

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Residual de imidazolinonas e sua remediação em elevada concentração
de CO₂ na atmosfera.**

Luiza Piccinini Silveira

Pelotas, 2017

Luiza Piccinini Silveira

**Residual de imidazolinonas e sua remediação em elevada concentração
de CO₂ na atmosfera.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitossanidade (área de conhecimento: Herbologia).

Orientador: Ph.D Luis Antonio de Avila

Co-orientador: Ph.D. André Andres; Ph.D Edinalvo Rabaioli Camargo

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S587r Silveira, Luiza Piccinini

Residual de imidazolinonas e sua remediação em elevada concentração de CO₂ na atmosfera / Luiza Piccinini Silveira ; Luis Antonio de Avila, orientador ; Edinalvo Rabaioli Camargo, André Andres, coorientadores. — Pelotas, 2017.
79 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Fitorremediação. 2. Imidazolinonas. 3. Alelopatia. I. Avila, Luis Antonio de, orient. II. Camargo, Edinalvo Rabaioli, coorient. III. Andres, André, coorient. IV. Título.

CDD : 632.9

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Luis Antonio de Avila (Orientador).
Ph.D. em Agronomia pela Texas A&M University.

.....
Dr. Sidnei Deuner.
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras.

.....
Ph.D André Andres.
Ph.D em Ciências Agrárias e Florestais pela Universidade de Torino

.....
Dr. Sidnei Kuster Ranno
Doutor em Agronomia- Produção vegetal pela Universidade Federal da Grande
Dourados

Agradecimentos

Ao meu pai Carlos e minha mãe Carolina por terem me dado educação e valores, e a oportunidade de estudar e chegar até aqui. Sem vocês dois nada disso teria sido possível. As minhas irmãs Virginia e Cecilia, obrigada pelo apoio em momentos que precisei e por me mostrarem a importância de estudar.

Meu orientador Professor Ph.D. Luis Antonio de Avila pela oportunidade e ensinamentos. Obrigada por me motivar quando necessário e agradeço pelos conselhos que levarei para vida.

Aos Pesquisadores da Embrapa Ph.D. André Andres, Dr. Gustavo Mack Teló e José Maria Barbat Parfitt pelos conselhos, e auxílio durante a realização dos meus experimentos.

Aos Professores Dr. Dirceu Agostinetto e Ph.D. Edinaldo Rabaioli que destinaram parte do seu tempo quando pedi ajuda, contribuindo para minha formação e pesquisa.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À CAPES pelo apoio financeiro na condução da pesquisa e pela bolsa de mestrado

Ao Cédrick Benetti, pelo apoio e ajuda incansável nestes dois anos.

Aos meus colegas de pós-graduação e estagiários, especialmente ao Anderson Feijó e Fábio Schreiber pela amizade durante esses dois anos. À Andrisa Balbinot, Fernanda Caratti, Marcus Fipke e Leonard Piveta pela força quando precisei.

Agradeço à todos que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Vocês também fazem parte desta conquista! Muito Obrigada!

Resumo

SILVEIRA, Luiza Piccinini. **Residual de imidazolinonas e sua remediação em elevada concentração de CO₂ na atmosfera**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

O residual prolongado dos herbicidas do grupo das imidazolinonas é um problema para as culturas semeadas em sucessão com o arroz irrigado. As plantas utilizadas como cobertura ou forrageira no inverno podem ter seu desenvolvimento e qualidade alterados pela atividade residual. Uma maneira de reduzir a concentração destes compostos no solo é utilizando a fitorremediação. Um fator que pode interferir no poder fitorremediador é o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera em consequência das mudanças climáticas. O aumento de CO₂ poderá acarretar em maiores períodos de seca, e a combinação destes estresses podem interferir na produção de composto alelopáticos das espécies forrageiras utilizadas como remediadoras. O presente estudo teve por objetivo verificar se existe perda nutricional no azevém semeado em solo com residual de imazapir + imazapique; a interferência do incremento de CO₂ na atmosfera no poder remediador de espécies forrageiras, e o efeito da combinação de aumento de CO₂ na atmosfera e déficit hídrico na produção de compostos alelopáticos do azevém. Para atingir estes objetivos foram conduzidos três experimentos. No experimento I avaliou-se a remediação do herbicida imazapir + imazapique pelas espécies azevém, trevo branco e cornichão em elevado CO₂ na atmosfera. Foi conduzido em câmaras de topo aberto (OTC), com as espécies trevo, ervilhaca e azevém. Os tratamentos constituíram das concentrações de CO₂ na atmosfera de 400 e 700 ppm e diferentes doses de imazapir + imazapique. O experimento II abordou o impacto do incremento de CO₂ e déficit hídrico no poder alelopático do azevém. As plantas foram conduzidas em OTC e os tratamentos foram compostos de dois teores de umidade no solo, -10 e -80 kPa, duas concentrações de CO₂ na atmosfera, 400 e 700 ppm, e duas populações de plantas, 10 (100%) e 20 (200%). No experimento III estudou-se a possibilidade de perda da qualidade nutricional do azevém pelo residual do herbicida imazapir + imazapique. O ensaio foi conduzido a campo, onde o azevém o foi semeado em sucessão com arroz, onde foi aplicado diferentes doses da mistura dos herbicidas imazapir + imazapique. Como resultado, observou-se que o aumento do CO₂ na atmosfera causa diferentes respostas nas plantas, dependendo da espécie, podendo diminuir o potencial fitorremediador das mesmas. Também, o déficit hídrico combinado com elevadas concentrações de CO₂ causou aumento do efeito alelopático do azevém em sementes de alface e pepino. Por fim, o residual do herbicida

imazapir + imazapique reduz a massa seca do azevém, porém não afeta a sua qualidade nutricional.

Palavras-chave: fitorremediação; mudanças climáticas; alelopatia; imidazolinonas.

Abstract

SILVEIRA, Luiza Piccinini. **Residual of imidazolinones and their remediation in high concentration of CO₂ in the atmosphere.** 2017. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brazil.

The prolonged residual of the herbicides of the imidazolinones group is a problem for the crops sown in succession with the irrigated rice. The plants used as winter cover or forage may have their development and quality altered by residual activity. A way to reduce the concentration of these compounds in the soil is to use phytoremediation. One factor that may interfere with the phytoremediative power is the increase in the concentration of CO₂ in the atmosphere because of climate change. Increased CO₂ may lead to longer periods of drought, and the combination of these stresses may interfere with the production of allelopathic compounds from forage species used for remediation. The present study had as objective to verify if there is nutritional loss in the ryegrass planted in soil with residual of imazapyr + imazapic; the influence of the increase of CO₂ in the atmosphere on the remedial power of forage species, and the effect of the combination of increase of CO₂ in the atmosphere and water deficit in the production of allelopathic compounds of the ryegrass. To achieve these objectives, three experiments were conducted. In the experiment I it was evaluated the remediation of the herbicide imazapyr + imazapic by the ryegrass, white clover and common vetch species in high CO₂ in the atmosphere. It was conducted in open top chambers (OTC), with the species clover, vetch and ryegrass. The treatments consisted of the concentrations of CO₂ in the atmosphere of 400 and 700 ppm and different doses of imazapyr + imazapic. Experiment II addressed the impact of CO₂ increment and water deficit on the allelopathic power of ryegrass. The plants were conducted in OTC and the treatments were composed of two moisture contents in the soil, -10 and -80 kPa, two concentrations of CO₂ in the atmosphere, 400 and 700 ppm, and two plant populations, 10 (100%) and 20 (200%). The experiment III studied the possibility of loss of the ryegrass nutritional quality by the residual of the herbicide imazapyr + imazapic. The trial was conducted in the field, where the ryegrass was sown in succession with rice and it was applied different doses of the mixture of the herbicides imazapyr + imazapic. As results it was observed that the increase of the CO₂ in the atmosphere causes different plant responses depending on the species and may decrease the phytoremediation potential of the plants. In addition, the combined water deficit with high concentrations of

CO₂ caused an increase in the allelopathic effect of ryegrass. Furthermore, in lettuce and cucumber seeds the residual of the herbicide imazapir + imazapic reduces the dry mass of the ryegrass, but does not affect its nutritional quality.

