quais espécies estão presentes na área de cultivo, do período de emergência da planta daninha em comparação com a cultura de interesse, da densidade de plantas daninhas, do manejo empregado no controle, das condições do ambiente e do tempo de convivência entre a cultura (BARROSO et al., 2010, VITORINO et al., 2017).

No que tange as plantas daninhas, a ocorrência das perdas acontece de forma gradual, pois estas plantas competem com a cultura por luz, água e pelos nutrientes, que são recursos essenciais ao crescimento, pela liberação de substâncias alelopáticas e pela supressão de práticas culturais, podendo também atuar como hospedeiras das principais pragas, nematóides e doenças na cultura (FARIA et al., 2014). A presença de plantas nas áreas de plantio pode onerar os custos das práticas culturais, dificultar e até inviabilizar a colheita e provocar maior desgaste das máquinas (VASCONCELOS et al., 2012).

O controle químico é um dos principais componentes no manejo integrado de plantas daninhas, por ser de mais rápida ação e eficiente no controle. A utilização de herbicidas irá

interferir nos processos bioquímicos e fisiológicos, podendo retardar ou inibir o crescimento de plantas daninhas (BUENO et al., 2013). Os herbicidas podem ser classificados de acordo com o produto e suas características, sendo estas: seletividade, quando controlam as plantas daninhas sem causar fitotoxicidade na cultura de interesse; translocação podendo ser o herbicida de contato ou sistêmico; mecanismo de ação, ou seja, a forma que o herbicida vai agir na planta e época de aplicação em relação a cultura de interesse e as plantas daninhas podendo ser utilizados em pós-emergência, pré-plantio incorporado e pré-emergência (OLIVEIRA JR., 2011). Os herbicidas pré-emergentes, são aqueles utilizados antes da emergência das plantas daninhas, aplicados diretamente no solo, são comumente caracterizados por ter efeito residual prolongado no solo, o que lhe confere grande eficiência no controle de plantas daninhas devido a supressão das mesmas durante o período crítico de competição (INOUE et al., 2011).

Com a consolidação do herbicida glifosato no Brasil e com a introdução de cultivares com a tecnologia Roundup Ready® houve um expressivo crescimento no sistema de plantio direto proporcionando ao produtor inúmeros benefícios (GAZZIERO et al., 2008). Por ser de amplo espectro de ação e utilizado em pós-emergência da soja, o herbicida glifosato passou a ser largamente utilizado no mundo como principal forma de manejo, desacelerando a pesquisa e o surgimento de novas moléculas herbicidas (BENBROOK, 2016; MELO et al., 2017). Porém, com o contínuo uso do glifosato houve pressão de seleção sobre as plantas daninhas selecionando biótipos resistentes de diversas espécies no mundo (SCHERER et al., 2017).

Devido a resistência de plantas daninhas a utilização de herbicidas pré-emergentes tem se tornado indispensável, principalmente na cultura da soja (RIZZARDI & SILVA et al., 2014). O uso de herbicidas pré-emergentes com longo residual garante que a cultura permaneça livre da presença de plantas daninhas por um maior período, já que esses herbicidas reduzem ou retardam o seu desenvolvimento de plantas daninhas, no período crítico de competição (DAN et al., 2010), podendo o herbicida ser aplicado em pré ou pós semeadura (GAZZIERO & SILVA, 2017).

Por outro lado, a persistência de herbicidas pré-emergentes representa elevado risco de contaminação do solo, seja por lixiviação ou escoamento superficial (DAN et al., 2012b). Herbicidas com bioatividade prolongada, podem permanecer no solo por longos períodos, dependendo das características físico-química do solo e das condições do clima, causando efeito negativo a cultura plantada em sucessão inviabilizando o cultivo, devido a sua persistência no ambiente (DAN et al., 2012a; MONQUERO et al., 2013).

Devido a grande preocupação com a contaminação ambiental pelo uso de herbicidas é importante conhecer a relação da molécula com o solo e sua dinâmica no ambiente (INOUE et al., 2011). Nos casos em que se planeja semear mais rapidamente as culturas em sucessão, é comum a utilização de variedades de soja de ciclo precoce. Esta prática é considerada econômica e vantajosa, porém com a diminuição do ciclo da cultura os herbicidas utilizados em pré-emergência com longa atividade residual podem causar fitotoxicidade as culturas semeadas em sucessão sendo esse fenômeno conhecido como *carryover* (ALONSO et al., 2013). Milho semeado em sucessão a soja apresentou redução da massa seca mesmo quando semeado 97 dias após a aplicação dos herbicidas diclosulam, imazethapyr e fomesafen, mostrando a longa atividade residual destas moléculas e a sensibilidade do milho a elas (DAN et al., 2012b)

A atividade residual de um herbicida no solo irá depender de diversas características do solo, do ambiente e da cultura utilizada em sucessão (MANCUSO et al., 2011). Trabalho anterior avaliando a atividade residual dos herbicidas diclosulam, imazaquin, flumioxazin e sulfentrazone, constatou que quando semeado logo após a aplicação dos herbicidas o milho apresentou elevada sensibilidade a estes herbicidas, porém quando semeado 120 dias após a aplicação os herbicidas apenas o herbicida sulfentrazone afetou o rendimento do milho (DAN et al., 2011). Em pesquisa realizada com o propósito de se avaliar o efeito residual dos herbicidas atrazina e tembotrione, isolados e/ou em mistura na cultura da beterraba, foi

observada intoxicação da cultura quando aplicados de forma isolada, sendo esta mais severa com o aumento da dose (FRANÇA et al., 2016). Souza et al. (2016), avaliando a atividade residual dos herbicidas imazethapyr e imazapic de forma isolada e a mistura comercial (imazethapyr+imazapic) sob a cultura do sorgo observaram que a mistura comercial dos herbicidas causou reduções da matéria seca do sorgo superiores a 94%, mesmo após 150 dias da aplicação. Diante dos efeitos negativos causados pela longa atividade residual da molécula de herbicida no solo sob as culturas em sucessão e pela importância econômica que as mesmas apresentam, é de extrema importância se entender a dinâmica de herbicidas no ambiente.

Quando o destino final de uma molécula é o solo, após realizada sua aplicação, inicia-se uma série de processos de redistribuição e de degradação, que irão regular o seu destino no ambiente (MANCUSO et al., 2011). Estes processos que irão afetar a persistência e eficácia de um herbicida, sendo estes: interceptação ou retenção, degradação, transporte e transformação, o que resulta na sua dissipação no ambiente (ALLETTO et al., 2010). A interceptação ou retenção refere-se à habilidade do solo em reter uma molécula orgânica ou um herbicida, evitando que ela se mova tanto para dentro como para fora da matriz do solo (OLIVEIRA & BRIGHENTI, 2011). O processo de retenção envolve mecanismos específicos de dissipação de herbicidas, sendo estes de precipitação, absorção e adsorção que normalmente são substituídos pela sorção (ALLETTO et al., 2010).

A sorção refere-se a atração e retenção das moléculas ou íons à superfície dos sólidos, no qual não há distinção entre os processos (FREITAS et al., 2014), envolve a passagem do herbicida da fase aquosa para a superfície do solo por meio de interações químicas e físicas, sendo este processo inicial responsável por parte da sorção geral, seguido de uma fase mais lenta, alcançando o equilíbrio final entre a fase sorvida e a restante em solução (ESTÉVEZ et al., 2008). Mendes et al. (2014), avaliando a sorção do herbicida oxadiazon em solos cultivados no cerrado brasileiro, pode concluir que o processo é dependente de características químicas do solo, como teor de matéria orgânica, pH, teor de magnésio, carbono orgânico e saturação por alumínio. A mineralogia do solo, textura, capacidade de troca catiônica (CTC) e pH, são propriedades do solo que influenciam excessivamente a sorção. Esses fatores, de modo geral, irão influenciar a superfície específica dos constituintes do solo e também o balanço de cargas no mesmo. Em vista disto, a ionização do herbicida afeta a sua capacidade de retenção, assim como seus coeficientes relacionados à retenção no solo, denominados de coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ), coeficientes de sorção ( $K_d$ ) ou constante de adsorção ( $K_d$ ) (MENDES et al., 2014).

Para a compreensão do comportamento de um herbicida no solo é importante se conhecer o processo de dessorção, pois a mesma relaciona seu efeito residual e persistência. A dessorção representa a liberação da molécula do herbicida anteriormente sorvida e o potencial de mobilidade desses compostos nos solos (ROCHA et al., 2013). Os herbicidas com menor taxa de dessorção podem ter maior risco para as culturas em sucessão (LIU et al., 2010). Rocha et al. (2013), avaliando o comportamento sortivo e dessortivo do diuron em quatro latossolos, verificaram taxas distintas de dessorção entre estes solos.

Quando uma molécula herbicida não está retida no solo, está passa a sofrer o processo de transporte e migrar dentro do perfil podendo contaminar recursos hídricos. Dentre as principais formas de transporte, podemos destacar a volatilização, o escoamento superficial e subsuperficial e a lixiviação. A lixiviação é conceituada como o transporte de herbicida no solo em profundidade, sendo considerada o processo de transporte mais importante. É um fenômeno dependente das condições de aplicação, das propriedades físico-química dos pesticidas, propriedades do solo (ALLETTO et al., 2010) e condições ambientais como a umidade e temperatura (MENDES et al., 2014). Assim, a disponibilidade de água no solo possui grande importância na eficiência dos herbicidas pré-emergentes, pois além de influenciar a atividade microbiana e a absorção das moléculas pelas plantas, também influencia o comportamento das

moléculas na interface dos componentes do solo. Em locais secos, menores quantidades de moléculas ficam biodisponíveis, já que aumenta a sorção destas no solo (CARVALHO et al., 2012). Em trabalho realizado por Monquero et al. (2013), observaram que solos com umidade abaixo de 60% da capacidade de campo apresentaram menor fitotoxicidade dos herbicidas diclosulam e imazaquin, mostrando que a umidade do solo interfere na persistência destes dois herbicidas.

Herbicidas do grupo químico das imidazolinonas possuem grande mobilidade no solo, o que contribui para a seu maior residual e possível contaminação do ambiente. A lixiviação apesar de poder ser considerada um fator de seletividade, também pode ser causa da contaminação ambiental, pois quando o herbicida atinge maiores profundidades do solo, pode haver contaminação de águas do solo e da superfície (BATTAGLIN et al., 2000). Esse movimento das moléculas no perfil do solo pode variar de acordo com a oscilação do lençol freático, sendo que o manejo de irrigação pode interferir na taxa de lixiviação (BUNDT et al., 2013). Na cultura do arroz observou-se que a irrigação contínua e intermitente aumenta a lixiviação de herbicida da família das imidazolinonas quando comparado ao manejo onde o solo foi mantido na capacidade de campo (BUNDT et al., 2014)

A movimentação de herbicida no perfil do solo pode ocorrer em diversas direções, sendo esta dependente da quantidade e do fluxo da água. A intensidade de translocação da molécula de herbicida no perfil do solo é dependente das características físico-químicas do produto e principalmente da sua solubilidade em água (JAVARONI et al., 1999; BUNDT et al., 2013). A solubilidade do herbicida em água influencia sua lixiviação a camadas mais profundas e também a sua persistência no ambiente, podendo assim ser definida como a quantidade máxima que um herbicida pode se dissolver em água pura sob determinada temperatura (SCHWARZENBACH et al., 1993).

Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas possuem baixo coeficiente de adsorção e elevada solubilidade em água o que facilita o movimento da molécula tanto descendente como ascendente (BUNDT, 2013). Maior fitotoxicidade causada pela mistura formulada de imazethapyr + imazapic, foram observadas em plantas de azevém, em solos com teores de umidade de 0 e -10kPa, evidenciando a maior disponibilidade do herbicida em solos com maior umidade (AVILA et al., 2011).

Concomitantemente aos processos de retenção e transporte, os herbicidas passam pelos processos de transformação que são decorrentes da degradação dessas moléculas a compostos secundários ou mesmo a sua completa mineralização. No geral a degradação refere-se ao conjunto de transformações químicas, físicas e biológicas, que levam a formação de metabólitos não-tóxicos ou a completa degradação a CO<sub>2</sub>, água e compostos inorgânicos (ANDRIGHETTI et al., 2014). Entre as principais formas de degradação da molécula de um herbicida, estão a degradação química e biológica. A degradação química acontece preferencialmente no ar ou na água por meio da oxidação, redução, hidrólise e fotólise, podendo ser a molécula de herbicida inativada (SPADOTTO et al., 2010). A degradação biológica ou biodegradação refere-se ao principal processo de degradação de herbicidas, este acontece por ação de microrganismos, principalmente por fungos e bactérias, que estão presentes em maior quantidade nas camadas superficiais do solo (ELLEGAARD et al., 2013). As características do solo e ambiente podem interferir no crescimento da população microbiana, havendo mudança na degradação dos herbicidas.

A persistência de compostos no ambiente é influenciada pela capacidade de sorção, pelo balanço hídrico, transporte de solutos e a taxa de degradação da molécula de herbicida no solo (ALETTO et al., 2010), sendo geralmente expressa pela meia-vida ( $t_{1/2}$ ), que é definida como o intervalo necessário para que ocorra a degradação de 50% da quantidade inicial do herbicida. Quanto maior a persistência do herbicida, maior será o risco de contaminação ambiental, já que

a interação entre o herbicida e o solo permite a retenção de moléculas orgânicas (INOUE et al., 2010).

Como alternativa de manejo as plantas daninhas de difícil controle, principalmente capim-amargoso, se encontra em fase de lançamento o produto Amplexus neste contém a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e será uma nova ferramenta utilizada em pré-emergência para rotação de moléculas herbicidas na cultura da soja. O imazapir e o imazapic, são moléculas que pertence ao grupo químico das imidazolinonas, sendo que a mistura comercial dessas é indicada para o controle de monocotiledôneas e dicotiledôneas.

O herbicida imazapir e seus metabólitos apresentam valores de partição (Kd) bastante baixos, o que demonstra potencial de movimentação vertical, facilitada pela solubilidade em água 11,272 ppm (25°C), constante de ionização ácido (pKa) de 1,9 e 3,6 e coeficiente octanol/água (Kow) de 1,3 (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011). Assim como as demais imidazolinonas o imazapir é considerado persistente no solo, com meia vida variando de 25 a 142 dias (SENSEMAN et al., 2007).

O imazapic apresenta solubilidade em água 2200 ppm (25°C), constante de ionização (pKa) 3,9 e coeficiente octanol/água (Kow) 0,16 (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011). A meia-vida no solo é maior que 180 dias, variando a partir das condições edafoclimáticas locais, sendo a degradação microbiana seu mecanismo inicial de degradação e apresenta mobilidade intermediária no solo (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). O herbicida imazapic quando em pH 6,0 encontra-se muito dissociado e não se espera adsorção do mesmo ao solo, sendo a lixiviação aumentada com o aumento do teor de umidade do solo (Monquero et al. (2013).

Estes herbicidas atuam inibindo de forma irreversível a enzima acetolactato sintase (ALS) presente nos cloroplastos, a qual é essencial na biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011). A ALS atua catalisando duas reações paralelas, sendo estas, a condensação de piruvato, para formar acetolactato; e a condensação de piruvato com 2-oxibutirato, para formar acetohidroxibutirato (EBERLEIN et al., 1997). O herbicida é absorvido pelas folhas e raízes, sendo transportados tanto pelo Xilema como pelo Floema, acumulando nos pontos de crescimento.

Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, são aplicados em taxas muito baixas no solo, porém ainda assim são uma preocupação ambiental pelo seu caráter aniônico, sendo estes muito móveis e facilmente lixiviados para águas subterrâneas (PORFIRI et al., 2015). Embora apresentem baixa toxicidade para seres humanos (PINTADO et al., 2011), a aplicação destes na soja pode vir a causar problemas de *carryover* nas culturas subsequentes, como milho, sorgo, girassol e algodão (SANTOS et al., 2014).

Diante dos diversos fatores que podem influenciar o comportamento de um herbicida no solo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da disponibilidade de água no solo na lixiviação e o residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e a fitotoxicidade deste herbicida no milho semeado em sucessão a soja.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental, no período de outubro de 2016 a abril de 2017, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- Seropédica/RJ. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, com chuvas concentradas entre novembro e março, precipitação anual média de 1.213 mm e temperatura média anual de 23,9 °C (CARVALHO et al., 2011).

Para realização do experimento foram utilizadas colunas de lixiviação, feitas de policloreto de vinila (PVC) (0,60 x 0,25 m), preenchidas com solo previamente peneirado, com peneiras de malha de 5 mm e sem histórico de aplicações de herbicidas. Antes do preenchimento dos tubos foi realizada a calagem do solo com 1,5t de calcário dolomítico com PRNT a 85% e adubação com 70 kg ha<sup>-1</sup> e P<sub>2</sub>PO<sub>5</sub> e 120 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, cujas características físico-químicas analisadas estão presentes na tabela 1. Os tubos permaneceram dentro de casa de vegetação, dispostos verticalmente onde em sua parte basal foram colocadas telas com a finalidade de reter o solo e vasos de polietilenos preenchidos com britas para evitar acúmulo de água de lixiviação no interior das colunas.

**Tabela 1.** Característica química e física do solo utilizado no experimento. UFRRJ, Seropédica/RJ – 2018

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (KG KG <sup>-1</sup> )												
Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural								
0,579	0,194	0,055	0,173	Franco arenoso								
ANÁLISE QUÍMICA												
pH	P	K	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	SB	t	T	m	V	MO
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>						%	%	dag kg <sup>-1</sup>	
5,8	37,2	77	2,33	0,65	0,0	1,8	3,18	3,18	4,98	0	63,9	0,25

Os tratamentos foram dispostos de esquema fatorial 3x3, onde o fator A são as disponibilidades de água no solo, onde o solo foi mantido na capacidade de campo (CC), 70% da capacidade de campo (70%) e 130% da capacidade de campo (130%) e o fator B as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic (controle (sem herbicida), 52,5+17,5 (dose recomendada) e 105+35 (dobro da dose recomendada) g i.a ha<sup>-1</sup>) Adotou-se o delineamento em blocos generalizados com 4 repetições, totalizando 36 unidades amostrais.