Key words: phytoremediation; climate changes; allelopathy; imidazolinones.

Sumário

Agradecimentos	3
1. Introdução.....	9
2. Capítulo I.....	15
2.1 Introdução	15
2.2 Material e Métodos.....	18
2.3 Resultados e Discussão.....	20
2.3.1 Efeito no crescimento das plantas fitorremediadoras.....	20
2.3.2 Eficiência na fitorremediação (efeito sobre a planta bioindicadora)	26
2.3.2.1 Trevo	26
2.3.2.2 Azevém	30
2.3.2.3 Ervilhaca	33
2.4 Conclusão	36
3. Capítulo II.....	37
3.1 Introdução	37
3.2 Materiais e Métodos.....	40
3.3 Resultados e Discussão.....	42
3.3.1 Azevém	42
3.3.2 Alface	43
3.3.3 Pepino.....	51
3.4 Conclusão	55
4. Capítulo III. Atividade Residual do herbicida imazapir+imazapique no desenvolvimento e qualidade nutricional do azevém (Lolium multiflorum)	56
4.1 Introdução	56
4.2 Material e Métodos.....	59
4.3 Resultados e Discussão.....	61
4.4 Conclusão	66
5. Considerações Finais	67
Referências.....	68

1. Introdução

Um herbicida residual é aquele que apresenta maior período de atividade, ou seja, efeito residual é a habilidade que o herbicida tem de manter a integridade de sua molécula e suas características físicas, químicas e funcionais no ambiente (OLIVEIRA, 2001). O efeito residual dos herbicidas está diretamente relacionado à dinâmica destes no ambiente, e a dinâmica está relacionada com as propriedades físico-químicas do herbicida e do solo, com as condições climáticas, com o manejo e o sistema de cultivo utilizado (MANCUSO et al., 2011).

Quando um herbicida é aplicado na lavoura, além de atingir as plantas, uma porção atinge o solo, tanto por contato direto quanto por escorrimento das folhas ou por plantas mortas que incorporaram-se ao solo. Uma vez em contato com o solo, o produto pode ter diferentes destinos como: a absorção pelas raízes das plantas, permanecer sorvido nos coloides do solo ou dissolvido na solução do solo, sofrer fotólise, hidrólise ou degradação microbiana. Além disso, o herbicida pode ser transportado para uma região fora da região de absorção das raízes, por lixiviação ou escorrimento superficial, contaminando fontes de água (KRAEMER et al., 2009, TIRYAKI et al., 2010).

Alguns produtores adotam sistema onde se baseiam somente no controle químico das plantas daninhas com o uso de herbicidas preestabelecidos, e não levam em conta fatores importantes como o tipo de solo e clima do local, cultivar e sistema rotacional de cultivo. Logo, isto pode acarretar problemas de toxicidade em culturas subsequentes pelo efeito residual de alguns herbicidas utilizados em culturas antecessoras (MANCUSO et al., 2011). Os danos na cultura, geralmente causam redução no crescimento e desenvolvimento, porém, dependendo de seu grau podem causar a morte de plantas (MARCHESAN et al., 2011).

Dentre os herbicidas que podem causar problema de residual para culturas subsequentes destaca-se a mistura formulada dos herbicidas imazapir

e imazapique (Kifix®), do grupo químico das imidazolinonas, utilizada na cultura do arroz irrigado. Herbicidas deste grupo químico são inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS). A ALS é a primeira enzima na biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina, e tem seu feedback regulado por esses aminoácidos. A enzima catalisa duas reações paralelas: a condensação de duas moléculas de piruvato para formar acetolactato, e a condensação de uma molécula de piruvato com uma de 2-oxibutirato para formar aceto-hidroxitirato (EBERLEIN et al, 1997). Os herbicidas inibidores da enzima ALS ganharam popularidade por seu amplo espectro no controle de várias espécies de plantas daninhas, seletividade à várias culturas, além de serem utilizados em baixas doses, e terem baixa toxicidade aos mamíferos (MONQUEIRO et al, 2000).

As imidazolinonas são um grupo de herbicidas absorvidos pelas raízes e folhas, transportados pelo xilema e floema e se acumulam nos pontos de crescimento das plantas (SENSEMAN, 2007). O efeito fitotóxico ocorre pela deficiência dos aminoácidos, o que causa uma diminuição na síntese de proteínas e DNA, afetando a divisão celular e translocação de fotossintatos aos pontos de crescimento. Esses processos causam redução de crescimento e alongamento das folhas e clorose entre as nervuras foliares (SHANER & SING, 1993).

As misturas imazetapir + imazapique e imazapir + imazapique foram desenvolvidas com o intuito de controlar o arroz-vermelho em lavouras de arroz irrigado (SOUZA et al., 2012). As moléculas destes produtos são semelhantes, diferindo apenas no radical que se liga ao carbono 5 do anel piridina: no imazapir um hidrogênio (H), no imazapique um grupo metil (CH₃) e no imazetapir um grupo etil (CH₃-CH₂). Esses radicais não apresentam muita atividade na inibição da enzima ALS, porém interferem no comportamento de cada produto no ambiente (TAN et al, 2005).

A sorção das imidazolinonas está relacionada as propriedades do solo, como umidade, pH, temperatura, textura e teor de matéria orgânica, portanto, a dose deve ser recomendada de acordo com o tipo de solo. O teor de matéria orgânica e o pH do solo são os fatores que mais influenciam a dinâmica das imidazolinonas no solo (KOSKINEN e HARPER, 2001). Em solos com baixo

teor de matéria orgânica e alto pH a sorção destas moléculas é menor, o que aumenta o risco de contaminação ambiental (KRAEMER, 2009).

Plantas forrageiras semeadas em sucessão com o arroz irrigado podem ter seu desenvolvimento afetado pelo residual destes herbicidas no solo (GROHS et al., 2008; PINTO et al., 2009). Estas plantas perdem quantitativamente (PINTO et al., 2009), sendo importante determinar a presença de perdas nutricionais.

Uma maneira de reduzir a quantidade de moléculas de herbicida no solo é o uso da fitorremediação (GRAVILESCU, 2005). A fitorremediação consiste em um processo *in situ* onde se utiliza plantas isoladas, ou plantas que estimulem a microbiota do solo, com a finalidade de descontaminar o solo. As plantas podem extrair, degradar, conter ou imobilizar contaminantes do solo e da água. Seu uso é considerado vantajoso quando comparado a técnicas tradicionais de descontaminação, como bombeamento e tratamento ou a remoção física da camada contaminada, já que além ser de baixo custo, gera mínima degradação e desestabilização da área (PIRES et al., 2003; GRAVILESCU, 2005; VASCONCELLOS et al., 2012).

As plantas utilizadas na descontaminação de ambientes com resíduos de herbicidas possuem tolerância, natural ou desenvolvida, a determinados compostos ou mecanismos de ação. Estas podem ser espécies de plantas cultivadas, sendo algumas geneticamente modificadas, ou ainda algumas espécies de plantas daninhas que toleram ou são resistentes a certos herbicidas ou grupos de herbicidas. No processo de fitorremediação os herbicidas podem ser absorvidos pelas folhas, caules ou raízes e translocados para diferentes tecidos das plantas, podendo também sofrer o processo de volatilização. Além disso, podem sofrer degradação completa ou parcial, serem transformados em compostos menos tóxicos, sendo combinados e/ou ligados aos tecidos das plantas (SILVA et al., 2014).

As plantas podem remediar contaminantes orgânicos de diversas formas. A fitoextração é o processo onde há absorção do contaminante presente no ambiente pela planta. O herbicida pode ser absorvido diretamente pelas raízes, e após pode ocorrer acúmulo de metabólitos não-fitotóxicos na própria raiz ou transporte e acumulação na parte aérea (fitoacumulação). Além disso o herbicida pode permanecer imobilizado na planta ou humificado na

rizosfera indisponível aos microrganismos (fitoestabilização). Na presença de compostos voláteis, a absorção pode ocorrer diretamente pelas folhas, processo chamado de fitovolatilização. Quando há estímulo dos microrganismos da rizosfera, os quais degradam os contaminantes devido a liberação de exsudatos e enzimas que incrementam as transformações bioquímicas e/ou a mineralização, denomina-se esse processo de fitoestimulação (PIRES et al., 2005; SILVA, 2014).

A maioria dos casos de sucesso da fitorremediação de herbicidas e agrotóxicos orgânicos não clorados estão relacionados a estimulação da microbiota do solo associada as plantas fitorremediadoras. Estudos mostram que a atividade microbiana e degradação de herbicidas, como atrazina e trifluralina, são maiores em solos rizosféricos do que em solos não vegetados, ou seja, a adição de solo rizosférico diminui a meia vida de alguns herbicidas (COSTA et al., 1992; ARTHUR et al., 2000; PIREs et al., 2005). Modificações químicas que são promovidas pelas raízes das plantas, tornam a rizosfera um ambiente capaz de promover o crescimento microbiano altamente especializado, suportando populações maiores quando comparado a solos sem raízes (SILVA et al., 2014).

Em áreas agrícolas há número reduzido de espécies para recomendar na atividade de remediação de herbicidas, visto que também o xenobiótico é desenvolvido para o controle do descontaminante (SANTOS et al., 2009). Outro fator limitante na escolha das espécies vegetais é a diversidade molecular dos herbicidas, associadas às transformações no ambiente, contrário do que ocorre na descontaminação de metais pesados, que raramente formam metabólitos intermediários no solo e são mais fáceis de quantificar (PIRES et al., 2003). Para atenuar o problema de residual de imidazolinonas em culturas subsequentes ao arroz, tem sido proposto o plantio de espécies vegetais que possuam características remediadoras para descontaminar o solo (SOUTO et al., 2013; GALON et al., 2014; SOUTO et al., 2015).

As alterações climáticas previstas poderão afetar a fitorremediação e rendimento das culturas. Isso ocorre não só pelo fato de que poderão alterar o desenvolvimento das plantas mas também por interferir na relação das plantas cultivadas com as plantas daninhas, insetos e doenças. (JACKSON et al., 2011; ROOS et al., 2011; BARNABY & ZISKA, 2012; DELCOUR et al., 2014). A

relação das culturas e das plantas daninhas é afetada por dois pontos: a melhor resposta das plantas daninhas ao aumento de dióxido de carbono no ar (ZISKA, 2003; PETERS et al., 2014) e a variação que pode ocorrer na eficiência e no transporte dos herbicidas no ambiente (BOSSI et al., 2008; FICKLIN et al., 2010; KOOKANA et al., 2010; SCHUMMER et al., 2010; CARERE et al., 2011;), como no efeito residual de alguns herbicidas no solo.

A emissão antropogênica de gases de efeito estufa (GEE) vem crescendo desde 1970, e o maior aumento absoluto foi nas últimas décadas. Cerca da metade desta emissão de CO₂ acumulada entre 1750 e 2010 ocorreu nos últimos 40 anos. Do ano de 1970 até 2000 o aumento da emissão de GEE foi de 1,7%, já de 2000 até 2010 o aumento das emissões anuais de GEE cresceu em média 2,2%, sendo considerada a taxa mais alta na história da humanidade (IPCC, 2014). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) a emissão de CO₂ é proveniente da queima de combustíveis fósseis, produção de cimento e sua queima, florestas e outros usos da terra. Desde 1970 as emissões cumulativas oriundas das floresta e do uso da terra aumentaram de 490 (±180) giga toneladas de CO₂ equivalente para 680 (±300) giga toneladas de CO₂.

O aumento do CO₂ atmosférico afeta o clima global não só por causa do efeito estufa radioativo, mas também porque afeta a fisiologia das plantas. Em elevadas concentrações de CO₂ os estômatos se fecham, reduzindo a transpiração das plantas (CAO et al., 2010; TAIZ & ZEIGER, 2013). A transpiração é reduzida porque os vegetais realizam uma permuta, onde a planta absorve CO₂ do ar e libera vapor de água para a superfície (FARQUHAR & SHARKEY, 1982). Portanto, a evapotranspiração, que é a soma da evaporação e transpiração do dossel e a evaporação do solo, é reduzida, provocando mudanças no vapor de água atmosférico e nuvens, afetando fluxos radioativos da superfície. Estas mudanças provocam alterações na temperatura e no ciclo da água. A exposição prolongada dos estômatos a diferentes níveis de CO₂ pode induzir alterações permanentes na densidade estomática (CAO et al, 2010; FRANKS et al, 2013).

O poder alelopático das plantas utilizadas como forrageiras, como o azevém, pode ser alterado com o incremento de CO₂ na atmosfera. A alelopatia pode ser definida como um processo no qual produtos do

metabolismo secundário de um determinado vegetal são liberados no ambiente, impedindo a germinação e desenvolvimento de outras plantas (SOARES & VIEIRA, 2000). Ou ainda, pode ser considerada um mecanismo de interação, como qualquer efeito direto ou indireto que uma planta ou microorganismo exerce sobre outra pela produção de compostos químicos liberados no ambiente (RICE, 1984). Fatores ambientais abióticos ou bióticos, como presença de pragas e doenças, seca, qualidade de luz e aumento da concentração de CO₂ (SOUZA FILHO, 2014) tem efeito sobre o poder alelopático das plantas.

Os compostos são oriundos do metabolismo secundário das plantas, apresentando variação na planta em concentração, localização e composição, podendo ser excretados para o ambiente no solo ou no ar de forma ativa ou lixiviados (FERREIRA e AQUILA, 2000; TAIZ e ZEIGER, 2013). O efeito visível dos aleloquímicos sobre as plantas é uma sinalização secundária de alguma mudança anterior. Essa ação pode ser direta, quando os compostos se ligam às membranas ou penetra na célula da planta receptora, interferindo no seu metabolismo; ou indireta, com alterações nas propriedades do solo, suas condições nutricionais e alteração da população e /ou atividade dos microorganismos (FERREIRA e AQUILA, 2000).

Deste modo, os objetivos dos trabalhos foram: avaliar qual o comportamento de espécies com potencial de remediar herbicidas do grupo da imidazolinonas quando submetidas a incremento de CO₂ na atmosfera (Capítulo I); estudar quais os impactos da elevada concentração de CO₂ atmosférico, estresse hídrico e alta densidade populacional sobre o desenvolvimento de plantas de azevém e sua produção de compostos alelopáticos (Capítulo II); e investigar o efeito da atividade residual do herbicida composto imazapir + imazapique no desenvolvimento e qualidade nutricional do azevém semeado em sucessão com arroz irrigado (Capítulo III).

2. Capítulo I. Remediação de solo contaminado com imazapir+imazapique (Kifix[®]) por espécies fitorremediadoras em função da concentração de CO₂ na atmosfera

2.1 Introdução

Nos últimos 40 anos ocorreu o maior crescimento de emissão antropogênica de gases de efeito estufa, sendo que de 2000 até 2010 houve o aumento de 2,2%, considerado pelo IPCC (2014) a taxa mais alta da história da humanidade. Dentre esses gases, a principal mudança ocorre no incremento de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera (PRENTICE, 2001). As mudanças no clima, que incluem as variações de CO₂ atmosférico, alteram a temperatura e precipitações ao redor do mundo, além de influenciar direta ou indiretamente no nível e salinidade dos oceanos, alterações nas terras aráveis, qualidade do solo, colheita, deposição de Nitrogênio e na diversidade das plantas (MIRAGLIA et al., 2009; DELCOUR et al., 2015). Para o crescimento das plantas sabe-se que recursos naturais como luz, nutrientes, água, temperatura e CO₂ são indispensáveis. O aumento abrupto de CO₂ na atmosfera representa uma rápida disponibilidade de um dos recursos necessários para o metabolismo das plantas (BARNABY E ZISKA, 2012), no entanto a capacidade da terra e dos oceanos de absorver CO₂ antropogênico será reduzida, aumentando a concentração do gás na atmosfera (MIRAGLIA et al., 2009). Deve-se considerar que outros gases da atmosfera irão aumentar, como o Ozônio (O₃), podendo reduzir os efeitos benéficos do CO₂, além de previsões de ocorrência de períodos de seca mais frequentes e altas temperaturas (PIMENTEL, 2011).