A capacidade de campo foi determinada a partir da curva de retenção de água no solo (figura 1), pelo método da câmara de pressão de Richards, sendo utilizadas as pressões de -6, -10, -30, -60, -100 e -1,500 kPa. O modelo utilizado foi baseado na equação de van Genuchten (1980):

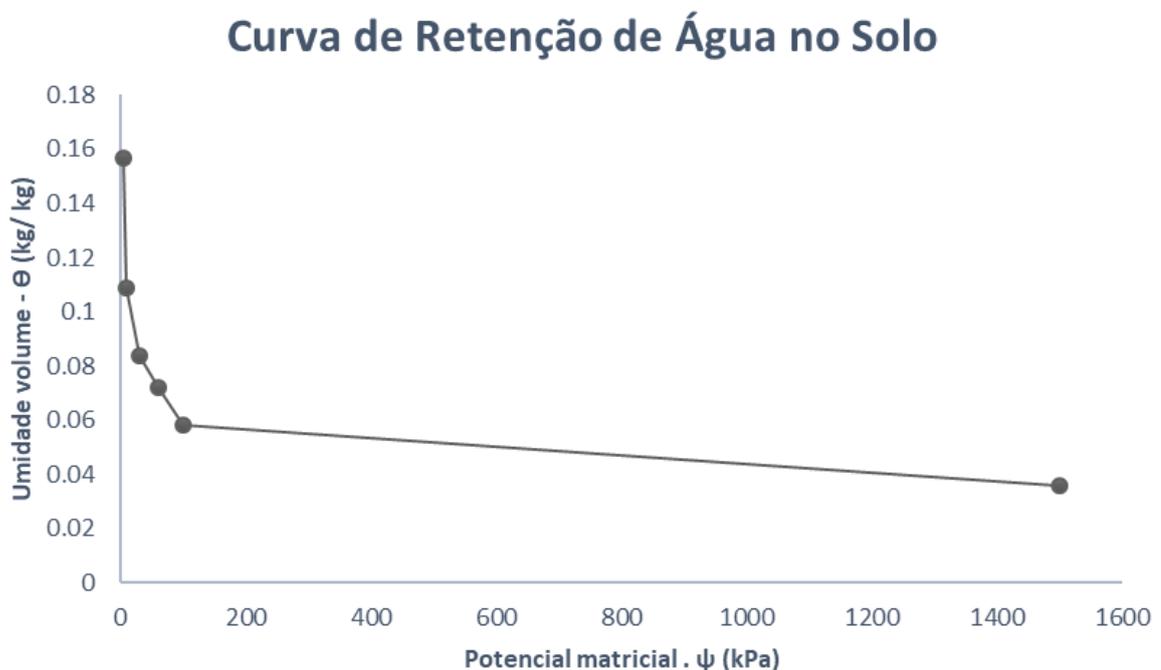
$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s}{[1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n]} m \quad (1)$$

sendo:  $\theta$  conteúdo de água do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ );  $\theta_r$  conteúdo de água residual ( $\text{kg kg}^{-1}$ );  $\theta_s$  conteúdo de água na saturação ( $\text{kg kg}^{-1}$ );  $\psi$  potencial matricial (kPa);  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são os parâmetros empíricos do modelo.

Para os valores obtidos na câmara de Richards, o melhor ajuste (equação 2), foi obtido no programa Soil Water Retentions Curve (SWRC), versão 3.00 Beta (DOURADO NETO et al., 2001):

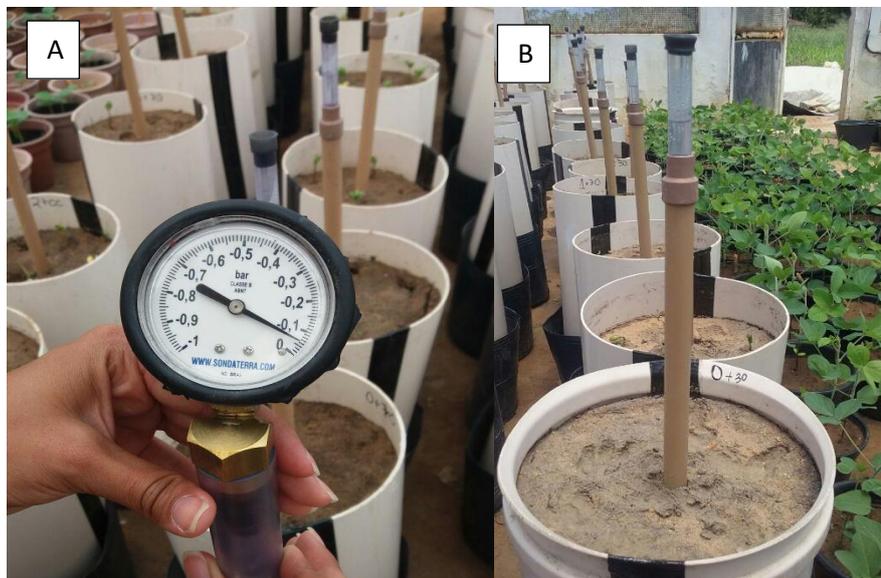
$$\theta = 0,0310 + \frac{0,624}{[1+(2,3554.\psi_m)^{3,0676}]^{0,1907}} \quad (2)$$

O programa utilizado forneceu os seguintes parâmetros:  $\theta_r = 0,031 \text{ kg kg}^{-1}$ ;  $\theta_s = 0,624 \text{ kg kg}^{-1}$ ;  $\alpha = 2,3554$ ;  $m = 0,1907$ ; e  $n = 3,0676$ . Os valores de  $\theta_r$  e  $\theta_s$  indicam umidade residual e umidade na saturação, respectivamente. Os dados de  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros empíricos ser estimados pelo ajuste dos dados. A equação 2 apresentou coeficiente de determinação,  $R^2$ , de 0,965, em um nível de significância de 5%, indicando correspondência adequada entre os valores obtidos e os estimados pelo ajuste.



**Figura 1.** Curva de retenção de água no solo, obtida pelo software SWRC (DOURADO NETO et al., 2001)

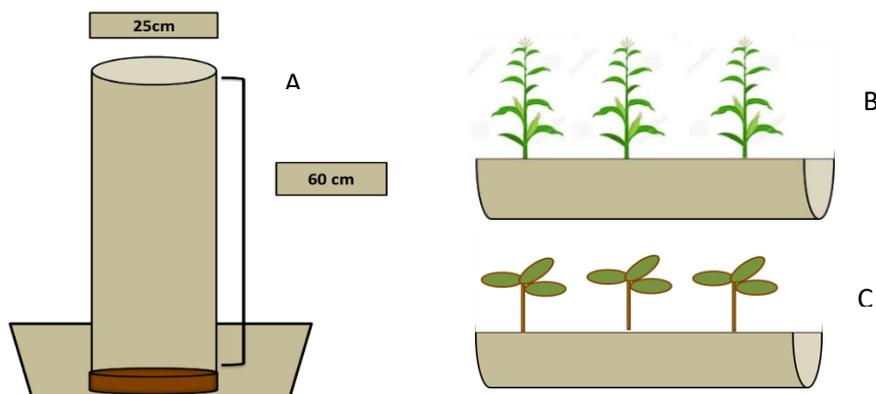
Com uso de tensiômetros (Figura 2) foram realizadas medições diárias da tensão em que água se encontrava no solo, a água era reposta com a finalidade de manter o solo com a umidade pré-determinada nos tratamentos.



**Figura 2.** Leituras realizadas utilizando o tensiômetro (A) e disposição do tensiômetro nos tubos de PVC (B), Seropédica-RJ, 2018.

O sistema utilizado foi plante-aplique, onde realizou-se a semeadura da Soja Cultivance<sup>®</sup>, cv BRS 397, linhagem BRZ 11-6426 no topo das colunas e em seguida foi realizada a aplicação do herbicida. A aplicação da mistura comercial dos herbicidas foi feita na superfície das colunas, em pré-emergência, utilizando-se um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> com pressão de 40psi, com 4 pontas XR110015 e volume de calda equivalente a 150 L ha<sup>-1</sup>. No momento da aplicação as condições climáticas foram: temperatura de 27°C, umidade relativa do ar de 75% e a velocidade do vento de 3,1 Km h<sup>-1</sup>.

Após 120 dias de condução da cultura de soja, foi realizada a coleta das plantas e imediatamente se procedeu à abertura das colunas no sentido vertical, originando duas canaletas, sendo um total de 8 canaletas por tratamento. O solo no interior das canaletas foi dividido com uma chapa plástica separando-as em duas partes em que a primeira porção da coluna (0-30 cm) se nomeou topo e a segunda porção da coluna a base (30-60 cm). Na metade das canaletas de cada tratamento (04 canaletas), foi semeada a cultura do milho (*Zea mays*) híbrido 2B610PW (3 plantas no topo e 3 plantas na base) e na outra metade a melancia (*Citrullus lanatus*) cv Congo como espécie bioindicadora (4 plantas no topo e 4 plantas na base). Para a escolha da melancia cv Congo como planta bioindicadora, foram realizados testes preliminares. A irrigação foi realizada diariamente e foi acrescido a mesma quantidade de água no topo e na base das canaletas. Após a germinação das espécies, a cada 15 dias, foram realizadas as avaliações não destrutivas e 30 dias após a germinação as avaliações destrutivas.



**Figura 3.** Esquema de montagem do experimento, onde A- coluna de lixiviação, B- canaleta com plantas de milho e C - canaleta com plantas bioindicadoras, UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

As variáveis-resposta analisadas para as plantas de soja foram: aos 30, 60 e 90 dias após aplicação (DAA) a fluorescência da clorofila *a* (análise não-destrutiva), aos 120 DAA altura de planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de grãos (análise destrutiva). Para as plantas de milho e melancia foram avaliadas: aos 15 e 30 dias após germinação (DAG) a fluorescência das clorofilas *a* (análise não-destrutivas) e 30 DAG altura de plantas, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) (análises destrutivas).

A fluorescência transiente da clorofila *a* foi medida utilizando-se um fluorômetro portátil (HandyPEA, Hansatech, King's Lynn, Norfolk, UK). Os cliques utilizados para estas medições foram colocados no terço médio de folhas jovens completamente expandidas, no período da manhã, e as medições foram realizadas 20 minutos após a adaptação das folhas ao escuro, sendo utilizadas 08 repetições por tratamento. A emissão de fluorescência foi induzida em uma área de 4mm de diâmetro da folha pela exposição da amostra a um pulso de luz saturante numa intensidade de  $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A partir da curva de emissão de fluorescência transiente obtida após o pulso, as intensidades determinadas a  $50\mu\text{s}$  (fluorescência inicial - F0),  $100, 300\mu\text{s}$ , 2 (FJ) e 30 (FI) ms e FM (fluorescência máxima), foram utilizadas para o cálculo dos parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (STRASSER & STRASSER, 1995; STRASSER et al., 2004; TSIMILLI-MICHAEL & STRASSER, 2008).

**Tabela 2.** Principais parâmetros do Teste JIP (STRASSER et al., 2004 e adaptado por YUSUF et al., 2010).

<i>Parâmetros de fluorescência calculados a partir dos dados primários obtidos</i>	
$F_v = F_M - F_0$	Fluorescência variável
$F_v/F_M$	Rendimento quântico máximo do FSII
$V_t$	Fluorescência variável relativa em um tempo "t"
$V_j$	Fluorescência variável relativa em relação ao nível J
$V_i$	Fluorescência variável relativa em relação ao nível I
$M_0 = 4(F_{300\mu s} - F_0)/(F_M - F_0)$	Declive inicial aproximado (em $ms^{-1}$ ) da fluorescência transiente $V = f(t)$
$S_s = V_j/M_0$	Área total normalizada complementar correspondente apenas a fase OJ (reflete um único volume de eventos de redução de $Q_A$ )
$S_m = (Area)/(F_M - F_0)$	Área total normalizada complementar acima da curva OJIP (reflete múltiplos eventos de redução $Q_A$ )
$N = S_m/S_s$	Número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons entre o tempo 0 e (necessário para atingir $F_M$ )
<i>Atividade específica por centro de reação (RC)</i>	
$ABS/RC = M_0 (1/V_j)$ ( $1/\phi P_0$ )	Medida do tamanho aparente do sistema antena ou o fluxo de absorção por RC
$TR_0/RC = M_0 (1/V_j)$	Máxima taxa pela qual um éxciton é capturado pelo RC resultando em uma redução da plastoquinona ( $Q_A^-$ )
$ET_0/RC = M_0 (1/V_j) \Psi_0$	Reoxidação da $Q_A^-$ via transporte de elétrons em um RC ativo
$DI_0/RC = (ABS/RC) - (TR_0/RC)$	Razão de dissipação total de energia de excitação não capturada do total de RC, sendo a dissipação neste caso à perda de energia na forma de calor
$RE_0/RC$	Redução do acceptor final de elétrons no lado do acceptor de elétrons do FSI por RC
<i>Rendimentos energéticos ou taxas de fluxo</i>	
$\phi P_0 = TR_0/ABS = F_v/F_M$	Rendimento quântico máximo fotoquímico
$\phi E_0 = ET_0/ABS$	Rendimento quântico de transporte de elétrons de $Q_A^-$ para o intersistema de aceptores de elétrons
$\phi D_0 = 1 - \phi P_0 = (F_0/F_M)$	Rendimento quântico para dissipação de energia
$\phi R_0 = RE_0/ABS$	Rendimento quântico de transporte de elétrons de $Q_A^-$ para o acceptor final de elétrons do FSI
<i>Eficiências</i>	
$\psi E_0 = ET_0/TR_0$	Eficiência com que um éxciton capturado no RC pode mover um elétron de $Q_A^-$ para o intersistema de aceptores de elétrons
$\rho_0 = RE_0/TR_0$	Eficiência com que um éxciton capturado no RC pode mover um elétron dentro da cadeia de transporte de elétrons de $Q_A^-$ para os aceptores finais de elétrons do FSI
$\delta R_0 = RE_0/ET_0$	Eficiência com que um elétron pode mover o intersistema de aceptores de elétrons reduzidos no intersistema para o acceptor final de elétrons do FSI
<i>Índices de desempenho</i>	
$PI_{ABS} = \frac{RC}{ABS} \times \left(\frac{\phi P_0}{1 - \phi P_0}\right) \times \left(\frac{\Psi_0}{1 - \Psi_0}\right) = \frac{RC}{ABS} \times \frac{TR_0}{DI_0} \times \frac{ET_0}{1 - ET_0}$	Índice de desempenho fotossintético (conservação de energia a partir do éxciton para a redução dos aceptores de elétrons do intersistema)
$PI_{total} = PI_{ABS} \times \left(\frac{\delta_0}{1 - \delta_0}\right)$	Índice de desempenho fotossintético total (conservação de energia a partir de éxciton para a redução de aceptores finais do FSI)

No momento da coleta foi medida a altura de duas plantas representativas; medindo-se a distância entre a superfície do solo e o ápice da folha mais jovem. Em seguida, houve a separação da parte aérea e da raiz das plantas que foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e transportadas para o laboratório do Departamento de Engenharia (UFRRJ/IT), transferidos para uma estufa de circulação forçada de ar em temperatura de  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$  até atingirem massa constante, e em seguida foi determinada a massa seca da parte aérea e das raízes em balança analítica.

Os dados gerados no experimento foram submetidos à análise da variância ( $p\leq 0,05$ ) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (MACHADO; CONCEIÇÃO, 2007).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Cultura da soja

Para a cultura da soja as variáveis altura de plantas e número de vagens por planta mostraram resultados semelhantes, sendo estes significativos apenas para a disponibilidade de água no solo (Tabela 4). Nas condições onde a umidade do solo se encontrava na CC e 70%, no tratamento sem herbicida houve redução de ambas variáveis; para altura de plantas foram observadas reduções de 15% e 19% e número de vagens reduções de 32% e 45%, respectivamente para CC e 70%. Independente da dose do herbicida, foi observada redução das variáveis em solos sob déficit hídrico (70%), quando comparada aos demais tratamentos, com reduções superiores a 30% e 45% para altura de plantas e número de vagens por planta, respectivamente.

**Tabela 3.** Altura de plantas e número de vagens por planta, da cultura da soja, sob doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

DOSE (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Altura de Plantas (cm)			Número de vagens planta <sup>-1</sup> (un)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	62,38 <sup>NS</sup> a	52,75 <sup>NS</sup> b	50,25 <sup>NS</sup> b	23,75 <sup>NS</sup> a	16,13 <sup>NS</sup> b	13,00 <sup>NS</sup> b
52.5+17.5	65,06 a	62,63 a	50,31 b	23,25 a	19,38 ab	12,63 b
105+35	63,94 a	61,63 a	46,13 b	26,50 a	23,13 a	13,75 b
	CV (%) 7,61			CV (%) 21,46		

Letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo.

Para a variável número de grãos planta<sup>-1</sup> (Tabela 5), houve interação entre os fatores dose do herbicida e disponibilidade de água no solo. No tratamento 130%, as plantas sob o dobro da dose apresentou a menor média quando comparado com a testemunha e a dose recomendada, enquanto que para CC e 70%, a presença do herbicida não interferiu na variável avaliada. Independente da dose do herbicida foi observado decréscimo do número de grãos por planta com a menor disponibilidade de água. Entretanto, foram observados danos mais severos nesta variável na ausência do herbicida (redução 52%) e na dose mais baixa do herbicida (redução 56%), quando comparados a redução obtida para o dobro da dose recomendada (24%).

Para a variável massa de grãos (Tabela 5), foram encontrados resultados significativos apenas para o fator disponibilidade de água no solo. Nos tratamentos onde as plantas se encontravam na CC e 70%, no tratamento sem herbicida, houve redução de 35% e 45%, respectivamente, quando comparados a 130%. Para o dobro da dose recomendada, foi observado redução de 46%, quando comparado 130% com 70%, não se diferindo da CC.

**Tabela 4.** Número de grãos e massa de grãos, da cultura da soja, sob doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%-30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

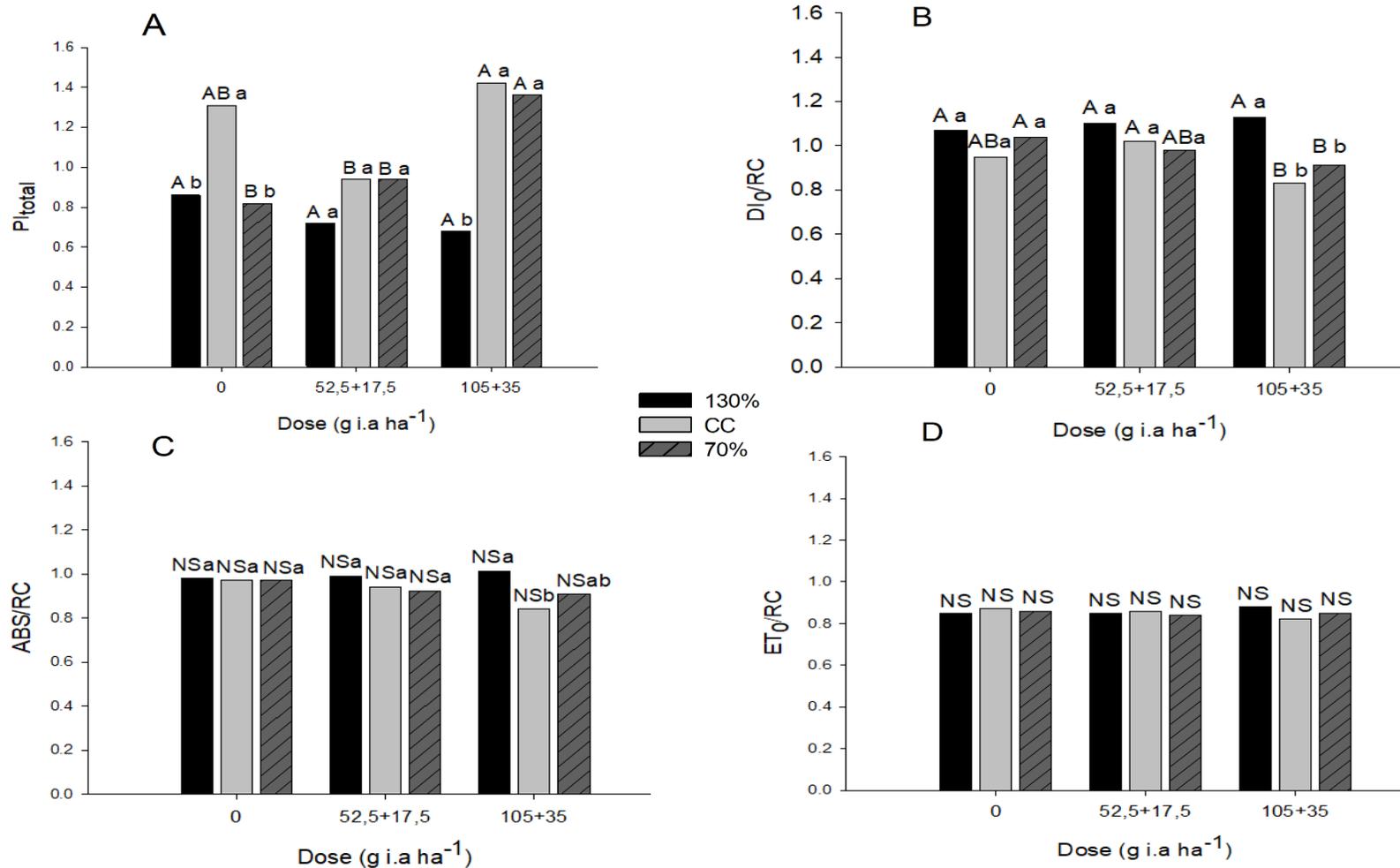
DOSE (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Número de grãos planta <sup>-1</sup> (un)			Massa de grãos (g)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	63,63Aa	43,00 Ab	30,38 Ac	4,98 <sup>NS</sup> a	3,23 <sup>NS</sup> b	2,73 <sup>NS</sup> b
52.5+17.5	65,17Aa	48,25 Ab	28,63 Ac	4,06 a	4,08 a	2,55 a
105+35	49,83Ba	48,17 Aab	38,00 Ab	4,96 a	3,86 ab	2,67 b
	CV (%) 12,89			CV (%) 26,57		

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo.