As plantas respondem diretamente ao aumento de CO₂ através da mudança da taxa fotossintética e da condutância estomática, e esse aumento

continuo poderá fazer com que haja aclimações a curto prazo e adaptações a longo prazo das plantas (JIA et al., 2010; BARNABY E ZISKA, 2012). A exposição de plantas a altos níveis de dióxido de carbono resulta em um aumento da taxa fotossintética, principalmente de plantas C3, porém pesquisadores observaram que após um período que pode variar de horas até meses há uma “aclimação fotossintética”, e as taxas então diminuem novamente (BARNABY E ZISKA, 2012).

O esperado é que as plantas C3 serão mais beneficiadas do que as C4 com o aumento da concentração de CO₂ no ar (VALÉRIO et al., 2013). As plantas C4 devido as suas modificações morfofisiológicas no aparato fotossintético já utilizam com maior eficiência o CO₂ presente na atmosfera nas condições atuais (WALTER et al., 2015). Grande parte das culturas agrícolas, como o arroz e a soja, são C3 e em contra partida as plantas daninhas são C4 em sua grande maioria, o que poderá alterar a habilidade competitiva das culturas em relação as plantas daninhas (VALERIO et al., 2013). Porém, o aumento da temperatura fará com que haja expansão geográfica de diversas comunidades de plantas daninhas (JACKSON et al., 2011) e aumento da tolerância a herbicidas e severidade (GUTIERREZ et al., 2008). Com incremento de CO₂ na atmosfera, as plantas daninhas conseguem obter melhor eficiência do uso da água e fertilização em comparação as plantas cultivadas, além do que o aumento da espessura das folhas e fechamento dos estômatos em razão da alta concentração do gás na atmosfera reduz a absorção e eficácia dos herbicidas (DELCOUR et al., 2015). Valério et al. (2013) mostra que uma planta daninha C4 em competição com uma planta cultivada C3 respondeu melhor ao incremento de CO₂, sugerindo que além da via fotossintética deve-se levar em conta aspectos fenológicos das plantas.

Além do efeito na interação entre plantas cultivadas e daninhas, as mudanças climáticas irão alterar também a dinâmica dos agrotóxicos. A eficiência e uso dos agrotóxicos são influenciados de diversas maneiras pelas condições ambientais, portanto as mudanças climáticas terão efeito sobre o destino e comportamento desses no ambiente (NOYES et al., 2009; DELCOUR et al., 2015). Os mecanismos fundamentais de partição no ambiente serão

alterados, principalmente pelo aumento da volatilidade, deposição úmida e degradação (NOYES et al., 2009).

As características fisiológicas e fenológicas das plantas cultivadas sofrerão alterações junto com as mudanças do clima, porém as plantas daninhas, pragas e doenças também sofrerão adaptações genéticas, podendo ter seu controle dificultado. (DELCOUR et al., 2015).

O aumento no uso de produtos fitossanitários pode ser altamente prejudicial não só para o ambiente como para culturas semeadas em áreas que contenham herbicidas de safras anteriores (*carryover*). Um grupo de herbicidas que possuem alto residual no solo é o das imidazolinonas. Estes herbicidas inibem a enzima acetolactato sintase (ALS), essencial no processo da síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (SENSEMAN, 2007). A deficiência desses aminoácidos acarreta a diminuição da síntese de proteínas e DNA, afetando a divisão celular e translocação de fotossintatos aos pontos de crescimento. Esses processos provocam redução no alongamento das folhas, crescimento das plantas e nervuras foliares (KRAEMER et al., 2009).

Uma maneira de diminuir a persistência dos herbicidas no solo é utilizando a fitorremediação, técnica baseada na utilização de plantas e sua microbiota para reduzir o volume, mobilidade ou toxicidade de contaminantes no solo e água (ETIM, 2012; MALADÃO et al., 2012). Estes contaminantes podem ser compostos orgânicos ou inorgânicos como metais pesados, pesticidas, explosivos e óleo. É uma técnica vantajosa por ser eficiente, com baixo custo, e utiliza de processos naturais para retirada de poluentes no ambiente (GALON et al., 2014; ETIM, 2012).

Os mecanismos utilizados pelas plantas na remediação são variados, incluindo absorção, transformação, estabilização e degradação pela rizosfera. Quando se trata de remediação de herbicidas os processos mais comuns são rizofiltração, fitoestimulação, fitodegradação e rizodegradação (SILVA et al., 2014).

Estudos prévios mostram que a absorção de contaminantes pelas plantas em altos níveis de CO₂ na atmosfera depende fortemente da espécie fitorremediadora. Em estudo com mostarda e girassol, Tang et al (2003)

relatam que há o aumento da remediação de cobre em altos níveis de CO₂, porém Guo et al (2006) e Jia et al (2007) mostram um menor acúmulo de metais em plantas de arroz cultivadas nessa condição.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar qual o comportamento de espécies com potencial de fitorremediar herbicidas do grupo das imidazolinonas quando submetidas à atmosfera com incremento de CO₂.

2.2 Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em câmara de topo aberto (OTC), e as análises realizadas em laboratório de Dinâmica de Herbicidas pertencentes ao Centro de Herbologia (CEHERB), na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

Para cada espécie remediadora foi realizado um ensaio. As espécies utilizadas foram ervilhaca (*Vicia sativa*), trevo (*Trifolium repens* L.) e azevém (*Lolium multiflorum*). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial. O fator A foi composto dos níveis de CO₂ no interior das OTCs de 400 e 700 ppm. O fator B constituiu das doses de 0, 21 70 e 140 g ha⁻¹, correspondente a 0, 15, 50 e 100% da dose recomendada da mistura dos herbicidas imazapir + imazapique (73,5 g ia⁻¹ + 24,5 g ia⁻¹) (AGROFIT, 2017).

O solo utilizado é caracterizado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2013). O mesmo apresenta as seguintes características: pH (5,1), cálcio (3,4 cmolc dm⁻³), magnésio (1,8 cmolc dm⁻³), alumínio (0,5 cmolc dm⁻³), fósforo (11,7 mg dm⁻³), potássio (43 mg dm⁻³), CTC_{pH7} (9,2), matéria orgânica (0,7%) e argila (24%).

Os vasos (unidade experimental) com capacidade volumétrica de 4 litros foram preenchidos com solo. O herbicida foi aplicado, e após 24 horas da aplicação o solo foi revolvido e colocado novamente nos vasos. As espécies remediadoras foram então semeadas nos vasos e permaneceram por um período de 60 dias nas OTCs. Após este período foi semeado nos vasos como espécie bioindicadora a cultivar de arroz IRGA 424, sensível as imidazolinonas,

na densidade recomendada para a cultivar (SOSBAI, 2014). O arroz foi conduzido por 40 dias em casa de vegetação (Figura 1).

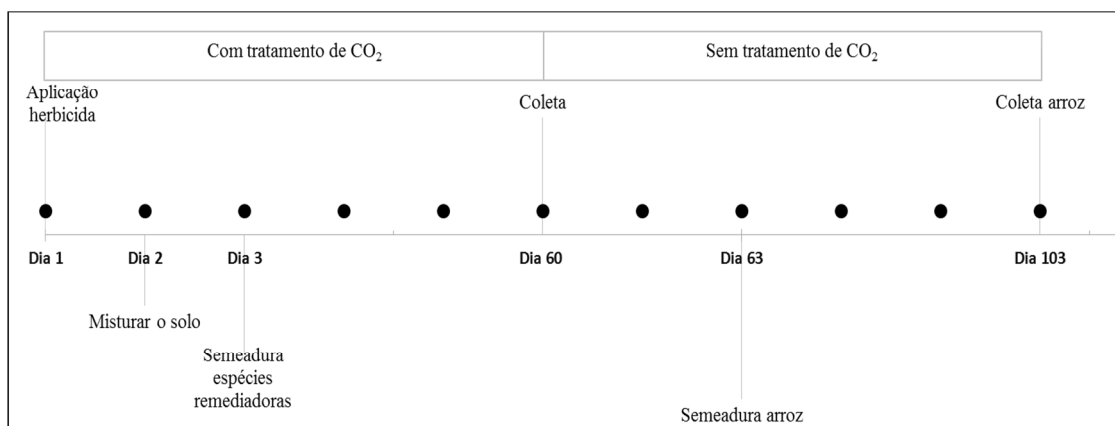


Figura 1. Linha do tempo referente ao experimento de remediação do herbicida imazapir + imazapique em alta concentração de CO₂.

Para aplicação dos herbicidas, foi utilizado pulverizador costal pressurizado a CO₂, com ponta de pulverização do tipo leque 110.015, espaçadas a 0,5m, com pressão constante de 1 bar (1,0197 kgf cm⁻²), regulado para um volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

As análises realizadas nas espécies fitorremediadoras foram:

-Estatura das plantas, realizada aos 30 e 60 DAE, onde foi medida a altura das plantas com auxílio de uma régua milimetrada.

-Área foliar: a área foliar foi mensurada com medidor de área foliar modelo LI 3100C. As plantas foram coletadas a nível do solo aos 60 DAE, e as mesmas foram utilizadas para obter a MSPA. O valor total de cada unidade experimental foi dividido pelo número de plantas, para obter a área foliar por planta.

-Massa seca da parte aérea (MSPA), onde foram coletadas amostras aos 60 DAE e as mesmas foram submetidas a secagem em estufa de circulação forçada a 60°C, e depois pesadas em balança de precisão. Para azevém e ervilhaca, a massa seca total foi dividida pelo número de plantas por vaso.

No arroz cultivar IRGA 424, utilizado como planta bioindicadora, as avaliações realizadas foram:

- Fitotoxicidade, aos sete, 14, 21, 28 DAE, quantificada através de avaliação visual adotando uma escala percentual, onde zero (0) é ausência de fitotoxicidade e cem (100) morte das plantas.

- Estatura, aos 40 DAE, onde foi medida a altura das plantas com auxílio de uma régua milimetrada.

Os dados foram analisados quanto à homocedasticidade e à normalidade e, quando necessário, foi realizada transformação. Em seguida, foram submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$) e se constatado diferença significativa, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Em caso de diferença significativa entre as doses, ou interação entre os fatores, foi realizada análise por modelos de regressão ($p \leq 0,01$).

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Efeito no crescimento das plantas fitorremediadoras

Os resultados mostram diferentes respostas ao incremento de CO_2 na atmosfera para as espécies remediadoras estudadas. O comportamento das plantas sob altas concentrações de CO_2 varia de acordo com a espécie vegetal, podendo ser positivo ou não. Não houve interação entre os fatores para a variável estatura (Figura 2 e 3), houve somente diferença entre as médias dos fatores isolados.

Para a espécie trevo e azevém, houve ajuste dos dados de estatura à curva. A testemunha não diferiu do tratamento com dose de 21 g ha^{-1} de herbicida (Figura 2). As médias tratamentos de 70 e 140 g ha^{-1} não apresentaram diferença significativa, sendo a menor estatura observada na dose de 140 g ha^{-1} (100% da dose recomendada). Ao comparar as médias da estatura do trevo nas diferentes concentrações de CO_2 na atmosfera (Figura 3-A), a maior estatura foi observada em atmosfera com 400 ppm de CO_2 .

No entanto, para as plantas de azevém no fator dose de herbicida (Figura 2), a testemunha não diferiu estatisticamente da dose de 21 g ha^{-1} . O menor valor foi observado para a dose de 140 g ha^{-1} . Para o fator concentração de dióxido de carbono observou-se menor estatura nas plantas conduzidas em

alto CO₂ em relação aquelas que foram conduzidas na atmosfera de 400 ppm de CO₂ (Figura 3-B).

Os dados de estatura da ervilhaca não se ajustaram a curva. Ao comparar as doses de herbicida, a testemunha diferiu dos demais tratamentos, obtendo melhores resultados (Figura 2). Não houve diferença na estatura de plantas entre os tratamentos de 400 e 700 ppm (dados não apresentados).

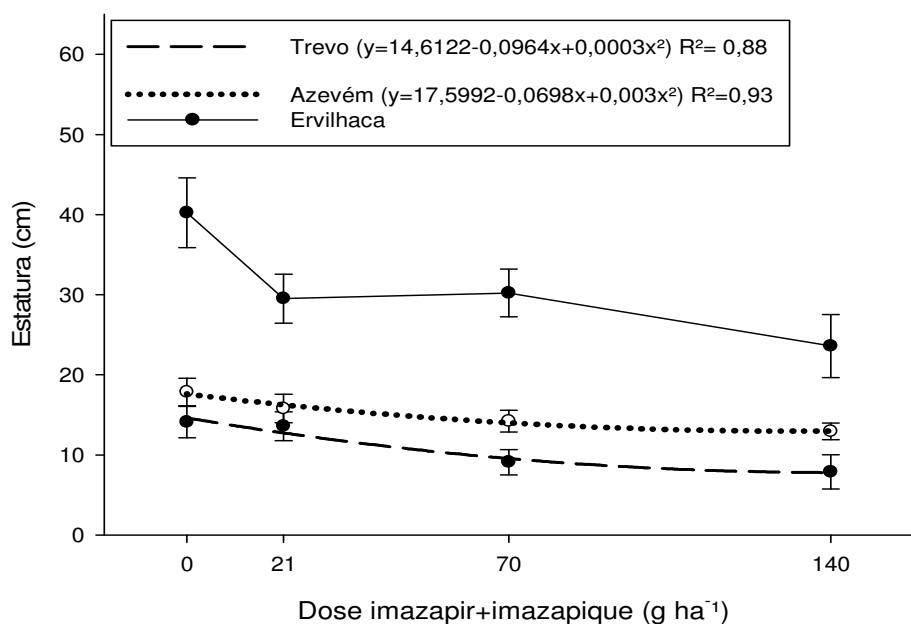


Figura 2. Gráfico da estatura da parte aérea (cm) das plantas fitorremediadoras submetidas a diferentes doses de herbicida imazapir+imazapique aos 60 DAE. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

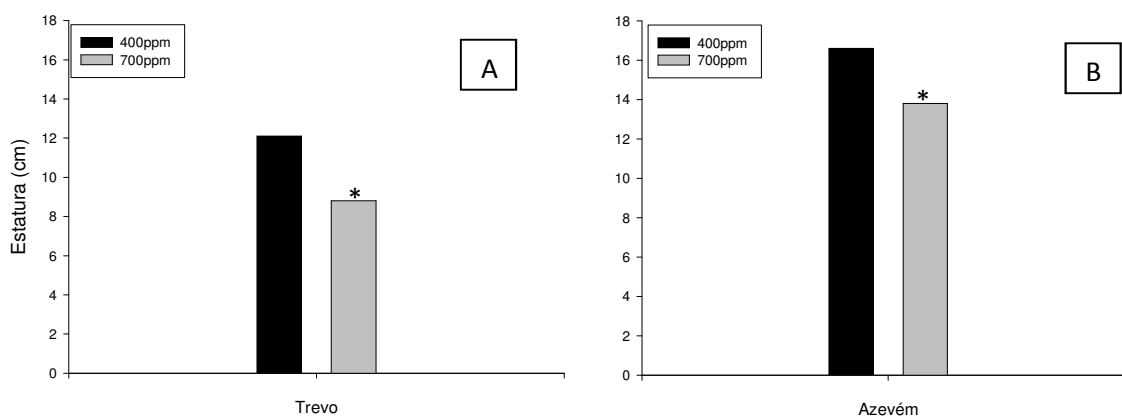


Figura 3. Gráfico da estatura da parte aérea (cm) das espécies fitorremediadoras trevo (A) e azevém (B) submetidas a diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera aos 60 DAE. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

Na massa seca da parte aérea (Figura 4) para o trevo (Figura 4-A) e ervilhaca (Figura 4-B) não houve interação entre os fatores. Não houve diferença entre as médias do fator concentração de CO₂ (dados não apresentados). Para ambas espécies, o fator dose do herbicida apresentou diferença entre as médias, onde quanto maior a dose de herbicida menor foi a massa da matéria seca da parte aérea.