De acordo com os dados obtidos pela análise da fluorescência da clorofila *a* para as plantas de soja aos 30, 60 e 90 dias após aplicação da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, foi possível calcular os parâmetros  $PI_{total}$ ,  $DI_0/RC$ ,  $ABS/RC$  e  $ET_0/RC$ , pelo teste JIP. Aos 30 dias após aplicação da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, o parâmetro  $PI_{total}$  (Figura 4A) apresentou interação entre a dose do herbicida e a disponibilidade de água no solo. Quanto ao fator dose, para a CC, houve acréscimo 34% no dobro da dose recomendada, quando comparado ao tratamento na dose recomendada. Em 70% foi observada diferença da dose recomenda e do tratamento sem herbicida em 31% e 41%, respectivamente, em relação ao dobro da dose. Quanto a disponibilidade de água no solo, no tratamento sem herbicida, foi observada reduções do parâmetro em 34% e 39%, na maior e menor disponibilidade de água no solo, respectivamente, quando comparados a CC. No dobro da dose recomendada, o tratamento 130%, diferiu de CC e 70%, apresentando este, redução de 52 e 50%, respectivamente.

Para o parâmetro  $DI_0/RC$  (Figura 4B), houve interação entre a dose do herbicida e a disponibilidade de água, entretanto não foram observadas severas injúrias ao aparato fotossintético. Para as doses do herbicida, na CC, o tratamento sem herbicida, não se diferiu da dose recomendada e dobro da dose recomendada; comparando a dose recomenda com o dobro da dose recomendada a redução foi de 19%. O tratamento sem herbicida, na menor disponibilidade de água no solo, não se difere da dose recomendada, porém se difere do dobro da dose, o qual apresentou redução de 13% da dissipação de energia na forma de calor. Comparando as diferentes disponibilidades de água no solo, no dobro da dose recomendada, 130%, se difere de CC e 70%, sendo observadas reduções de 27% e 19%, respectivamente para as duas últimas.

O parâmetro  $ABS/RC$ , apresentou resultados significativos apenas para a disponibilidade de água no solo (Figura 4C), no dobro da dose, a CC diferiu de 130%, quando comparados, houve elevação de 17%. O parâmetro  $ET_0/RC$  (Figura 4D), não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.



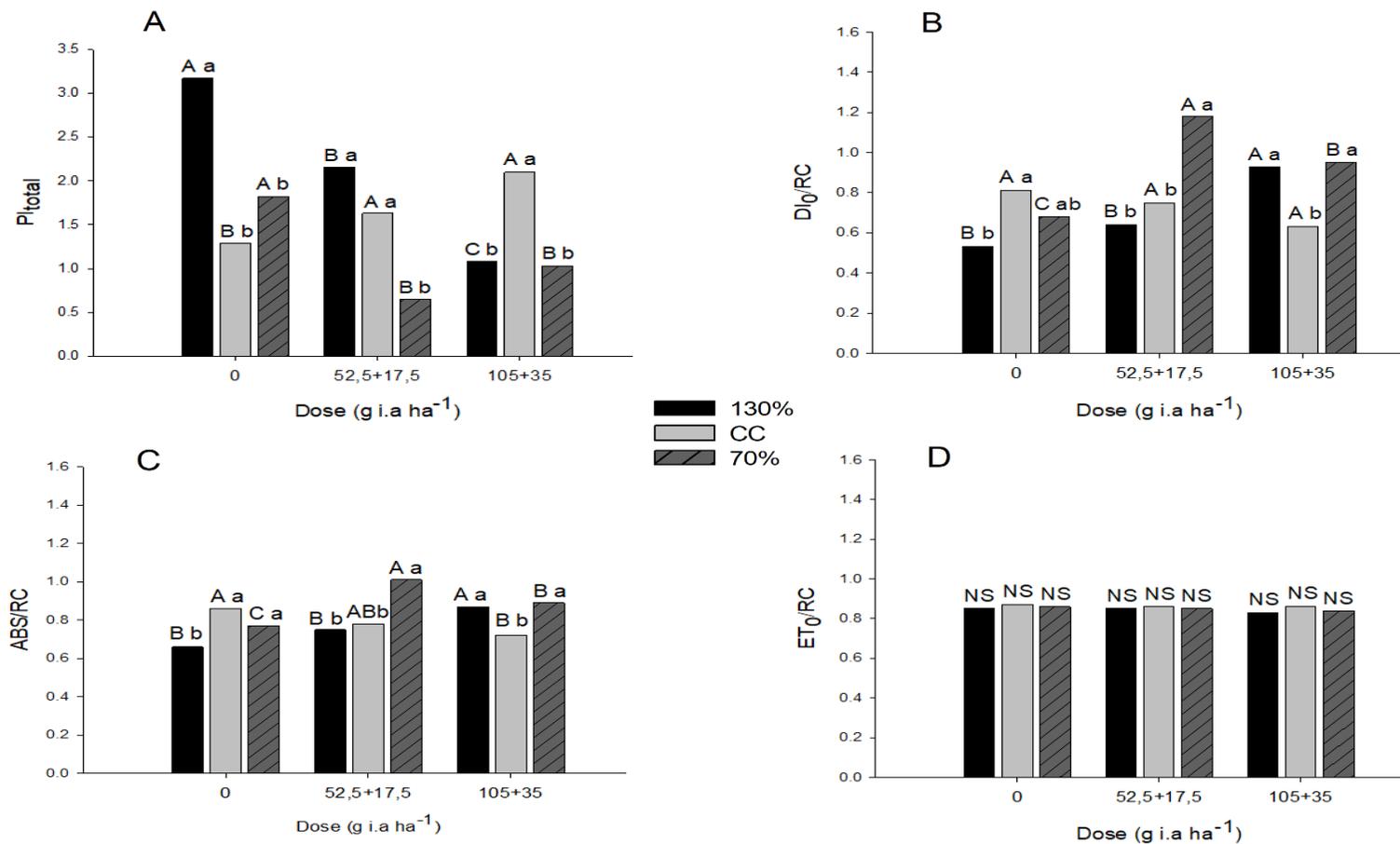
**Figura 4.** Parâmetros PI<sub>total</sub> (A), DI<sub>0</sub>/RC (B), ET<sub>0</sub>/RC (C) e ABS/RC (D) da fluorescência da clorofila *a*, pelo teste JIP, para as plantas de soja 30 dias após a aplicação da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

Aos 60 dias após aplicação da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, foram observados resultados semelhantes ao anterior (30 dias de avaliação – Figura 4), onde os parâmetros  $PI_{total}$ ,  $DI_0/RC$  e  $ABS/RC$ , apresentaram interação entre a dose do herbicida e a disponibilidade de água no solo, já a  $ET_0/RC$ , não apresentou resultados significativos.

Para o parâmetro  $PI_{total}$  (Figura 5A) no tratamento 130%, as doses diferenciaram entre si, quando comparadas com a testemunha sendo a redução de 32% e 66%, para dose e dobro da dose, respectivamente. Na CC, diferiram testemunha do dobro da dose que reduziu em 39%. Em 70%, houve redução de 64% para dose recomendada e de 43% para o dobro da dose, quando comparados ao tratamento sem herbicida. O parâmetro  $PI_{total}$ , também foi reduzido pelo estresse hídrico. Para o tratamento sem herbicida, quando comparados 130% com CC e 70%, a redução foi de 59% e 43%, respectivamente. Na dose recomendada quando comparados 70% de CC e 130%, apresentaram acréscimo de 60% e 70%, respectivamente. No dobro da dose, a CC, se diferiu da maior e menor disponibilidade de água, sendo a redução de 49% e 5%, respectivamente.

No parâmetro  $DI_0/RC$  (Figura 5B) o dobro da dose recomendada, na maior disponibilidade de água, diferiu dos demais tratamentos apresentando elevação de 31% e 43%, em comparação a dose e tratamento sem herbicida, respectivamente. Em 70%, a dose e dobro da dose, apresentaram elevação de 42% e 28%, respectivamente, comparado ao tratamento sem herbicida. Em relação ao estresse hídrico, no tratamento sem herbicida, a CC apresenta elevação do parâmetro de 35%, quando comparado a 130%. Na dose recomendada, há elevação do parâmetro  $DI_0/RC$  em 70%, quando comparado com os tratamentos CC e 130% a elevação foi de 36% e 46%, respectivamente.

Com relação ao parâmetro  $ABS/RC$  (Figura 5C) no tratamento 130%, o dobro da dose recomendada apresenta acréscimo do parâmetro de 14% e 24%, quando comparado a dose recomendada e dobro da dose respectivamente. Na CC, o tratamento sem herbicida diferencia do dobro da dose que reduz em 16%. Para a menor disponibilidade de água no solo, foi observado aumento do parâmetro na dose recomendada e no dobro da dose, quando comparados com a testemunha, o acréscimo foi de 24% e 13%, respectivamente. Quanto a disponibilidade de água, no tratamento sem herbicida, 130% apresentou redução do parâmetro  $ABS/RC$  de 23%, quando comparado a CC e de 14% quando comparado a 70%. Na dose recomendada, 70% difere dos demais, com elevação de 23% e 26%, comparados a CC e 70%, respectivamente. No dobro da dose, a maior e menor disponibilidade de água apresentam elevação de 17% e 19%, respectivamente, quando comparados a CC. O parâmetro  $ET_0/RC$  (Figura 6C), não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.



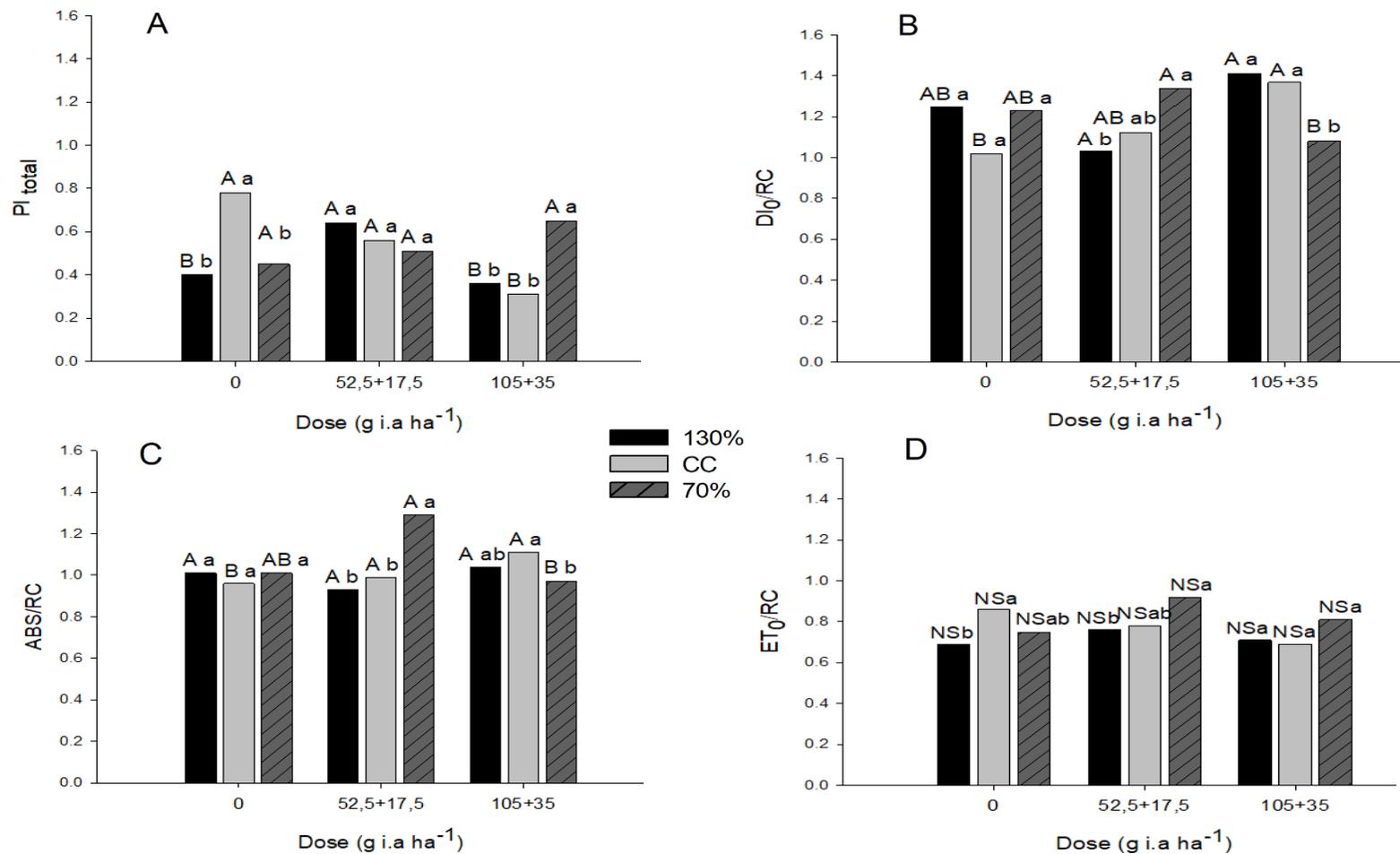
**Figura 5.** Parâmetros  $PI_{total}$  (A),  $DI_0/RC$  (B),  $ABS/RC$  (C) e  $ET_0/RC$  (D) da fluorescência da clorofila *a*, pelo teste JIP, para as plantas de soja 60 dias após a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

Aos 90 dias após aplicação da mistura comercial dos herbicidas imazapir+ imazapic, o parâmetro  $PI_{total}$ ,  $DI_0/RC$  e  $ABS/RC$ , apresentam interação entre a dose do herbicida e a disponibilidade de água no solo, já o  $ET_0/RC$ , apresentou resultados significativos para a disponibilidade de água no solo.

No parâmetro  $PI_{total}$ , (Figura 6A) em 130%, houve aumento de 37% na dose recomendada, quando comparada ao tratamento sem herbicida e de 44% comparado ao dobro da dose. Na CC, houve redução no dobro da dose de 28% comparado ao tratamento sem herbicida e de 60% comparado ao tratamento ao dobro da dose. Para a disponibilidade de água no solo, houve redução do parâmetro  $PI_{total}$ , 130% e 70%, correspondentes a 49% e 42%, quando comparados a CC. No dobro da dose recomendada, 130% e CC, reduzem em 45% e 52%, comparados a 70%.

Para o parâmetro  $DI_0/RC$  (Figura 6B), 130% há elevação de 27% no dobro da dose, comparado a dose recomendada. Na CC, o tratamento no dobro da dose apresenta elevação de 25%, comparado ao tratamento sem herbicida. Em 70% a dose recomendada comparada ao dobro da dose, obtém elevação de 19%. Comparando a maior e menor disponibilidade de água, na dose recomendada, há elevação de 23% na menor disponibilidade de água. No dobro da dose recomendada, CC e 130%, comparados a 70%, ocorre elevações de 21% e 23%.

No parâmetro  $ABS/RC$  (Figura 6C), na CC, comparado a dose recomendada e dobro da dose ao tratamento sem herbicida, há elevação de 3% e 13%, respectivamente. Em 70%, a dose recomendada apresenta elevação de 25% em relação ao dobro da dose e ambas não diferem do tratamento sem herbicida. Para a disponibilidade de água no solo, na dose recomenda, 70% apresenta elevação do parâmetro, comparando com a CC, foi de 23%. No dobro da dose há elevação do parâmetro na CC, comparado a 70%, esta foi de 13%. Para parâmetro  $ET_0/RC$  (Figura 6D), no tratamento sem herbicida 70% reduz em 20%, comparado a CC. Na dose recomendada, há redução de 17% em 130% comparado a 70%.