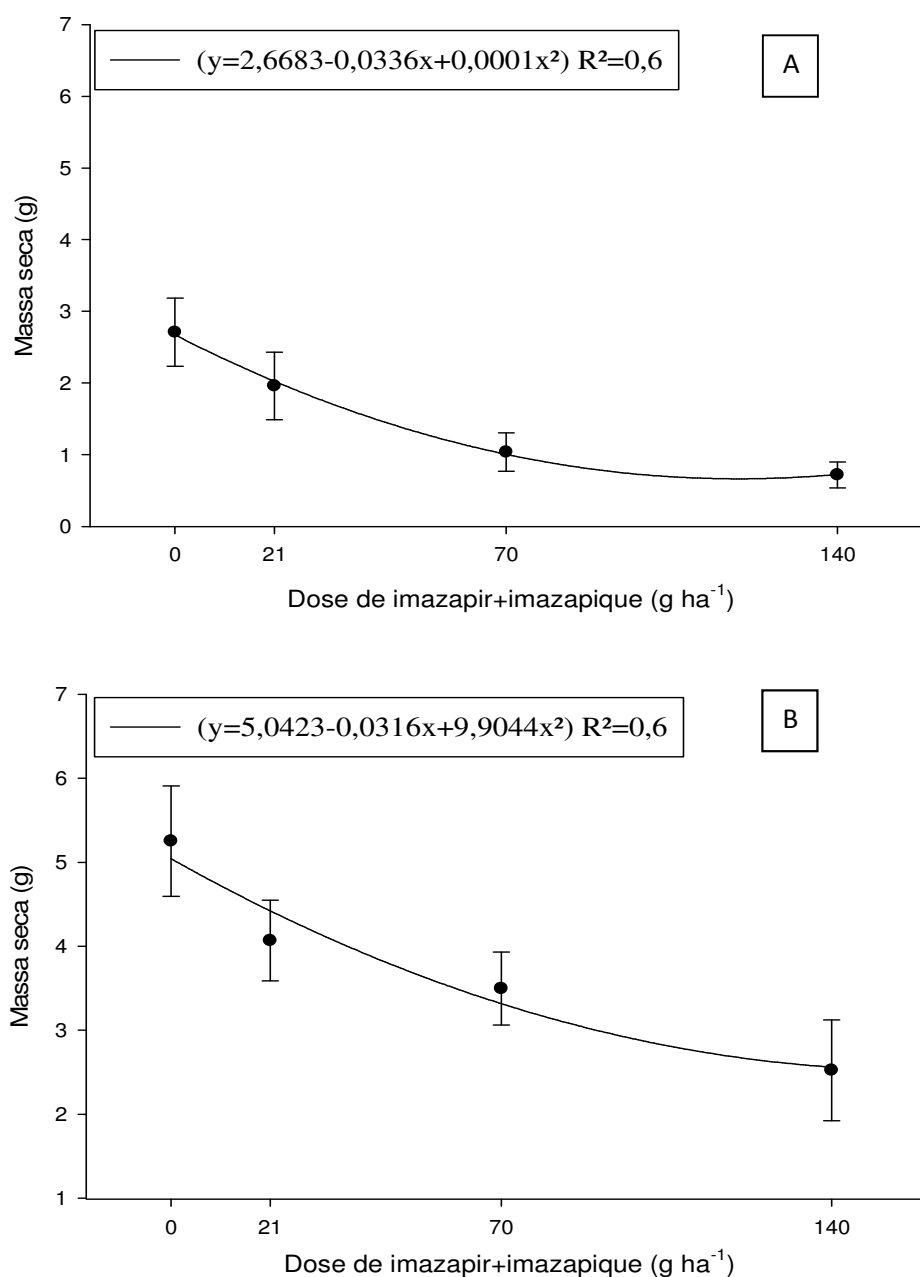


Figura 4. Gráfico da massa seca da parte aérea das plantas de trevo (A) e ervilhaca (B) submetidas às doses do herbicida imazapir+imazapique. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

Não foi verificado ajuste da curva para a espécie azevém (Figura 5). Não houve interação entre os fatores, porém houve diferença entre as médias para ambos. No fator dose de herbicida (Figura 5-B), as plantas com menor massa foram aquelas semeadas em solo contaminado com 100% da dose de imazapir + imazapique, não diferindo estatisticamente dos tratamentos de 0 e 70 g.ha⁻¹ do produto. As plantas sob altos níveis de CO₂ apresentaram massa da matéria seca inferior aquelas sob 400 ppm (Figura 5-B).

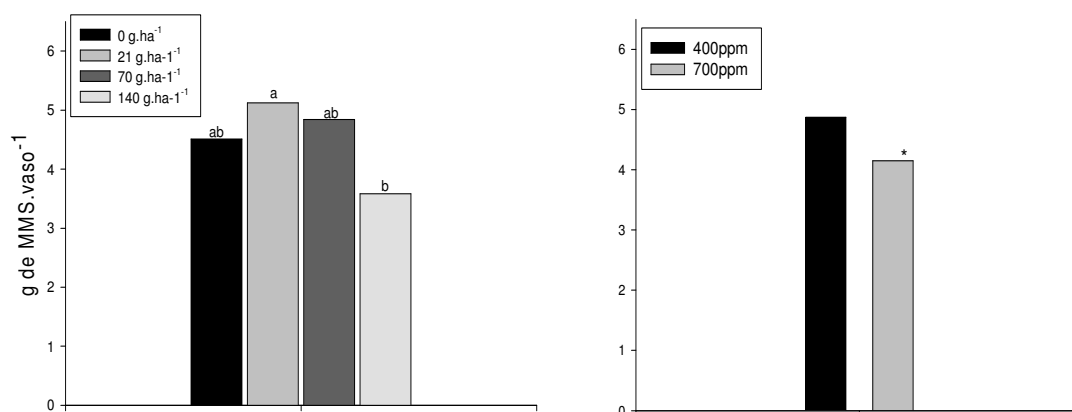


Figura 5. Gráfico da massa seca da parte aérea (g) do azevém.

Asterisco/letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Ao analisar a área foliar do trevo (Figura 6) o aumento da dose de herbicida causou redução. Houve interação entre os fatores, sendo que testemunha e a dose de 15% de herbicida diferiram estatisticamente para o fator concentração de CO₂, comportamento não observado nas doses de 50 e 100%. Quando comparada as doses pode-se observar nos 700 ppm que a testemunha e a dose de 21 g ha⁻¹ (15%) não diferiram entre si, sendo o mesmo observado nas doses de 50 e 100%. Já para aos 400 ppm de CO₂, a testemunha diferiu das demais doses, havendo decréscimo da área foliar com o aumento da dose de herbicida.

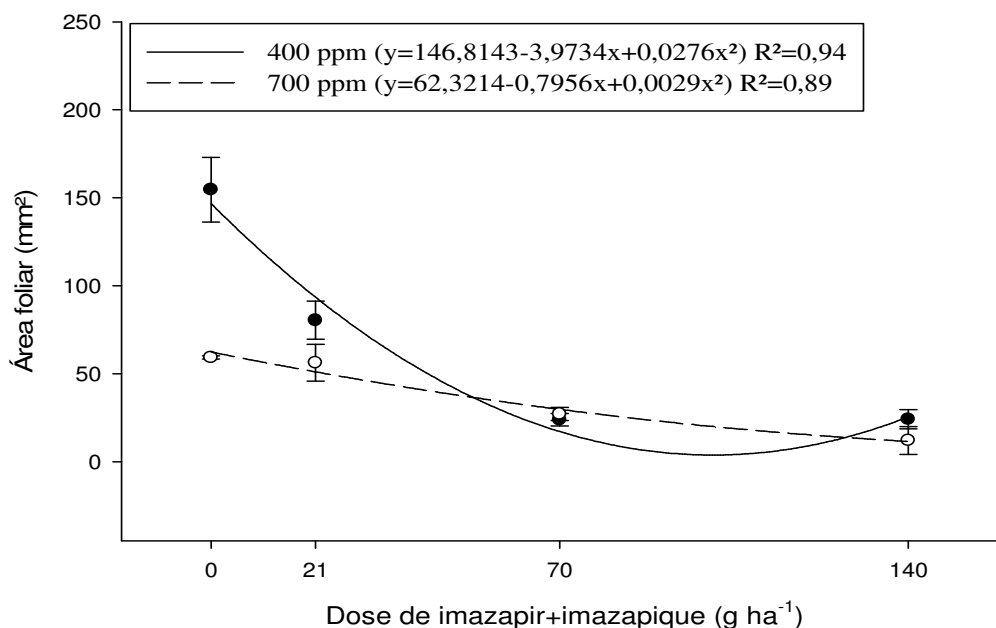


Figura 6. Gráfico da área foliar das plantas de trevo (mm²) submetidas a diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera e diferentes doses do herbicida imazapir + imazapique aos 60 DAE. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Para a espécie ervilhaca (Figura 7) houve ajuste a curva da regressão. Há redução da área foliar com o aumento da dose do herbicida. Entre as médias do fator concentração de CO₂ não há diferença estatística.

O azevém não apresentou ajuste da curva (Figura 8) para a variável área foliar. As médias do fator dose de herbicida não apresentaram diferença significativa (Figura 8-A). Para o fator concentração de CO₂ na atmosfera houve diferença entre as médias, sendo que as plantas mantidas em atmosfera de 400 ppm de CO₂ obtiveram maiores valores de área foliar (Figura 8-B). De acordo com Galon et al. (2014) a área foliar influencia diretamente na capacidade de remediar das plantas, já que está relacionada com a fotossíntese e acúmulo de fotoassimilados, portanto a menor área foliar pode estar relacionada à menor remediação na concentração de 700 ppm de CO₂.

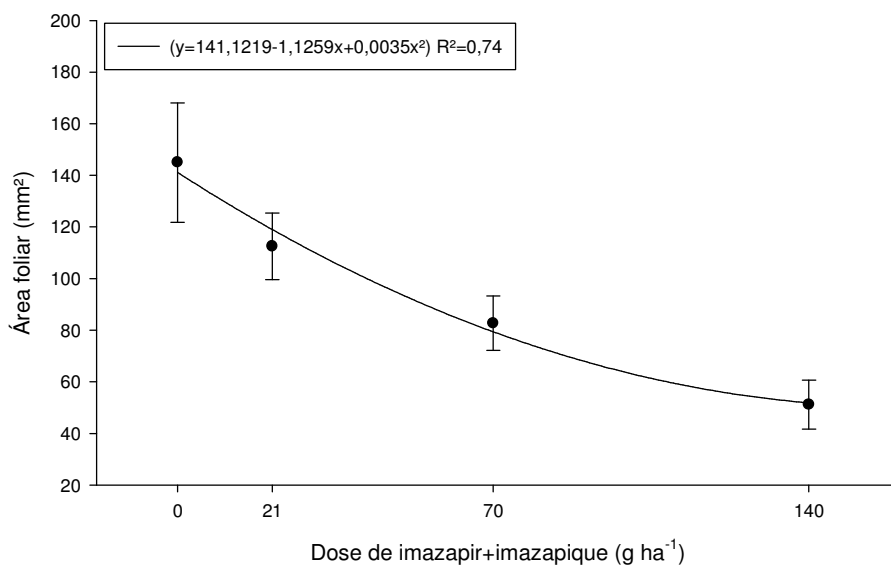


Figura 7. Gráfico da área foliar da ervilhaca (mm²) submetida a diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera e diferentes doses do herbicida imazapir + imazapique aos 60 DAE. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

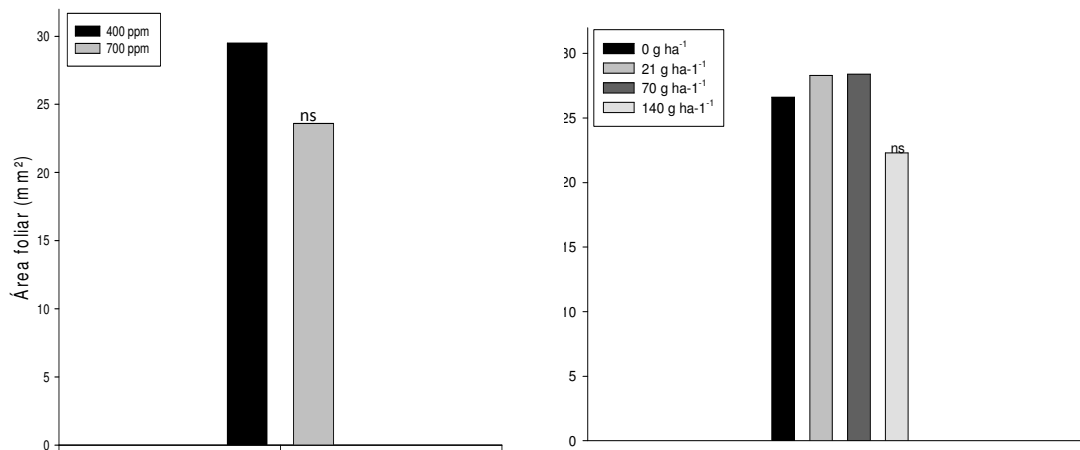


Figura 8. Gráfico da área foliar do azevém (mm²) submetido a diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera e diferentes doses do herbicida imazapir + imazapique aos 60 DAE. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Asterisco indica diferença significativa entre as médias do tratamento concentração de CO₂.
 ns= não significativo

O comportamento apresentado pelas plantas pode ser explicado pelo fato de que quando cultivadas em elevadas concentrações de CO₂ podem inicialmente ter seu metabolismo acelerado sofrendo uma série de alterações, desde molecular e bioquímica até anatômica e morfológica (Walter et al., 2015). Porém, quando algumas enzimas e outras substâncias importantes para a fotossíntese, como a enzima rubisco, começam a ficar escassas ocorre a aclimação a curto prazo, na escala de minutos ou horas (Arenque et al., 2014). Há então uma autorregulação, onde os processos fisiológicos e bioquímicos tendem ao retorno de seu estado inicial de equilíbrio, então pode-se observar um decréscimo da vantagem produtiva (Walter et al., 2015). O metabolismo inicial acelerado pode fazer com que as plantas fitorremediadoras absorvam mais herbicida do solo, o que acaba prejudicando seu desenvolvimento no restante do ciclo.

2.3.2 Eficiência na fitorremediação (efeito sobre a planta bioindicadora)

2.3.2.1 Trevo

Quando avaliada estatura das plantas bioindicadoras (Figura 9), aquelas semeadas em sucessão com o trevo mantido em 700 ppm apresentaram maiores valores (Figura 9-B). Ao comparar somente as duas testemunhas do arroz, observa-se diferença estatística entre as médias, sendo que nas unidades experimentais cujo trevo cresceu em 700 ppm de CO₂ na atmosfera as plantas bioindicadoras obtiveram maior estatura.