**Figura 6.** Parâmetros  $PI_{total}$  (A),  $DI_0/RC$  (B),  $ABS/RC$  (C) e  $ET_0/RC$  (D) da fluorescência da clorofila *a*, pelo teste JIP, para as plantas de soja semeadas 90 dias após a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

## 4.2 Teste de Resíduo e Lixiviação por Bioindicadora

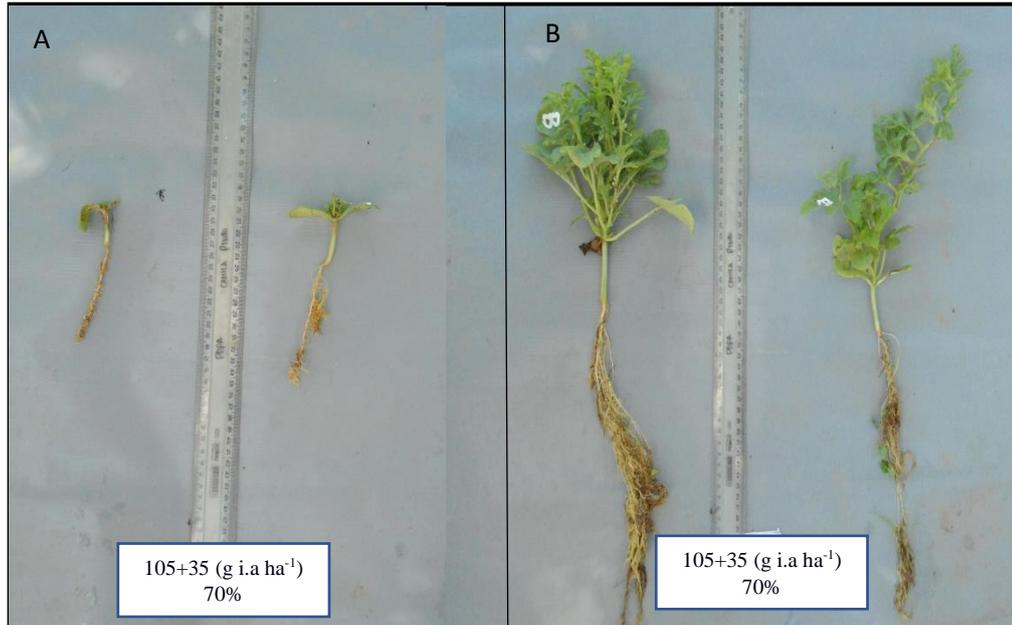
Os resultados encontrados para a cultura da melancia semeada sob o residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic mostram que houve interação significativa entre dose, disponibilidade de água no solo e posição (topo e base) em todas as variáveis analisadas. A planta utilizada como bioindicadora se mostrou sensível ao residual do herbicida no solo. Os diferentes níveis de umidades do solo favoreceram a lixiviação ou retenção do herbicida, uma vez que as plantas posicionadas no topo das canaletas, na menor disponibilidade de água sofreram maior injúria, evidenciando a retenção do herbicida em solos mais secos. Em casos onde havia maior disponibilidade de água, as plantas posicionadas na base das canaletas apresentaram maior fitotoxicidade na presença do herbicida, evidenciando assim a lixiviação da molécula (Figura 8).

Avaliando as plantas posicionadas no topo das canaletas, para a variável altura de plantas (Tabela 6), o residual do herbicida no solo interferiu na variável analisada. Independente da dose do herbicida foi observado decréscimo na altura da planta, sendo observado danos mais severos no dobro da dose (Figura 7). Para 130%, as plantas no tratamento sem herbicida reduziram 20% quando comparado a dose recomendada. Na CC e 70% as plantas, comparadas a testemunha houve reduções de 28% e 65%, na dose recomendada de 62% e 85% no dobro da dose, respectivamente. Com a redução da disponibilidade de água no solo, nos tratamentos com herbicida, foram observadas reduções mais severas na altura das plantas, sendo estas na CC e 70% de 23% e 54% para dose recomendada e de 41% e 71% para o dobro da dose, respectivamente quando comparados a 130%. Para as plantas posicionadas na base das canaletas em 130%, houve reduções de 34% e 32%, para dose recomendada e dobro da dose respectivamente, quando comparado ao tratamento sem herbicida. Em 70%, as reduções foram de 36% e 45%, foram observadas nas plantas, para dose recomendada e dobro da dose, respectivamente, quando comparado ao tratamento sem herbicida. Na CC, houve acréscimo da altura na presença do herbicida, sendo este de 42,59% na dose recomendada e de 33% no dobro da dose. Na presença da dose comercial do herbicida as plantas na maior e menor disponibilidade de água diferiram da CC, apresentando reduções em relação a esta de 37,22% e 23,72%, respectivamente. No dobro da dose, as plantas em 70% apresentam decréscimo de 24% comparado a CC.

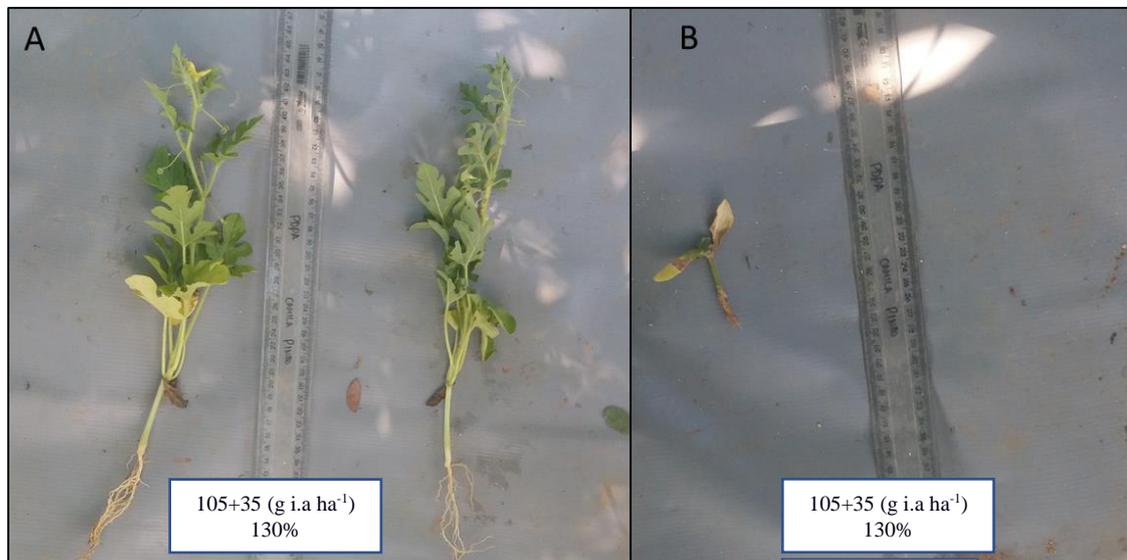
**Tabela 5.** Altura das plantas de melancia semeadas em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

DOSE (g i.a ha <sup>-1</sup> )	ALTURA DA PLANTA					
	TOPO (cm)			BASE (cm)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	33,83 Bb	46,00 Aa	52,00Aa	37,88 Aa	21,17 Bb	43,83 Aa
52.5+17.5	43,33 Aa	33,00 Bb	19,83 Bc	23,15 Bb	36,88 Aa	28,13 Bb
105+35	27,25 Ba	16,00 Cb	8,00 Cc	25,85 Bab	31,67 Aa	24,00 Bb
CV (%) 12,81						

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada.



**Figura 7.** Plantas de melancia, semeadas sob o residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, no dobro da dose recomendada e na menor disponibilidade de água (70%), onde A- topo e B- base, UFRRJ, Seropédica-RJ, 2018.



**Figura 8.** Plantas de melancia, semeadas no solo sob residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, no dobro da dose recomendada e na maior disponibilidade de água (130%) onde A- topo e B- base, UFRRJ, Seropédica-RJ, 2018.

Para a variável massa seca de parte aérea as plantas posicionadas no topo das colunas (Tabela 7) apresentaram reduções na massa na presença do herbicida, principalmente na menor disponibilidade de água no solo. Na CC, o dobro da dose proporcionou decréscimo na massa seca da parte aérea correspondente a 45%, comparado ao tratamento sem herbicida. Em 70%

as plantas reduziram 64% na dose recomendada e 92% no dobro da dose foram observadas, quando comparados ao tratamento testemunha. Quanto a disponibilidade hídrica, no tratamento sem herbicida, as plantas reduziram de 41% na CC e 45% em 130%, comparadas a menor disponibilidade de água no solo. Na dose recomendada, as plantas na CC e 70% decresceram a massa, em 33% e 47%, respectivamente em relação a 130%. No dobro da dose, as plantas em 70% apresentam redução de 77% e 85%, comparado as plantas na CC e 130%, respectivamente. As plantas posicionadas na base das canaletas (Tabela 7) sob restrição hídrica, foi observada redução de 52% e 48% para a dose recomendada e dobro da dose, respectivamente, em relação as plantas na ausência de herbicida. Na CC e 70%, houve incremento de massa nas plantas sob o dobro da dose, quando comparado a dose recomendada, sendo esta de 28% e 33%, respectivamente. As plantas na maior disponibilidade de água no solo, apresentou redução sob doses do herbicida, comparados a CC e 70%; o decréscimo em massa foi de 48% e 44% na dose recomendada, 60% e 58% para o dobro da dose, respectivamente.

**Tabela 6.** Massa seca da parte aérea das plantas de melancia semeadas em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

MASSA SECA DE PARTE AÉREA						
DOSE (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	TOPO (g)			BASE (g)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	1,26Ab	1,35Ab	2,29 Aa	1,39Aa	1,67ABa	1,49ABa
52.5+17.5	1,56 Aa	1,04ABb	0,82 Bb	0,66Bb	1,29 Ba	1,19 Ba
105+35	1,15 Aa	0,74 Ba	0,17 Cb	0,72 Bb	1,80 Aa	1,73 Aa
CV (%) 20,78						

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada.

Para a variável massa de raiz (Tabela 7), para as plantas posicionada no topo das canaletas, no tratamento sob restrição hídrica, no dobro da dose, apresentaram decréscimo de 50%, em relação as plantas na testemunha. As plantas na ausência de herbicida, em 70% apresentaram incremento em massa seca de raiz de 27%, comparado a 130%. Para as plantas posicionada na base das canaletas (Tabela 7), em 130%, o tratamento sem herbicida e dobro da dose apresentam acréscimo em massa de 50% e 45%, respectivamente, quando comparado a dose recomendada. Na CC, as plantas sob o dobro da dose apresentaram acréscimo da massa em 54% comparado as plantas no tratamento na ausência de herbicida e de 42% na dose recomendada. Em 70%, houve decréscimo em massa de 26% no dobro da dose em relação ao tratamento sem herbicida. A massa das plantas reduzira, independente da dose, na ausência de herbicida, o tratamento 130% apresenta reduções de 37%, quando comparado com 70%; já para dose recomendada, CC e 70% apresentam acréscimo em massa de 57% e 62%, respectivamente, quando comparados a 130%. No dobro da dose recomenda, quando comparados com CC, a redução é de 57% em 130% e de 54% em 70%.

**Tabela 7.** Massa seca de raiz das plantas de melancia semeadas em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no

solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

<b>MASSA SECA DE RAIZ</b>						
DOSE (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	TOPO (g)			BASE (g)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	0,08 Ab	0,11Aab	0,14 Aa	0,12 Ab	0,11 Bb	0,19 Aa
52.5+17.5	0,11Aa	0,08Aa	0,11Aba	0,06 Bb	0,14 a	0,16 ABa
105+35	0,07Aa	0,08 Aa	0,07 Ba	0,11Ab	0,24 Aa	0,14 Bb

CV (%) 23.26

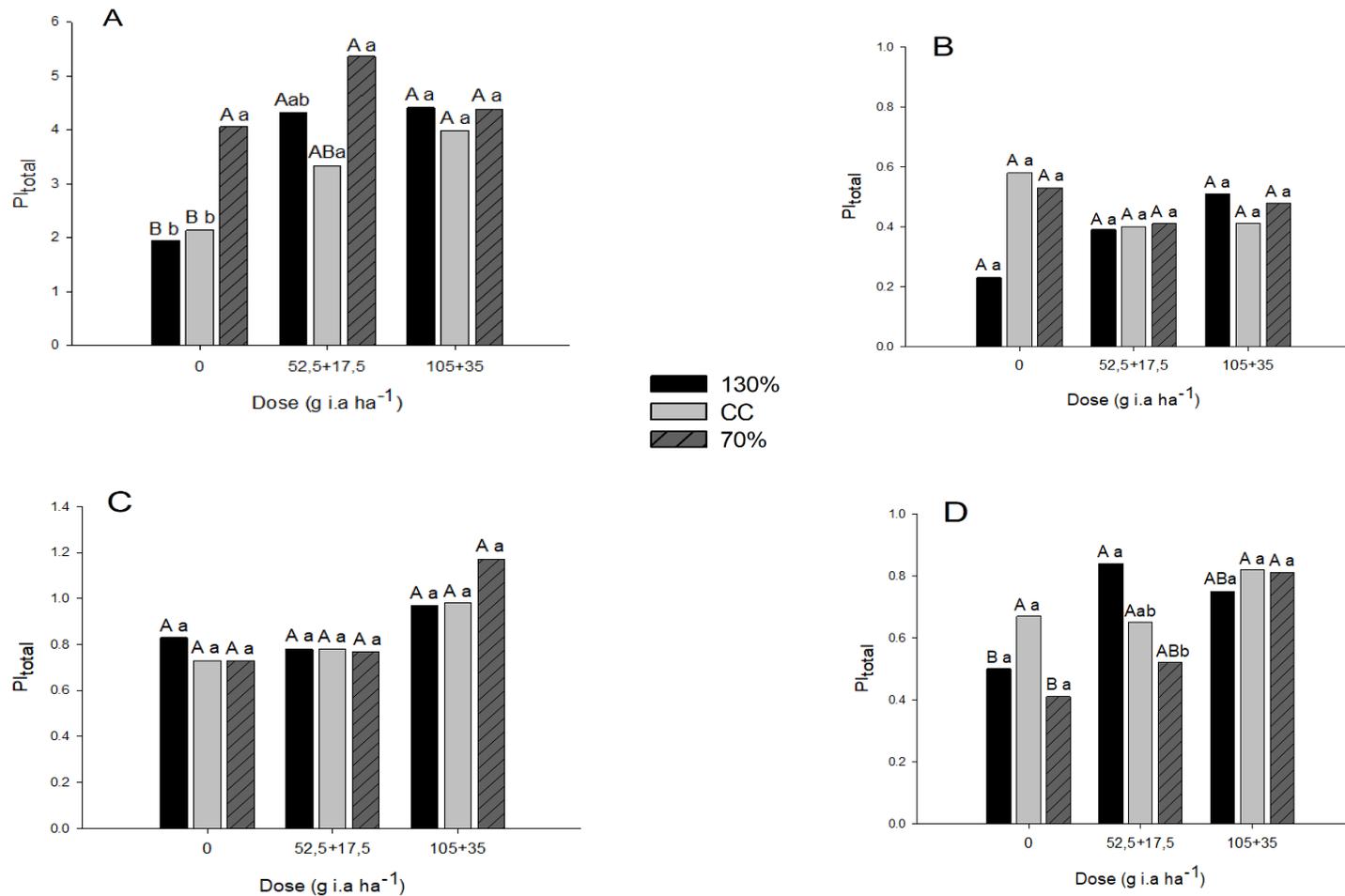
Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada.

A partir dos dados obtidos para as plantas de melancia 15 e 30 dias após semeadura, sob residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir + imazapic, foi possível calcular os parâmetros  $PI_{total}$ ,  $DI_0/RC$ ,  $ABS/RC$  e  $ET_0/RC$  da fluorescência a, obtidos pelo teste JIP.

Aos 15 dias após a germinação (DAG), o parâmetro  $PI_{total}$  apresenta, interação entre os fatores dose e água e também em dose e posição (topo e base). Aos 30 dias após germinação, apresenta resultados significativos para a dose e posição.

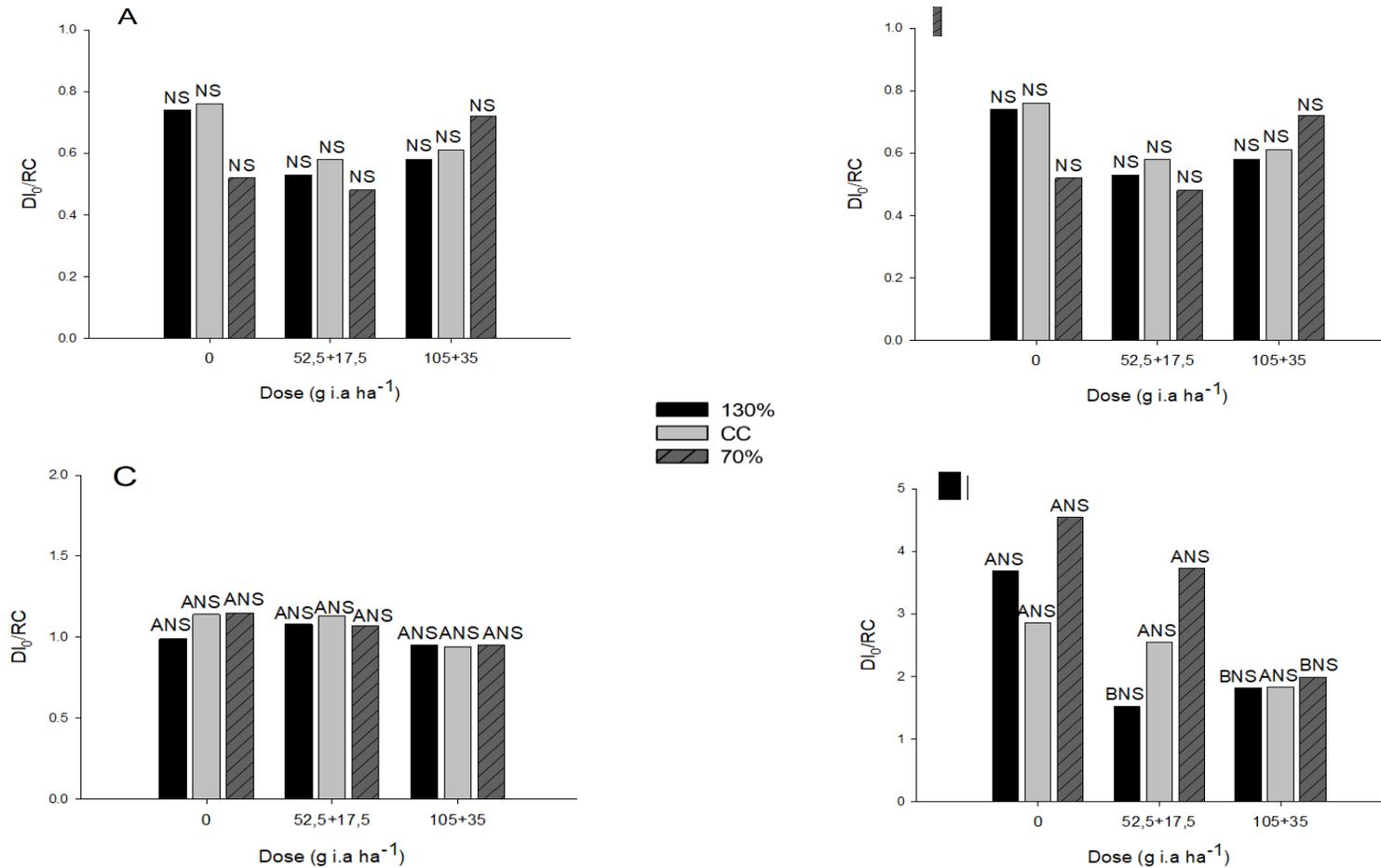
Aos 15 DAG (Figura 9A), o parâmetro  $PI_{total}$  apresenta expressiva alteração, para as plantas posicionadas no topo, não sendo observadas, na base das canaletas (Figura 9B). Em 130% há acréscimo na presença do herbicida de 55% na dose recomendada e de 56% no dobro da dose, em relação ao tratamento na ausência do herbicida. Na CC, o dobro da dose teve aumento de 46% em relação ao tratamento sem herbicida. Na ausência de herbicida, a restrição hídrica, apresenta aumento de 47% e 56%, comparado a CC e 130%, respectivamente. Na dose recomendada, 130% aumenta em 38% em relação a CC.

Aos 30 DAG (Figura 9C), no topo das canaletas é observado em 70%, acréscimo no dobro da dose em 38%, comparado ao tratamento ser herbicida e 34% comparado a dose recomendada. Já para as plantas posicionadas na base das canaletas (Figura 9D), em 130%, a dose recomendada apresenta acréscimo de 40% em relação ao tratamento sem herbicida. Em 70%, o dobro da dose apresenta acréscimo de 49%, comparado ao tratamento sem herbicida. Na dose recomendada, 130% apresenta elevação do parâmetro  $PI_{total}$ , de 38%, comparado 70%.



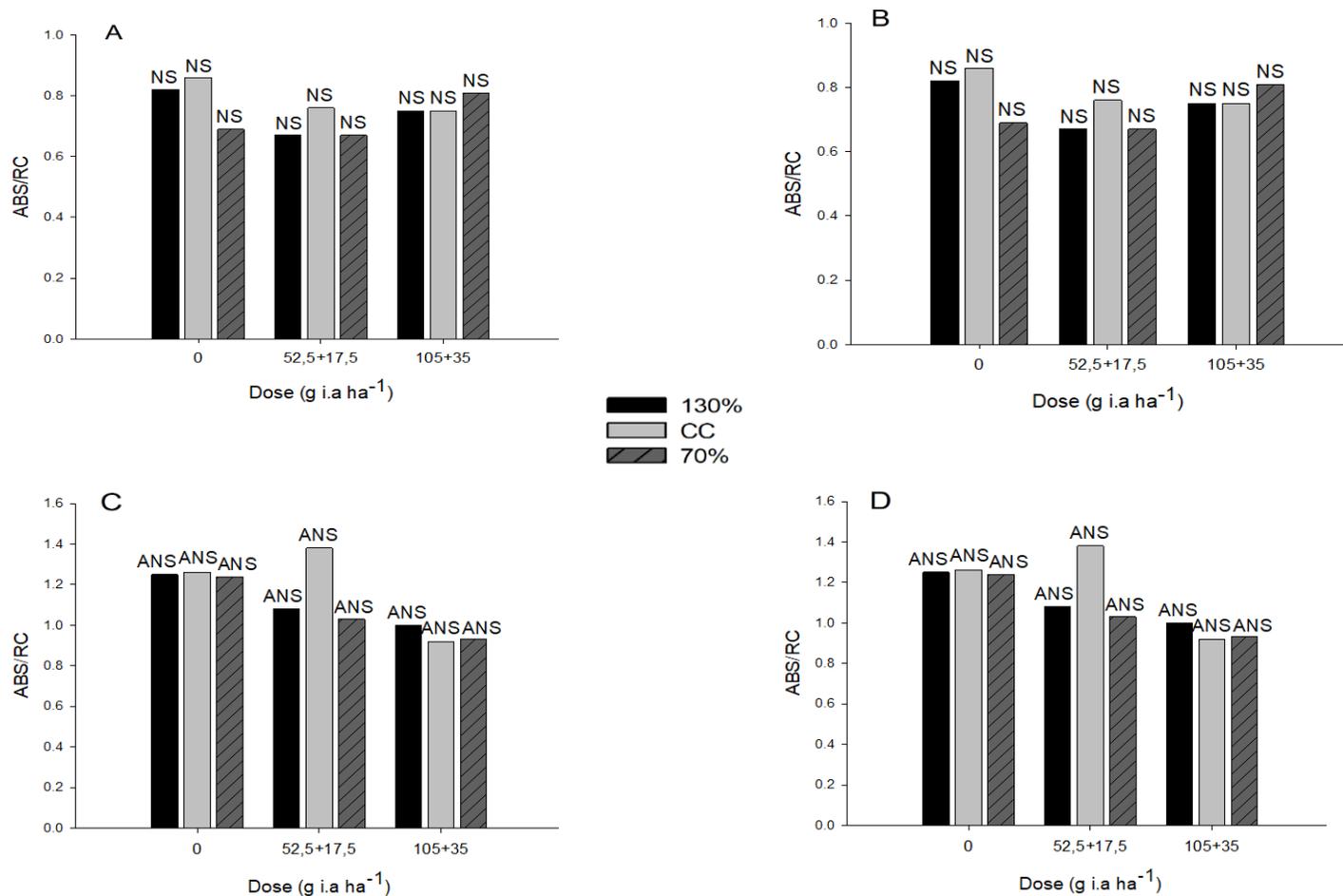
**Figura 9.** Parâmetro  $PI_{total}$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imzapir+imazapic, onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo, onde CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

Para o parâmetro  $DI_0/RC$ , aos 15 DAG (Figura 10A, 10B), os resultados não foram significativos. Aos 30 DAG, houve interação entre os fatores dose e posição do herbicida. Para as plantas posicionadas no topo (Figura 10C), a dose do herbicida não interferiu na variável avaliada, porém para a base (Figura 10D), em 130% o tratamento sem herbicida apresenta acréscimo de 58% em relação a dose e 50% ao dobro da dose. Em 70%, houve elevação na dose recomendada de 47% e no tratamento sem herbicida de 56%, em comparação ao dobro da dose.



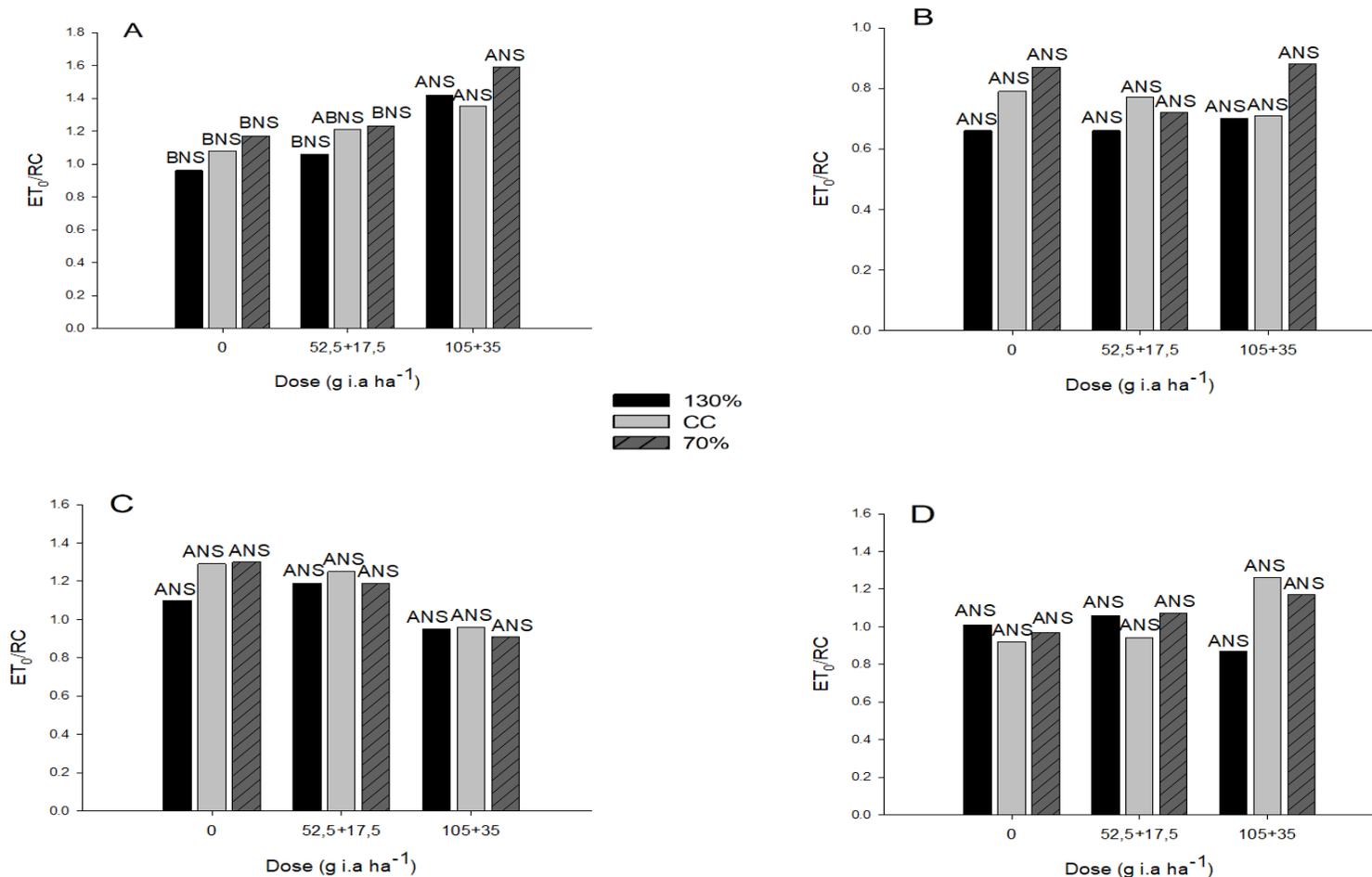
**Figura 10.** Parâmetro  $DI_0/RC$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo, onde CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

O parâmetro ABS/RC, 15 DAG, não apresentou diferença significativa (Figura 11A, 11B), porém as 30 DAG, houve diferença significativa, para a dose e para a posição. As plantas posicionadas na base (Figura 11D), em 130% houve reduções na dose recomendada de 38% e no dobro da dose de 36%, comparados a testemunha. Na restrição hídrica, reduções de 33% foram observadas no dobro da dose quando comparado ao tratamento sem herbicida.



**Figura 11.** Parâmetro ABS/RC da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após sementeira posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após sementeira no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

No parâmetro  $ET_0/RC$ , 15 e 30 DAG (Figura 12), apresentaram interação entre a dose do herbicida e a posição das plantas. Foram observados interferência para a dose do herbicida, apenas para as plantas aos 15 DAG posicionadas no topo das canaletas (Figura 12A). Na maior e menor disponibilidade hídrica houve elevação no dobro da dose, comparado a tratamento sem herbicida e dose recomendada; em 130% foi de 39% e de 25% e em 70% de 26% e 23%, respectivamente.



**Figura 12.** Parâmetro  $ET_0/RC$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de melancia 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

### 4.3 Cultura do Milho

Nos resultados obtidos para a cultura do milho foram observadas interações significativas entre a disponibilidade de água no solo, as doses do herbicida e a posição no qual se encontravam as plantas (topo e base) em todas variáveis biométricas avaliadas aos 30 dias após a germinação (DAG) das plantas de milho.

Para a variável altura da planta (Tabela 9), na maior disponibilidade de água; as plantas sob o solo na dose recomendada, apresentaram redução de 28% e no dobro da dose de 40%, quando comparado as plantas no tratamento sem herbicida. No tratamento sem herbicida, as plantas na CC, apresentaram redução de 16% comparado a 130% e de 13% comparado a 70%. Na dose recomendada, as plantas em 70% apresentaram incremento em altura, de 21% comparado a CC e de 17% comparado a 130%. No dobro da dose as plantas em 70% apresentam acréscimo de 16% comparado com as plantas na CC. Para as plantas posicionadas na base das canaletas, sob a dose e dobro da dose recomenda, há decréscimo em relação a tratamento sem herbicida; superiores a 30% na maior disponibilidade de água e de 20% na menor disponibilidade de água, respectivamente. Na CC, as plantas sob a dose recomendada apresentaram decréscimo de 34% e no dobro da dose de 14%, comparados as plantas em solo sob a ausência de herbicida.

**Tabela 8.** Altura da planta de milho semeado em sucessão a soja, em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

DOSE (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	ALTURA DA PLANTA					
	TOPO (cm)			BASE (cm)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	76,00 Aa	66,62Ab	76,50 Aa	86,67Aa	83,55 Aa	88,33 Aa
52.5+17.5	63,58 Bb	60,33Ab	76,87 Aa	75,66 Ba	54,96Cb	69,12 Ba
105+35	67,00 Bab	60,62Ab	72,50 Aa	68,08Ba	71,75 Ba	71,37 Ba
CV (%) 7,06						

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada.

A variável massa seca de parte aérea (Tabela 9), para as plantas posicionadas no topo das canaletas, as doses do herbicida apresentaram redução, na menor disponibilidade de água; quando comparados com o tratamento sem herbicida, com a dose recomendada o decréscimo foi de 28% e no dobro da dose de 40%. No tratamento sem herbicida, 70% as plantas apresentam incremento na massa em relação a 130% de 38% e a CC de 47%. Na dose recomendada, houve incremento da massa na menor disponibilidade de água no solo de 44% quando comparado a 130%. Para a base, em 130%, decréscimo de 44 % é observado nas plantas quando comparado ao dobro da dose. Na CC, as plantas em solo sob a dose recomenda decresceu em massa, quando comparado ao tratamento sem herbicida (redução 61%) e dobro da dose (redução 50%). Em 70%, houve decréscimo da massa na dose recomendada de 45% e no dobro da dose de 37%, em relação ao tratamento sem herbicida. Para o fator disponibilidade de água no solo, na dose recomendada as plantas, apresentam incremento em massa, em 130% de 45% e 70% de 37%,

quando comparado ao tratamento sem herbicida. No dobro da dose, as plantas em 70% reduziram a massa em 36% em relação a CC.

**Tabela 9.** Massa seca da parte aérea das plantas de milho semeados em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir + imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

MASSA SECA DE PARTE AÉREA						
DOSE (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	TOPO (g)			BASE (g)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	4.26Ab	3.63 Ab	6.86 Aa	6.59Aa	7.34Aa	8.28 Aa
52.5+17.5	2.76 Ab	3.78 Aab	4.91Ba	5.23 ABa	2.88 Bb	4.57 Ba
105+35	4.01 Aa	2.94 Aa	4.09 Ba	3.69 Bb	5.79 Aa	5.18 Bab
CV (%) 22.87						

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada.

A variável massa seca de raiz (Tabela 10), para as plantas posicionadas no topo das canaletas, no tratamento 130%, houve acréscimo nas plantas sob o dobro da dose comparado ao tratamento sem herbicida e dose recomendada sendo os acréscimos maiores que 35%. Nas condições de 70%, as plantas sob o dobro da dose reduziram em 40% comparado as plantas no tratamento sem herbicida e 46% na dose recomendada. No tratamento sem herbicida e na dose recomendada, as plantas reduziram na CC em 49% e 61% em 130% de 53% e 57% quando comparados a menor disponibilidade de água no solo. As plantas posicionadas na base das canaletas, em 130%, na dose recomendada apresentaram acréscimo de 41% em relação ao tratamento sem herbicida e 32% em relação ao dobro da dose. Na CC, as plantas sob as doses do herbicida, apresentaram redução na massa de 57% na dose recomendada e 48% no dobro da dose, comparado ao tratamento sem herbicida. No tratamento sem herbicida na CC as plantas apresentaram acréscimo de 38%, na massa seca de raiz quando comparado as plantas do tratamento CC. Na dose recomendada, reduções das plantas no tratamento na CC em relação a 130% foi de 59% e em 70% foi de 51%.

**Tabela 10.** Massa seca de raiz de milho semeados em sucessão a soja em função das doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir + imazapic e disponibilidade de água no solo (CC- capacidade de campo, 130%- 30% acima da CC e 70%- 30% abaixo da CC) UFRRJ, Seropédica/RJ – 2018.

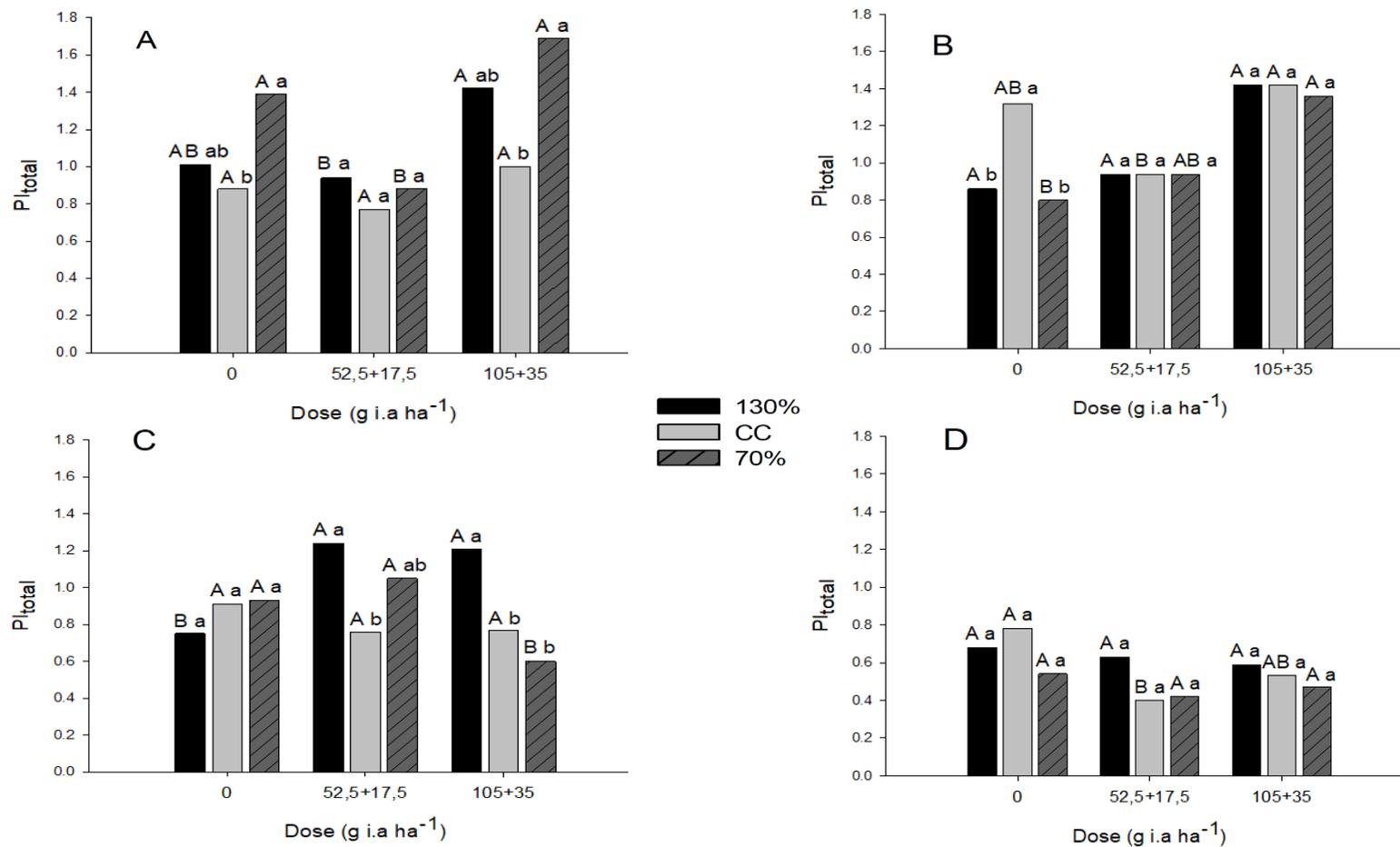
MASSA SECA DE RAIZ						
DOSE (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	TOPO (g)			BASE (g)		
	130%	CC	70%	130%	CC	70%
0	1,42 Bb	1,86 <sup>NS</sup> b	3,66 Aa	1.95 Bb	3,17 Aa	2.33 <sup>NS</sup> ab
52.5+17.5	1,75 Bb	1,88 b	4,05 Aa	3.29 Aa	1,36 Bb	2.80 a
105+35	2,81 A <sup>NS</sup>	1,97	2,20 B	2.25 B <sup>NS</sup>	1,66 B	2.47
CV (%) 23.79						

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas iguais nas linhas não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS- não significativo

De acordo com os dados obtidos para as plantas de milho aos 15 e 30 dias após a germinação sob a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, foi possível calcular parâmetros da fluorescência, pelo teste JIP.

Para o parâmetro  $PI_{total,15 DAG}$  (Figura 13) houve interação entre a dose do herbicida, a disponibilidade de água no solo e a posição (topo e base). Para as plantas posicionadas no topo das canaletas (Figura 13A), em 130%, o parâmetro no dobro da dose apresentou acréscimo de 34% em relação a dose recomendada. Em 70%, o parâmetro na dose recomendada reduz, quando comparado ao tratamento sem herbicida (decréscimo 37%) e dobro da dose (decréscimo 48%). Para a disponibilidade de água no solo, no tratamento sem herbicida e no dobro da dose recomendada, o parâmetro sob a menor disponibilidade de água, obteve aumento de 37% e 41%, respectivamente, comparado a CC. Para as plantas posicionadas na base o  $PI_{total}$  (Figura 13B), na CC, aumento de 31% é observado no dobro da dose, quando comparado a dose recomendada. Em 70% o dobro da dose também apresenta acréscimo de 41%, quando comparado ao tratamento sem herbicida. A disponibilidade de água no solo, no tratamento sem herbicida, houve decréscimo de 40% na restrição hídrica e de 35% na maior disponibilidade de água, em relação a CC.

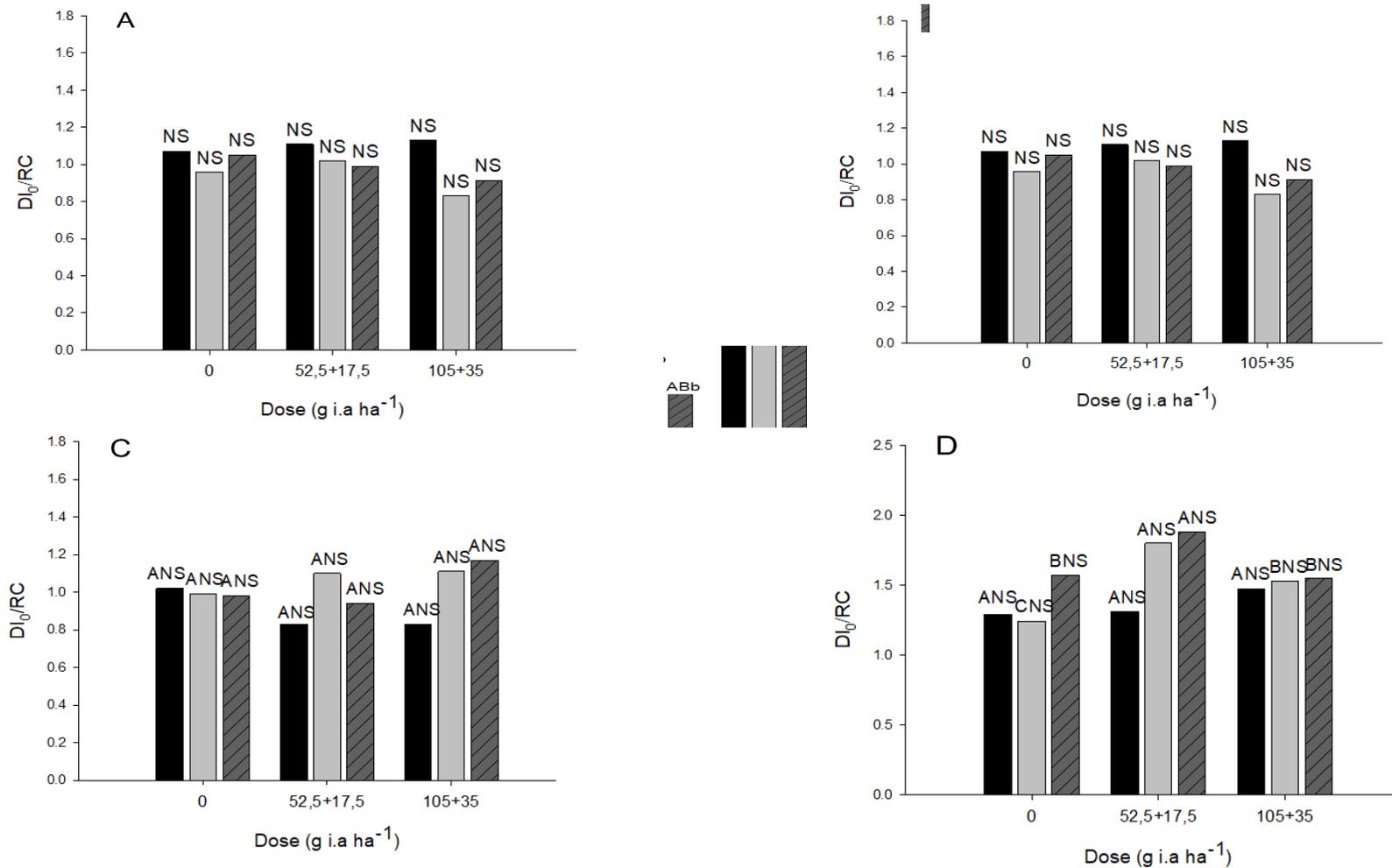
Aos 30 DAG (Figura 13C) o parâmetro  $PI_{total}$ , apresentou interação entre as doses do herbicida e a disponibilidade de água no solo e também entre a dose do herbicida e a posição. Para as plantas posicionadas no topo, em 130%, na dose recomendada obteve acréscimo do parâmetro  $PI_{total}$  de 39% e dobro da dose de acréscimo de 38%, comparado ao tratamento sem herbicida. No tratamento 70%, o parâmetro  $PI_{total}$  no dobro da dose apresenta redução de 35%, comparado com o tratamento na dose recomendada. Na dose recomendada há aumento do parâmetro  $PI_{total}$ , no tratamento 130% de 39%, em relação a CC. No dobro da dose o parâmetro  $PI_{total}$  na CC apresenta redução de 39% e em 70% de 36%, quando comparado a 130%. Para as plantas posicionadas na base (Figura 13D), na CC, a dose recomendada reduz 49% o parâmetro  $PI_{total}$  em relação ao tratamento sem herbicida.



**Figura 13.** Parâmetro PI<sub>total</sub> da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

Para o parâmetro  $DI_0/RC$  as plantas aos 15 DAG (Figura 14A), apresentaram diferença significativa entre doses do herbicida, disponibilidade de água no solo e posição. As doses em 130%, o parâmetro  $DI_0/RC$  no dobro da dose reduz em 20%, comparado ao tratamento na ausência de herbicida. Em 70%, o parâmetro  $DI_0/RC$  na dose recomenda apresenta elevação de 23%, comparado ao tratamento sem herbicida. Na disponibilidade de água no solo é observado decréscimo em 70% de 20% no parâmetro  $DI_0/RC$ , comparado a CC e 130%. Para as plantas da base das canaletas (Figura 14B), na CC, o parâmetro  $DI_0/RC$  no dobro da dose reduz 19% comparado da dose recomendada. No dobro da dose, reduções do parâmetro  $DI_0/RC$  são observadas na CC 26% e em 70% de 19% comparado a 130%.

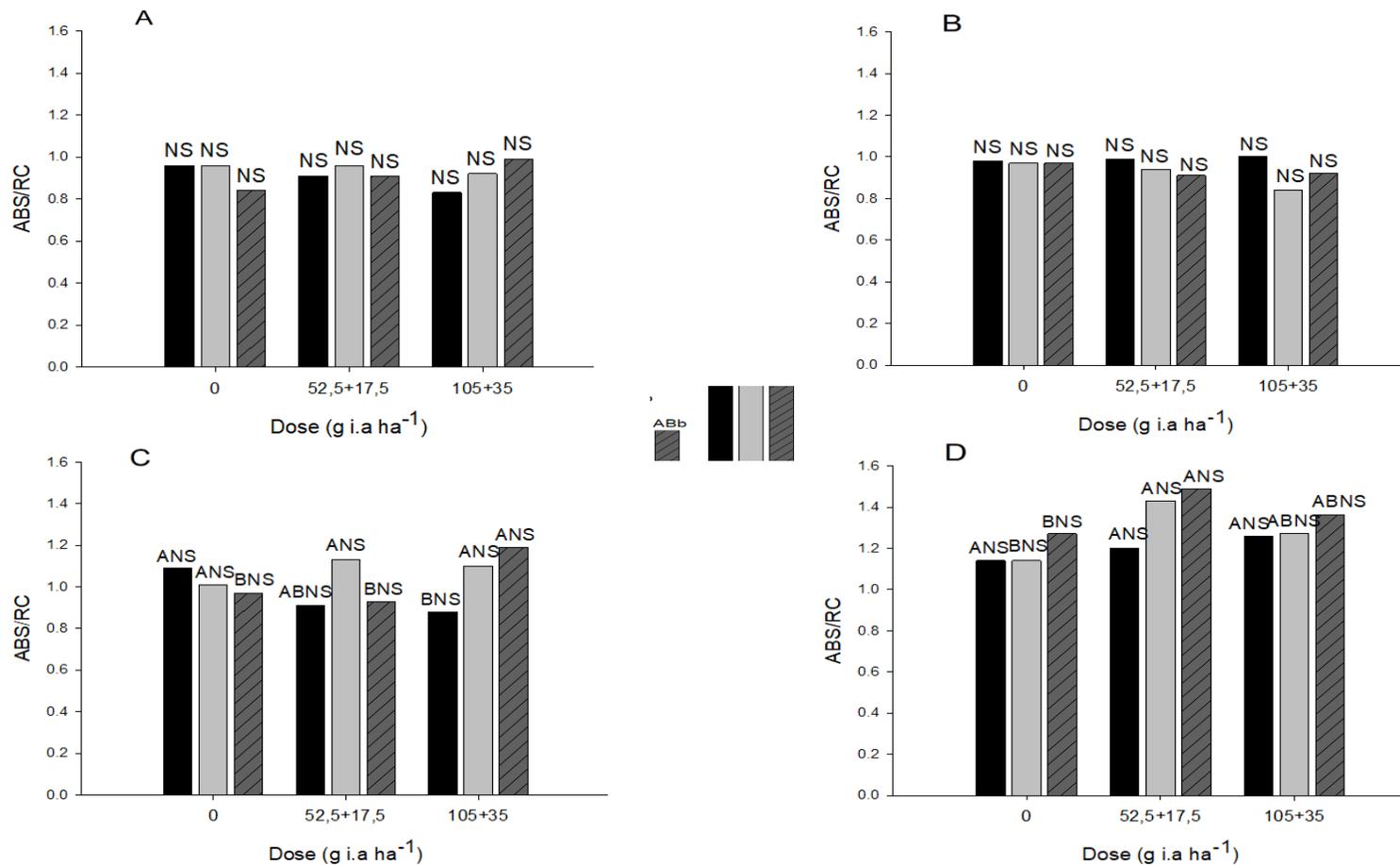
Aos 30 DAG, o parâmetro  $DI_0/RC$  (Figura 14), apresentou diferença significativa entre doses do herbicida, disponibilidade de água no solo e posição. Para as plantas posicionadas no topo (Figura 14C), a presença do herbicida não interferiu na variável avaliada. Para a disponibilidade de água no solo, na dose recomendada, há aumento do parâmetro  $DI_0/RC$  na CC de 25%, em relação a 70%. No dobro da dose, a elevação do parâmetro na CC foi de 25% e em 130% de 29%, em relação 130%. Para as plantas posicionadas na base das canaletas (Figura 14D), na CC, elevações do parâmetro  $DI_0/RC$ , na dose recomendada de 31% e no dobro da dose de 19% foram observadas, comparando com o tratamento sem herbicida. Sob restrição hídrica, o parâmetro  $DI_0/RC$  na dose recomendada obteve elevação de 16% em relação a testemunha e de 17% em relação ao dobro da dose. No tratamento sem herbicida, em 70%, há elevação de 21% no parâmetro  $DI_0/RC$  quando comparado a CC e de 18% comparado a 130%. Na dose recomendada, o parâmetro  $DI_0/RC$ , na CC apresenta elevação de 27%, em 70% de 30%, comparado a 30%



**Figura 14.** Parâmetro Df<sub>0</sub>/RC da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic e diferentes disponibilidades de água no solo. Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ, Seropédica/RJ, 2018.

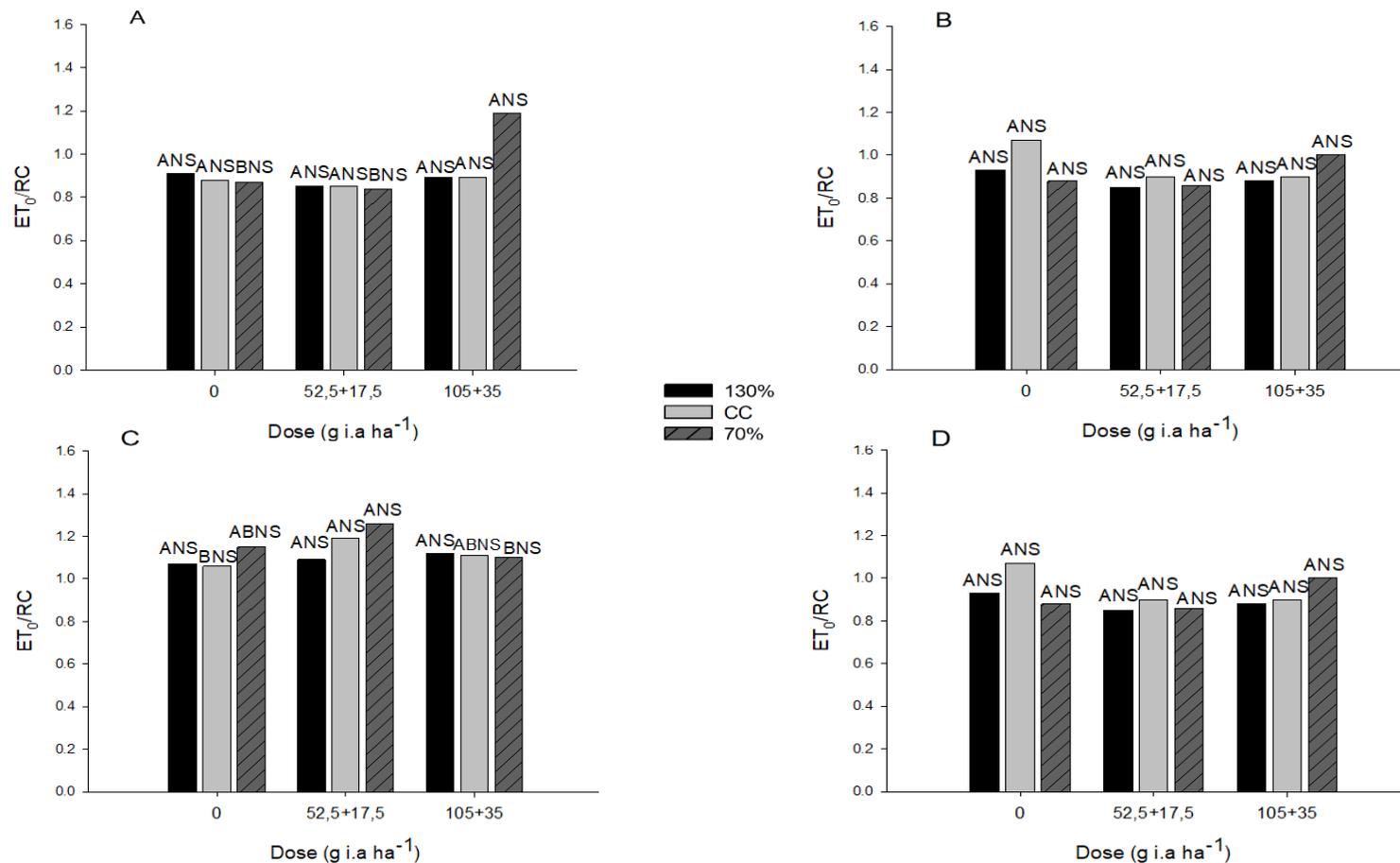
O parâmetro ABS/RC, 15 DAG (Figura 15A), apresentou diferença significativa entre doses do herbicida, disponibilidade de água no solo e posição. Quanto a dose, em 130% foram observados redução de 13% em relação ao tratamento na ausência do herbicida. Em 70%, aumento do parâmetro ABS/RC, no dobro da dose de 15% é observado comparando com o tratamento sem herbicida. Na disponibilidade de água, o parâmetro ABS/RC no tratamento sem herbicida, obtêm elevação de 12% na CC e 12% em 130%, comparado a 70%. No dobro da dose, o parâmetro ABS/RC, em 70% obtêm elevação de 16%, comparado a 130%. Para as plantas posicionada na base (Figura 15B), na CC, e o dobro da dose recomendada obteve redução 13% no parâmetro ABS/RC, em relação ao tratamento sem herbicida. Para a disponibilidade de água, no dobro da dose, 130% apresenta elevação de 16% comparado com CC.

Aos 30 DAG o parâmetro ABS/RC (Figura 15 C), apresentou diferença significativa entre doses do herbicida, disponibilidade de água no solo e posição. Para as plantas posicionada no topo das canaletas (Figura 15C), em 130%, foi observado no dobro da dose redução de 19% no parâmetro ABS/RC, quando comparado com o tratamento sem herbicida. Em 70%, o parâmetro ABS/RC no dobro da dose, apresenta elevação de 22% comparado a dose recomendada e de 18% comparado ao tratamento na ausência de herbicida. Na dose recomendada, o parâmetro ABS/RC na CC obteve elevação de 19% comparado a 70%. No dobro da dose, o parâmetro ABS/RC na CC e 70%, apresentam acréscimo do parâmetro de 20% e 26%, respectivamente, quando comparado a 130%. Para as plantas posicionadas na base das canaletas (Figura 15D), na CC e 70%, a dose recomendada, que apresenta acréscimo do parâmetro ABS/RC de 20% e 15%, respectivamente, comparado ao tratamento na ausência de herbicida. A maior disponibilidade de água no solo, na CC e 70%, são observados aumento do parâmetro ABS/RC de 16% e 19%, respectivamente, quando comparado ao tratamento 130%.



**Figura 15.** Parâmetro ABS/RC da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após semeadura posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após semeadura no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

Para o parâmetro  $ET_0/RC$ , aos 15 DAG há interação entre dose e água. Para as plantas posicionadas no topo (Figura 16A). Em 70%, o parâmetro  $ET_0/RC$  no dobro da dose recomendada apresenta elevação de aproximadamente de 29% comparado a dose recomendada e de 27% comparado ao dobro da dose. O tratamento em 70%, no dobro da dose, obteve elevação do parâmetro  $ET_0/RC$  de 25%, quando comparado com a CC e 130%.



**Figura 16.** Parâmetro  $ET_0/RC$  da fluorescência da clorofila a, pelo teste JIP, para as plantas de milho 15 dias após sementeira posicionadas no topo (A) e base (B) e 30 dias após sementeira no topo (C) e base (D), sob as doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic onde D0- tratamento sem herbicida, D1- 52,5+17,5 (g i.a ha<sup>-1</sup>); D2- 105+35(g i.a ha<sup>-1</sup>) e diferentes disponibilidades de água no solo- CC (capacidade de campo), 130% (30% acima da CC) e 70% (30% abaixo de CC). Letras minúsculas iguais nas barras e letras minúsculas iguais na dose não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada. NS= não significativo. UFRRJ-Seropédica/RJ, 2018.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Cultura da Soja

Na cultura da soja foram observadas reduções significativas em todas as variáveis analisadas para o fator disponibilidade de água no solo, independente da presença do herbicida, evidenciando que a presença de água no solo é imprescindível no estabelecimento e desenvolvimento das plantas. A demanda hídrica da cultura da soja é um dos principais fatores limitantes a sua produtividade, necessitando de aproximadamente 500 a 800mm ao longo do ciclo, sendo esta imprescindível para a emergência das plantas e enchimento dos grãos (BERLATO et al., 1986; CHAVARRIA et al., 2015).

No tratamento onde as plantas estavam sob menor umidade no solo houve redução em todas as variáveis analisadas, devido a insuficiência de suprimento de água, houve redução no crescimento da planta e esta alteração está relacionada ao metabolismo de carbono e de nitrogênio, já que, o nitrogênio presente na síntese de proteínas e ácidos orgânicos regula a distribuição de carboidrato dentro da planta, afetando crescimento e produtividade (LAWLOR, 2002); Além disso a falta de água induz o fechamento estomático, que leva a queda da transpiração e da assimilação de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente a redução de fotoassimilados que são distribuídos entre o metabolismo do carbono e a assimilação de nitrogênio; o amônio desempenha importante mecanismo regulatório e em taxas altas na planta induzirá a degradação de carboidratos que produzem o esqueleto de carbono (LAWLOR, 2002). Sob as maiores condições de umidade do solo as plantas apresentaram incremento em todas as variáveis; uma vez que a rubisco depende de água no solo, quando em condições ideais, há maior abertura estomática, maior absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico, resultando em uma maior produção de fotoassimilados e crescimento da planta.

Corroborando com estes resultados, GAVA et al., 2016 verificou que nas condições de déficit moderado e severo, durante todo o ciclo da cultura da soja, ocorreram reduções da altura das plantas, número de vagens por planta e massa de grãos, resultando em queda da produtividade. Entretanto, os autores verificaram que nas condições onde eram aplicadas lâminas de irrigação correspondentes a 100 e 150% da ETc (evapotranspiração da cultura) da cultura da soja, não foi observado efeitos prejudiciais nas variáveis analisadas. Cunha et al. (2013), trabalhando com plantas de feijão também observaram reduções no número de grãos por vagem e a altura das plantas em tratamentos que receberam 60 e 40% menos água. O crescimento da planta está associado a expansão celular que é dependente da água e dos hormônios auxina, citocinina e giberelina; porém em condições de seca, atuam o hormônio ácido abscísico, que atua no fechamento estomático, diminuindo a transpiração e o hormônio etileno que faz com que as plantas percam suas folhas, diminuindo a perda de água e garantindo a sobrevivência (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Além das variáveis biométricas, a fluorescência da clorofila *a* atuou como uma importante aliada, na avaliação do estresse causado as plantas pela disponibilidade de água no solo aos 30, 60 e 90 dias após semeadura. A fluorescência da clorofila é um método hábil para medir a eficiência fotossintética de plantas submetidas a estresses bióticos, abióticos e estruturais (WANG, 2014). Aos 30 dias após aplicação da mistura comercial dos herbicidas, observa-se que o aparato fotossintético das plantas não apresentou danos severos em relação a dose do herbicida e ao estresse hídrico; porém aos 60 dias após aplicação, o estresse hídrico e a dose da mistura comercial dos herbicidas, proporcionaram aumento do parâmetro correspondente ao índice de desempenho fotossintético (PI<sub>total</sub>) e a redução da dissipação de

energia emitida pela forma de calor ( $DI_0/RC$ ), parâmetros inversamente proporcionais. O aumento do desempenho fotossintético, modifica de acordo com o desenvolvimento da planta, sendo a fotossíntese incrementada nas fases de maior demanda de fotoassimilados, sendo que nas plantas de soja esse período ocorre na passagem da fase vegetativa para a reprodutiva (aproximadamente 60 dias após a germinação).

A taxa fotossintética de plantas de soja, aumenta no estágio vegetativo, atingido valores máximos no período de enchimento de grãos (PEREIRA, 2002). A atividade fotossintética das plantas pode ter aumentado aos 60 dias nas condições onde as plantas estavam na capacidade de campo e na maior condição de água no solo, pois a medida que a planta cresce há aumento do processo respiratório e conseqüentemente a taxa fotossintética das plantas terá que ser maior para suprir as necessidades metabólicas para o crescimento da planta; porém sob as condições de déficit hídrico houve redução do parâmetro  $P_{i\text{total}}$ , podendo ser explicado pois em condições de seca ocorre diminuição da atividade fotossintética, já que as plantas nessas condições apresentam desequilíbrio entre a captura de energia e o metabolismo; uma vez que água é requerida para liberação de prótons e elétrons da etapa fotoquímica, ocorrerá decréscimo na reação fotoquímica, e aumento na dissipação de energia (CHAVARIA & SANTOS, 2012).

Aos 90 dias as plantas apresentaram redução dos parâmetros correspondentes ao desempenho fotossintético e maior dissipação de energia emitida pela forma de calor ( $DI_0/RC$ ), quando a eficiência fotossintética das plantas diminui indica que a energia de radiação solar não está sendo utilizada de forma eficiente, sendo assim, neste período, as plantas sob estresse hídrico e na presença do herbicida apresentaram um desequilíbrio representado pelo decréscimo da atividade química e o aumento da dissipação de energia (LAWLOR & TEZARA, 2009).

Aos 90 dias a diminuição da atividade fotossintética ocorreu independente da dose do herbicida e da disponibilidade de água no solo, podendo ser devido a planta ter iniciado a fase de senescência, pois quando ocorre há menor interceptação da energia luminosa, consequência da diminuição das folhas pela planta, decréscimo no acúmulo de matéria seca, com translocação para os órgãos de reservas e conseqüente degradação do sistema fotossintético (PEIXOTO & PEIXOTO, 2004).

Dalberto et al. (2017), também detectou injúrias na atividade fotossintéticas em plantas de mamona, quando a condição de seca permanecia a longo prazo, resultando em diminuição da fotossíntese. Os herbicidas inibidores da ALS, não agem diretamente na fotossíntese, porém alterações na fluorescência da clorofila *a*, podem ser observadas, visto que provocam diminuição da síntese de proteínas e de DNA, afetando a divisão celular e a translocação de fotossintatos. Sousa et al. (2014) observaram alterações nos parâmetros relacionados a fluorescência da clorofila *a*, pelo teste JIP, 15 dias após aplicação de herbicida do grupo químico das imidazolinonas, em plantas de arroz. Sendo assim, o estresse provocado por algum fator ambiental na planta, pode levar a uma redução ligada a perda de funcionalidade do aparato fotossintético (ROLFE & SCHOLLES, 2010).

As alterações na fluorescência da clorofila *a*, podem também estar relacionados a tentativa de metabolização do produto pela planta, neste processo atua a enzima citocromo P450 monooxigenases (CytP450), que é responsável por biotransformar o herbicida a compostos menos tóxicos (POWLES E YU, 2010). O complexo enzimático do citocromo P450 envolve uma ampla família de genes com diversas funções nas plantas, estando localizadas principalmente em tecidos fotossintéticos, (GONZÁLEZ-MENDOZA, 2007). Sendo assim, a alterações na fotossíntese correspondentes ao aumento aos 60 dias após aplicação do herbicida e a redução do parâmetro aos 90 dias após aplicação do herbicida podem estar atrelada a tentativa de metabolização do herbicida pela planta, já que o citocromo P450, participa da cadeia de transporte de elétrons.

A cultivar utilizada no experimento, ainda em fase de estudo, pertence a tecnologia Cultivance<sup>®</sup> desenvolvida como uma nova ferramenta no manejo de plantas daninhas e na

rotação de culturas, porém a mesma não apresentou bons resultados quanto a altura e produtividade, na presença do herbicida, uma vez que a cultura é tolerante, não eram esperados resultados negativos, porém danos mais severos foram encontrados para o fator água, principalmente quando as plantas estavam sob condições de déficit hídrico.

## 5.2 Teste de Resíduo e Lixiviação por Bioindicadora

Nas plantas de melancia, foram observadas reduções em todas as variáveis biométricas avaliadas; a presença do resíduo do herbicida no solo, interferiu negativamente o desenvolvimento e crescimento da cultura, sendo esta considerada uma boa bioindicadora.

Os diferentes níveis de umidades do solo favoreceram a lixiviação ou retenção do herbicida (Figura 15), uma vez que as plantas posicionadas no topo das canaletas, na menor disponibilidade de água sofreram maior injúria, evidenciando a retenção do herbicida em solos mais secos. Em casos onde havia maior disponibilidade de água as plantas posicionadas na base das canaletas apresentaram maior fitotoxicidade na presença do herbicida, evidenciando assim a lixiviação da molécula. A lixiviação do herbicida no tratamento onde foi disponibilizado o maior teor de umidade era esperado uma vez que o herbicida imazapir apresenta solubilidade em água de 11,272 ppm e o herbicida imazapic de 2200 ppm e baixa adsorção aos colóides do solo.

As plantas bioindicadoras, apresentaram sintomas característicos dos herbicidas inibidores da ALS, como redução do crescimento e clorose foliar. Herbicidas do grupo químico das imidazolinonas atuam no sítio de ligação do substrato que regulam a produção de aminoácidos essenciais, causando assim efeitos negativos na síntese de proteínas, inibição da mitose e a redução da translocação de açúcares para as regiões de demanda da planta (VIDAL et al., 2014). Guimarães et al. (2016), observaram que em solos de textura mais arenosa houve maior controle das plantas de capim-camalote, apresentando alta fitotoxicidade e redução da massa seca.

Ao aplicar o herbicida no solo, espera-se que ele lixivie alguns centímetros para melhor controle das plantas daninhas (Oliveira & Brighenti, 2011). Porém, quando a lixiviação dos herbicidas atinge camadas mais profundas do solo, o residual e a persistência da molécula aumentam devido a redução da atividade microbiana (CAI et al., 2015), característica considerada negativa.

Corroborando com os resultados obtidos, Neto et al. (2016) avaliando a lixiviação após a simulação de chuva de 80mm, dos herbicidas imazapic, imazethapyr e a mistura comercial (imazethapyr+imazapic), em colunas de lixiviação de 50cm, usando o sorgo como planta bioindicadora, observaram alta lixiviação nos solos. Os autores verificaram que o herbicida imazethapyr e a mistura comercial foram detectados até 25cm de profundidade, indicando um alto risco de contaminação a águas subterrâneas; para o imazapic a lixiviação foi observada até os 15cm de profundidade, podendo a menor lixiviação ser atribuída as baixas doses utilizadas do herbicida. Relatos de que nos Estados Unidos, foram encontrados 16 ingredientes ativos de herbicidas de grupos sulfonilureia, sulfonamida e imidazolinona em amostras coletadas em águas superficiais e subterrâneas (Battaglin et al., 2000), sendo o imazethapyr encontrado com maior frequência, detectado em 71% das amostras; também foram encontrados em águas subterrâneas o herbicida imazapir (Börjesson et al., 2004; Silva et al., 2009, 2011).

A persistência da molécula é considerada positiva no controle de plantas daninhas, porém torna-se indesejável uma vez que causa efeitos negativos a cultura semeada em sucessão (RADOVANOV, 2017). Em trabalhos anteriores avaliando a persistência do herbicida imazethapyr de acordo com as condições climáticas, tempo e taxa de aplicação em duas épocas diferentes, usando a mostarda branca como planta bioindicadora, observou que a persistência

dependerá do nível de precipitação ao longo do tempo, sendo a maior persistência em estações mais secas (RADOVANOV, 2017).

Os efeitos fitotóxicos causados a planta bioindicadora pelo residual do herbicida no solo também foi observado por meio do método de fluorescência da clorofila *a*. A injúria causada as plantas bioindicadoras não foi intensificada com o aumento da dose do herbicida. Quando analisadas aos 30 dias após semeadura, houve expressiva alteração dos parâmetros fotossintéticos em relação a 15 dias após semeadura, evidenciando maior estresse sofrido pela planta com o decorrer do seu desenvolvimento, não sendo estas capazes de metabolizar o produto. A inibição de aminoácidos, pelo herbicida ALS, afetou o aparato fotossintético das plantas, uma vez que os aminoácidos e proteínas e enzimas atuam nos processos fotossintéticos e respiratórios (LEMOS et al., 2008)

Resultados semelhantes foram obtidos por Araldi et al. (2011) que ao avaliar os danos causados a taxa de transporte de elétrons com a aplicação de diferentes doses do herbicida glifosato em plantas de *Brachiaria decumbens*, verificou reduções crescentes no decorrer das horas, apresentando estas 24 e 168hs após a aplicação redução em 40% e inibição total do transporte de elétrons, respectivamente.

### 5.3 Cultura do Milho

As plantas de milho apresentaram sintomas de fitotoxicidade causado pela presença do residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. As plantas em solos com a presença do herbicida apresentaram pequeno decréscimo em altura e massa seca de parte aérea, não sendo observado dano na massa seca de raiz que apresentou resultados semelhantes ao controle (Figura 16). O efeito residual de herbicidas no solo pode prejudicar as plantas cultivadas em sucessão reduzindo sua qualidade e produtividade, porém a persistência irá depender das propriedades do solo, das propriedades físico-químicas das moléculas de herbicidas e das condições edafoclimáticas do local (Mancuso et al., 2011), além da sensibilidade da planta espécie cultivada em sucessão. Além disso, dentro da mesma espécie é possível se observar diferença expressiva entre os híbridos utilizados na sucessão, como é o caso do milho.

Dan et al. (2012) avaliando o *carryover* na cultura do milho semeado sob residual dos herbicidas diclosulam, imazethapyr e imazaqui, observaram que os dois primeiros causaram redução na produtividade da cultura, semeada 115 dias após a cultura da soja. Porém para o herbicida imazaquim, os autores não observaram redução em produtividade da cultura do milho em sucessão. O mesmo autor (2011) em trabalho realizado com milheto, não observou redução do rendimento da cultura quando semeadas 80 dias após aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, imazethapyr e fomesafen.

Sobre a presença do residual do herbicida em solo, como observado no teste de resíduo, ocorreu efeito *carryover* nas plantas de milho, semeadas 120 dias após aplicação; o intervalo de segurança para plantio do milho em sucessão a aplicação da mistura comercial do herbicida imazapir+imazapic é de 96 dias (AGROLINK, 2017). A persistência da molécula no solo é altamente influenciada pela umidade e temperatura, solos com as características deste trabalho favorecem a lixiviação do herbicida em estudo já que estas moléculas possuem baixa capacidade de sorção em solos com baixo teor de carbono orgânico e argila (GUIMARÃES et al., 2016).

Os dados de fluorescência da clorofila *a* não demonstraram severos danos ao aparato fotossintético das plantas. Os parâmetros avaliados sofreram leve alteração com a presença do resíduo do herbicida no solo; os valores obtidos nas médias da dose recomendada e dobro da

dose, indicam a possibilidade de a planta ter metabolizado o produto. A metabolização envolvida na seletividade do herbicida inibidor da ALS pelas plantas, estão relacionadas as reações de hidroxilação do anel aromático, a hidroxilação alifática, a desalquilação, a desesterificação e a conjugação (SANTOS et al., 2015). Espécies que possuem tolerância a herbicidas, metabolizam transformando em formas inativas por meio do sistema citocromo P450 monooxigenase associadas a reações de hidroxilação (VIDAL, 2002).

Os herbicidas, de alguma maneira afetam o metabolismo das plantas, mesmo quando aplicados na dose recomendada em bula, podendo ser observados sintomas de intoxicação, redução de crescimento, clorose e necroses foliares. Os sintomas observados, podem ser a consequência de alterações no metabolismo fotossintético (ZABLOTOWICZ & REDDY, 2007). Quando os sintomas sofridos pela aplicação do herbicida não são observados visualmente ou pelas variáveis biométricas nas plantas, podem ainda sim haver lesões ao seu aparato fotossintético (SOUSA et al., 2014).

Baixa umidades do solo e altas temperaturas aumentam a sensibilidade do fotossistema, como resposta há aumento da eficiência fotossintética, como observado por Digrado et al. (2017), em trabalho realizado com *Lolium perene*. Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2015), que avaliando a atividade fotossintética de plantas de mandioca, na aplicação de herbicidas clomazone, fomesafem, fluazifop-p-butil e clorimuron em pós-emergência, não observaram severa fitotoxicidade e alterações ao aparato fotossintético.

## 6 CONCLUSÃO

A disponibilidade de água no solo, influenciou o comportamento da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. As condições de maior umidade do solo, favoreceram a lixiviação dos herbicidas e onde o solo permaneceu em condições de seca foi observada maior retenção das moléculas na porção de 0-30cm de profundidade do solo.

Sob o residual da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, as plantas de melancia apresentaram fitotoxicidade, sendo estes observados nas condições de maior e menor disponibilidade de água.

As plantas de milho apresentaram redução das variáveis biométricas em função da presença da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic, na maior e menor disponibilidade de água no solo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALISTER, C.; ARAYA, M; KOGAN, M. Effects of physicochemical soil properties of five agricultural soils on herbicide soil adsorption and leaching. **Ciencia E Investigación Agraria: Revista Latino americana De Ciencias De La Agricultura.**, v. 38, n. 2, p. 243-251, 2011.
- ALLETTO, L.; COQUETE, Y.; BENOIT, P.; HEDDADJ, D.; BARRIUSO, E. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. **Agronomy For Sustainable Development**, v. 30, n. 2, p.367-400, 2010.
- ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 2005. 591 p.
- ALONSO, D.G.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J. Potencial de carryover de herbicidas com atividade residual usados em manejo outonal. Scherer Revista Brasileira de Herbicidas., v.16, n.1, p.1-10, In: Constantin, J.; Oliveira Júnior, R.S.; Oliveira Neto, A.M. (Ed.). Buva: Fundamentos e recomendações para manejo. Curitiba: Omnipax, 2013. cap.8, p.91-104.
- ANDRIGHETTI, S. M.; NACHTIGALL, G.R.; QUEIROZ, S. C. N.; FERRACINI, V. L.; AYUB, M. A. Z. Biodegradação de glifosato pela microbiota de solos cultivados com macieira. **Revista Brasileira de Ciências no Solo**, v. 38 n.5, 2014.
- ARALDI, R, GIROTTO, M, VELINI, E.D, TROPALDI, L, SILVA, I.P.F, & CARBONARI, C.A. Análises de fluorescência e consumo de água em *Brachiaria decumbens* após aplicação de herbicidas em pós-emergência. **Planta Daninha**, v.29, p.1053-1060, 2011.
- ARAUJO, I. C. L.; MELO, V. F.; ABATE, G.; DOLATTO, R. G. Sorção de diuron em minerais da fração argila. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1312-1317, 2012. DOI:
- AVILA, L. A. D., MARCHEZAN, M., FRANÇOIS, T., SOUTO, K. M., CEZIMBRA, D. M., & REFATTI, J. P. Fitotoxicidade da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic sobre o azevém em função do teor de umidade do solo. **Planta Daninha**, V.28, N.5, 2011.
- BALENA, R.; TREVISAN, G. C.; CLASSER, B. A.; NUNES, N. C. Época de semeadura e espaçamentos entre linhas na produtividade da soja. **Unoesc & Ciência – ACBS**, v.7, n.1, 2016.
- BARBOSA, A., SILVA, A., ALBRECHT, A., BARROSO, A., VICTÓRIA FILHO, R., ALBRECHT, L., & GARCIA, V. Controle químico de *Talinum paniculatum* em três estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Herbicidas**, n.13, v.3, p.187-196, 2014.
- BARROSO, A. A. M; YAMAUTI, M. S.; ALVES, P. L. C. A. Interferência entre espécies de planta daninha e duas cultivares de feijoeiro em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 609-616, 2010.
- BEDMAR, F., GIMENEZ, D., COSTA, J. L. AND DANIEL, P. E. Persistence of acetochlor, atrazine, and S-metolachlor in surface and subsurface horizons of 2 typicargiudoll sunder no-tillage. **EnvironToxicolChem**, v.36, p.3065–3073, 2017.

BENBROOK, CHARLES M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Sciences Europe**. V. 28, n.3, 2016

BRAGA, R. R.; SANTOS J. B.; ZANUNCIO, J. C.; BIBIANO, C. S.; FERREIRA, E. A.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, D. V.; SERRÃO, J. E. Effect of growing Brachiaria brizantha on phytoremediation of picloram under different pH environments. **Ecological Engineering**. V. 94, p. 102-106, 2016.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatísticas Econômicas, 2017.

BUENO, M. R.; ALVES, G. S.; PAULA, A. D. M.; CUNHA, J. P. A. R. Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 705-713, 2013.

BUNDT, A. C., AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D., REFATTI, J. P.; CASSOL, L.; ROCKEMBACK, F. C. Lixiviação de imidazolinonas em resposta a diferentes manejos de irrigação em solo de cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 44, n.1, p.1943-1949, 2014.

BUNDT, A. C.; AVILA, L. A.; PINTO, J. J. O.; SANTOS, T. T.; AGOSTINETTO, D.; MARTINS, K. Transporte ascendente da mistura formulada de imazethapyr e imazapic em resposta à profundidade do lençol freático. **Ciência Rural**, v.43, n. 9, p. 1597-1604, 2013.

BUNDT, A.D.C.; AVILA, L.A.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M.A.; VARGAS, H.C. Carryover of imazethapyr + imazapic on ryegrass and non-tolerant rice as affected by thickness of soil profile. **Planta Daninha**, v. 33, n. 2, p. 357-364, 2015.

CAI Z, LI S, ZHANG W, MA J, WANG J, CAI J, YANG G. Effects of the novel pyrimidinyloxybenzoic herbicide ZJ0273 on enzyme activities, microorganisms and its degradation in Chinese soils. **Environmental Science and Pollution Research**. v.22, p.4425-4433, 2015.

CARVALHO, S. J. P.; DIAS, A. C. R.; MINAMIGUCHI, M. H.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, 2012.

CHAVARIA, G.; SANTOS, H.P. Plant water relations: absorption, transport and control mechanism. In: MONTANARO, G.; DICHIO, B. (Org.). **Advances in selected plant physiology aspects**. Rijeka: Intech, v.1, p.105-132, 2012.

CHUKWUDEBE A; PRIVALLE L; REED A; WANDELT C; CONTRI D; DAM-ANN M; GROETERS S; KASPERS U; STRAUSS V; VAN RAVENZWAAY B. Health and nutritional status of Wistar rats following subchronic exposure to CV127 soybeans. **Food Chem Toxicol** v.50, p.956-971, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 11º Levantamento da safra de grãos**. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 1º Levantamento da safra de grãos**. 2018.

- CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; NASCIMENTO, J. L.; JÚNIOR, A. J. Manejo de irrigação em feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 7, p. 735-742, 2013
- DALBERTO, D. S., MARTINAZZO E. G., HÜTHER, C. M, POSSO, D. A.; BACARIN, M. A. Photosynthetic activity of Young *Ricinus communis* L. plant sunder conditions osflooded soil. *Ciência Agrárias*, v.38, n. 1, 2017.
- DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; NETO, A. M. O.; GUERRA, N. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 86-91, 2012b.
- DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JR., R. S.; BRAZ, G. B. P.; ALONSO, D. G. Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. *Ciência Rural*,v. 42 n. 11, 2012a.
- DAN, H. A; BARROSO, A. L. L; DAN, L. G. M; FINOTTI, T. M; FELDKIRCHER, C; SANTOS, V. S; Controle de plantas daninhas na cultura do milho por meio de herbicidas aplicados em pré-emergência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 388-393, 2010.
- DAN, H.A, BARROSO, A.L.L, DAN, L.G.M, PROCÓPIO, S.O, OLIVEIRA JR, R.S, SIMON, G.A, & MUNHOZ, D.M. Atividade residual de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**. v.29, n.3, p.663-671, 2011.
- DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; KNICKER, H.; ALMEIDA, P. S. G. Matéria orgânica em quatro tipos de solos brasileiros: composição química e sorção de atrazina. **Química Nova**, v.33, n.1, p. 14-19, 2010.
- DIGRADO, A., BACHY, A., MOZAFFAR, A., SCHOON, N., BUSSOTTI, F., AMELYNCK, C., DALCQ, A.-C., FAUCONNIER, M.-L., AUBINET, M., HEINESCH, B., DU JARDIN, P. AND DELAPLACE, P. Long-term measure ments of chlorophyll *a* fluorescence using the JIP-test show that combined biotic stresses influence the photosynthetic performance of the perennial ryegrass (*Loliumperenne*) in a managed temperate grassland. **Physiologia Plantarum**. v.161, p.355–371, 2017.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. & LOPES, P.P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten: Soil Water Retention Curve, SWRC. Version3,00 beta. Piracicaba: USP, 2001
- DUGGLEBY, R. G., MCCOURT, J. A., AND GUDDAT, L. W. Structure and mechanism inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiology and Biochemistry**, v 46, n. 3, p. 309-324, 2008.
- EBERLEIN, C. V.; GUTTIERI, M. J.; MALLORY-SMITH, C. A.; THILL, D. C.; BAERG, R. J. Alterada cetolactatesynthase activity in ALS – inhibitor resistant prickly lettuce (*Lactucaserriola*). **Weed Science**, Lawrence, v.45, p.212-217, 1997.
- ELLEGAARD, L. J.; AAMAND, J.; KRAGELUND, B. B.; JOHNSEN, A. H.; ROSENDAHL, S. Strains of the soil fungus *Mortierella* show different degradation potentials for the phenylurea herbicide diuron. **Biodegradation**, v. 24, n. 6, p. 765–774, 2013.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. USDA.gov - United States Department of Agriculture, 2017.

ESTÉVEZ, M. A. et al. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of ground water resources. **Agriculture, Ecosystems & Environment.**, v. 123, n. 4, p. 247-260, 2008.

FARIA, R.M.; BARROS, R.E.; TUFFI SANTOS, L.D. Weed interference on growth and yield of transgenic maize. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 515-520, 2014.

FRANÇA, G.V.S; OLIVEIRA, A. G; MELO, C. A.D; SILVA, G.S; CARNEIRO, G. D. O. P; SILVA, D.V; REIS, M.R. Resíduos de atrazine e de tembotrione no solo afetam o crescimento inicial da beterraba. **REVISTA BRASILEIRA DE HERBICIDAS**. v.15, n.2, 2016.

FRANCISCO, J. G., MENDES, K. F., PIMPINATO, R. F., TORNISIELO, V. L.; GUIMARÃES A. C. D. Aminocyclopyrachlor sorption-desorption and leaching from three Brazilian soils, **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.0, n.0, p.1-6, 2017.

FREITAS, M.A.M., PASSOS, A.B.R.J., TORRES, L.G., MORAES, H.M.F., FAUSTINO, L.A., ROCHA, P.R.R., & SILVA, A.A. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v.32, n.2, p.385-392, 2014.

GAVA, J. A. FRIZZONE, R. L. SNYDER, B. M. DE ALMEIDA, P. S. L. DE FREITAS, R. REZENDE. Strategies of deficit water management in irrigation of soybean crop. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.10, n. 3, p. 305-3015, 2016.

GAZZIERO, D. L. P; SILVA, A. F. Caracterização e manejo de *Amaranthus palmeri* **Embrapa Soja**, n.384, p. 39, 2017

GUIMARÃES, A., TAKESHITA, V., CATISSI, F., NICOLAI, M., & CHRISTOFFOLETI, P. Eficácia do imazapic no controle de capim-camalote aplicado em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.3, 213-220, 2016.

H. EL BAKOURI, J. MORILLO, J. USERO, E. VANDERLINDEN, H. Vidal. Effectiveness of acid treated agricultural stones used in biopurification systems to avoid pesticide contamination of water resources caused by direct losses: Part I Equilibrium experiments and kinetics. **Bioresour. Technol.**, n.101, v.14, p. 5084-5091, 2010.

INOUE, M. H.; SANTANA, D.C.; OLIVEIRA JR, R. S.; CLEMENTE, R. A.; DALLACORT, R.; POSSAMAI, A. C. S.; SANTANA, C. T. C.; PEREIRA, K. M. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 825-833, 2010.

INOUE, M.H.; MENDES, K.F.; SANTANA, C.T.; POSSAMAI, A.C.S. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados em solos contrastantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.3, p.232-242, 2011.

IVANO, V. A.G., D. ROSSO, L.V. SAVITCH, P. STACHULA, M. ROSEMBERT, G. OQUIST, V. HURRY, N.P.A. Hüner, Implications of alternative electron sinks in increased resistance of PSII and PSI photochemistry to high light stress in cold-acclimated *Arabidopsis thaliana*, **Photosynthesis Research**. v.113, p.191-206, 2012.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v.103, p.561-579, 2009.

LawlorDW. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany** v.89, p. 871–885, 2002.

LEMOS, O. L.; ALMEIDA, O. S.; GUEDES, P. A.; REBOUÇAS, T. N.H.; SENO, S. Relação entre o metabolismo de nitrogênio e a fotossíntese na formação de frutos: uma revisão bibliográfica. *Dialogo & Ciência- Revista da Rede de Ensino FTC*, n.7, 2008.

LIU, Y.; XU, Z.; WU, X.; GUI, W.; ZHU, G. Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1, p. 462-468, 2010.

LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; SOARES, D. J.; OLIVEIRA, N. C.; KAWAGUCHI, I. T.; BERGER, G. U.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferência e controle de milho voluntário tolerante ao glifosato na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 340-347, 2016.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.2, p.151-164, 2011.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio - Brasil 2015/16 a 2024/2025**. 2016.

MATEUS, R. P. G.; SILVA, C. M. Avanços biotecnológicos na cultura da soja. **Revista. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 8, n.2, p. 23-27, 2013.

MELO, C., DIAS, R., MENDES, K., ASSIS, A., & REIS, M. Carryover de herbicidas em sistemas cultivados com olerícolas. **Revista Brasileira De Herbicidas**, v.15, n.1, p. 67-78, 2016.

MELO, M., ROCHA, L., BRUNHARO, C., SILVA, D., NICOLAI, M., & CHRISTOFFOLETI, P. Alternativas de controle químico do capim-amargoso resistente ao glyphosate, com herbicidas registrados para as culturas de milho e algodão. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v.16, n.3, p. 206-215, 2017.

MENDES, K. F.; REIS, M. R.; DIAS, A. C. R.; FORMIGA, J. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; TORNISIELO, V. L. A proposal to standardize herbicide sorption coefficients in Brazilian tropical soils compared to temperate soils. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. v.12 n.3 & 4, p. 424-433, 2014.

MONQUERO, P. A.; MUNHOZ, W. S.; HIRATA, A. C. S. Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 3, p. 331-337, 2013a.

MONQUERO, P. A.; CÔRREA, M. C.; BARBOSA, L. N.; GUTIERREZ, A.; ORZARI, I.; HIRATA, A. C. S. Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 127-135, 2013.

MONQUERO, P. A.; SABBAG, R., ORZARI, I.; HIJANO, N.; GALVANI FILHO, M.; DALLACOSTA, V.; SILVA, H. A. C. Lixiviação de Saflufenacil e residual após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 415-423, 2012.

MONQUERO, P.A.; SILVA, P.V.; SILVA HIRATA, A.C.; TABLAS, D.C.; ORZARI, I. Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic. *Planta Daninha*, v.28, n.1, p. 185-195, 2010.

MOTTA, I. S.; SCAPIM, C.; BRACCINI, A. L.; LANA, M. C. Características agronômicas e componentes da produção de sementes de soja em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 2, p. 153-162, 2000.

NETO, M. D. C.; SOUZA, M. F.; SILVA, D. V.; FARIA, A. T.; SILVA A. A.; PEREIRA, G. A. M. Leaching of imidazolinone in soils under a clearfield system. **Archives of Agronomy and Soil Science**. v. 66, n. 7, p. 897-906, 2016.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: Oliveira Júnior, R. S.; Constantín, J.; Inoue, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, 2011. p.263-304.

PALARO, V. W.; NETO, A. M. O.; GUERRA, N.; GOES MACIEL, C. D. Controle químico de biótipos de capim-amargoso resistentes ao glyphosate. *Campo Digital: Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrária*, v. 8, n. 1, p. 43-50, 2013.

PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. Dinâmica do crescimento vegetal (Princípios básicos), p. 1-20, 2004.

PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S.D., REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M, AMARAL, J. F. T. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo deficit hídrico. **Coffee Science** - v.12, n.3, 2017.

PETTER, F., SANTOS, T., SINHORIN, A., BORGES, L., ALVES, L. PEREIRA, L. Sorção e desorção de diuron em Latossolo sob a aplicação de biochar. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 487-496, 2016.

PINTADO, S.; MONTOYA, M. R.; MELLADO, J. M. R. Imidazolinone herbicides in strongly acidic media: Speciation and electro reduction. **Comptes Rendus Chimie**, v. 14, n. 10, p. 957-962, 2011.

QUEIROZ, A. R. S.; VIDAL, R. A.; JÚNIOR, A. M. Fatores que possibilitam a redução da dose dos herbicidas inibidores da enzima ALS: revisão de literatura. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 23, s/n, p. 25-36, 2013.

RADOVANOV, K.J. Imazethapyr persistence in sandy loam detected using white mustard bioassay. **Journal Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 52, n. 10, p. 711-718, 2017

REFATTI, J. P.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; MANICA-BERTO, R.; BUNDT, A. C.; ELGUEIRA, D. B. Efeito da calagem na lixiviação de imazethapyr e imazapir em solo de cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 44, n.6, p. 1008-1014, 2014.

- REZENDE, B. P. M.; TAVARES, C. J.; MORANGONI, R. E.; CUNHA, P. C. R.; JAKELAITIS, A. Efeito do fomesafen + fluazifop-p-butil associados com inseticidas no controle das plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias – Brazilian Journal of Agricultural Sciences**. v. 7, n. 4, p.608-613, 5, 2012.
- RIZZARDI, M.A.; SILVA, L. Manejo de plantas daninhas eudicotiledôneas na cultura da soja Roundup Ready. **Planta daninha**, v. 32, n. 4, p. 683-697, 2014.
- ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; BORGES, L. G. F. C.; SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A. Sorção e dessorção do diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta daninha**, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Grafmarke, 2011. 697 p.
- ROLFE, S. A.; SCHOLLES, J.D. Chlorophyll fluorescence imaging of plant-pathogen interactions. **Protoplasma**, v. 247, n. 3-4, p. 163-175.
- SCHERER, M. B. et al. Herbicidas pré-emergentes para manejo de milho voluntário RR® na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2017
- SENSEMAN, S.A. et al. **Herbicide handbook**. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458p.
- SILVA, D.V.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; FRANÇA, A.C.; SEDIYAMA, T. Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 901-910; 2012.
- SIQUEIRA, R. H. S; ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M.; CARVALHO, R. C. S.; Agregação de um latossolo vermelho-amarelo submetido a métodos de controle de plantas invasoras na cultura do café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1128-1134, 2014.
- SOUSA, C.P., PINTO, J.J.O., MARTINAZZO, E.G., PERBONI, A.T., FARIAS, M.E., & BACARIN, M.A. Chlorophyll a fluorescence in rice plants exposed of herbicides of group imidazolinone. **Planta Daninha**, v.32, n.1, p.141-150, 2014.
- SOUZA, M.F., C. NETO, M.D., MARINHO, M.I., SARAIVA, D.T., FARIA, A.T., SILVA, A.A., & SILVA, D.V. Persistence of imidazolinones in soils under a clearfield system of rice cultivation. **Planta Daninha**, n.34, v.3, p.589-596, 2016.
- STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental question: the JIP test. In: MATHIS, P. (Ed.), **Photosynthesis: From Light to Biosphere**, vol. V. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands, p. 977–980, 1995.
- STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M., SRIVASTAVA, A. Analysis of the chlorophyll fluorescence transient, In: G.C. Papageorgiou, Govindjee (Eds.), **Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration**, Springer, Dordrecht, The Netherlands, v. 19, p. 321–362, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TSIMILLI-MICHAEL, M. & STRASSER, R.J. In vivo assessment of plants' vitality: applications in detecting and evaluating the impact of mycorrhization on hostplants, in: A. Varma (Ed.), **Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics**, 3rd ed., Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 679–703, 2008.

VASCONCELOS, M. C. C.; SILVA, A. F. A; LIMA, R. S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 8, n. 1, p.1-6, 2012.

VIDAL, R.A. Ação dos herbicidas. Porto Alegre, Evangraf. 89p, 2002.

VIDAL, R.A.; MEROTTO JR., A; SCHAEGLER; LAMEGO, F.P.; PORTUGAL, J.; MENENDES, J. ET AL. MECANISMOS DE AÇÃO DOS HERBICIDAS. In: Monquero, P. A. **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: RiMa Editora, 2014. v.1, cap. 10, p. 235-255.

VITORINO, H. S.; SILVA JR, A. C.; GONCALVES, C. G.; MARTINS, D. Interference of a weed community in the soybean crop in functions of sowing spacing. **Revista Ciência Agrônômica**.v.48, n.4, p.605-613, 2017.

WANG L.F., Physiological and molecular responses to variation of light intensity in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), **PLoSOne** n.9, e89514, 2014.

WANG, D., WANG, Y., YIN, Y., MIN, S., WANG, S., YU, YUNLONG. Bioavailability-based estimation of phytotoxicity of imazaquin in soil to sorghum. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 22, n.7, p. 5437–5443, 2015.

YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N.B. Overexpression of  $\gamma$ -tocopherolmethyl transferase gene in transgenic *Brassicajuncea* plant alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1428-1438, 2010.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. *Crop Protection*, v.26, n.3, p.370276, 2007.