Segundo Tu et al. (2009) estes resultados podem ser devido ao aumento de CO₂ na atmosfera, que estimula o processo de fixação biológica do nitrogênio. O trevo, sendo uma leguminosa, pode fixar mais nitrogênio, havendo maior disponibilidade do nutriente no solo para a cultura subsequente, no caso o arroz.

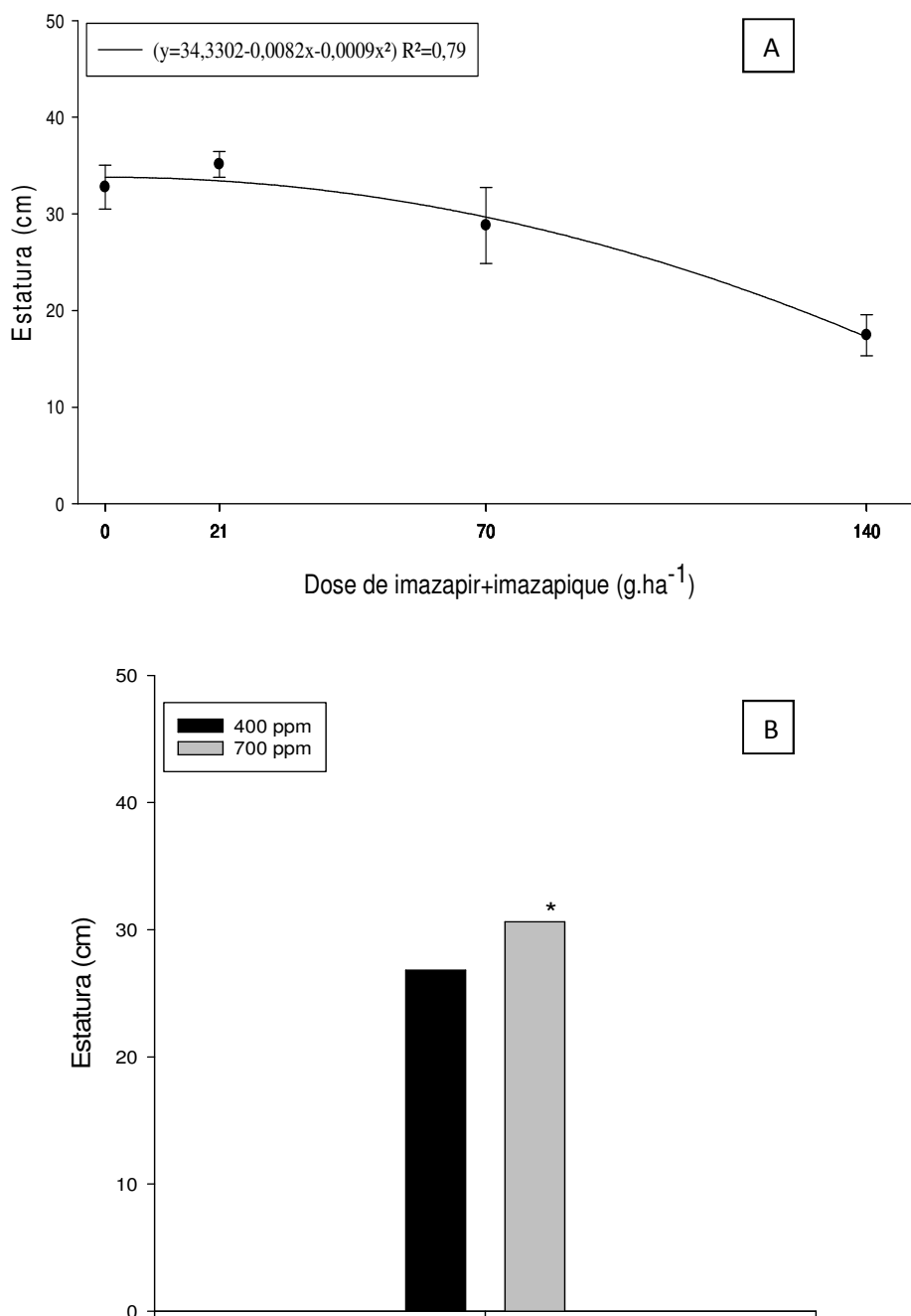


Figura 9. Gráficos da estatura (cm) do arroz semeado em sucessão com trevo branco submetido a diferentes doses do herbicida imazapir+imazapique (A) e concentrações de CO₂ na atmosfera (B). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017. Asterisco indica que houve diferença significativa entre as médias do tratamento [CO₂] de acordo com Teste de Tukey a ($p \leq 0,05$)

Na variável fitotoxicidade, os sintomas aumentaram respectivamente com o aumento da dose de herbicida aplicada no solo em todas as avaliações

realizadas no arroz semeado em sucessão com o trevo (Figura 10). A variável apresentou interação entre os fatores estudados somente aos 14 dias após emergência (Figura 10-B), sendo que nas demais avaliações não houve interação entre os fatores tampouco diferença entre as médias dos níveis do fator concentração de CO₂ na atmosfera.

Aos 7, 21 e 28 DAE (Figura 10 A, C e D) constatou-se que com aumento da dose do herbicida aplicado no solo maior foi a porcentagem de sintomas de fitotoxicidade observados. Aos 14 DAE ao aumentar a dose de herbicida e a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, aumentou os sintomas de fitotoxicidade.

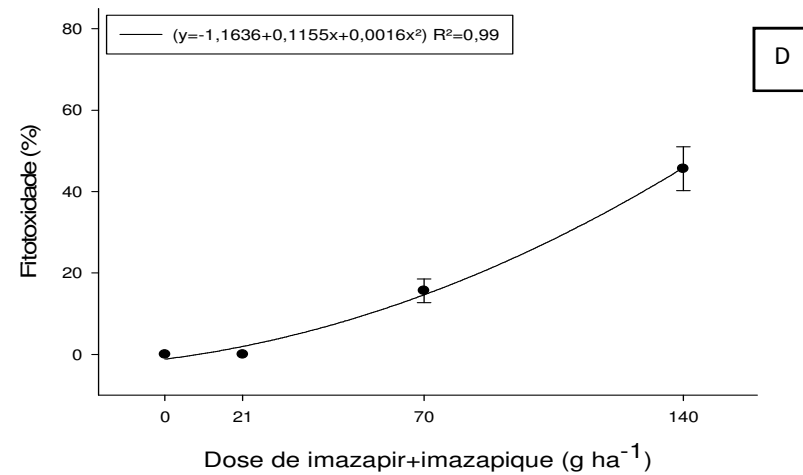
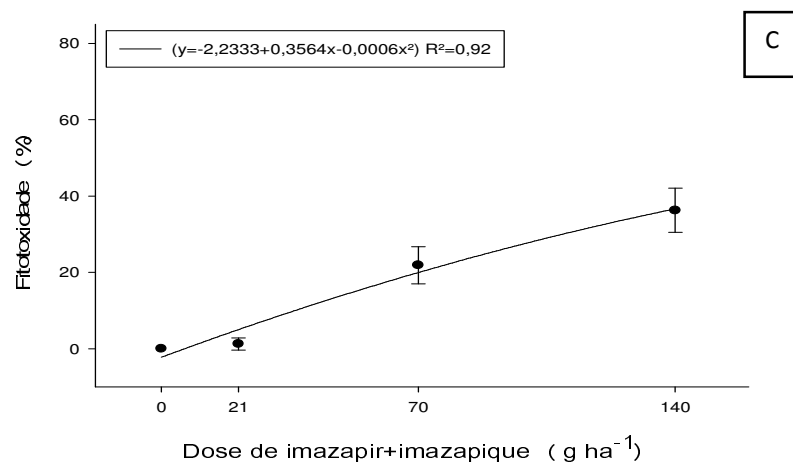
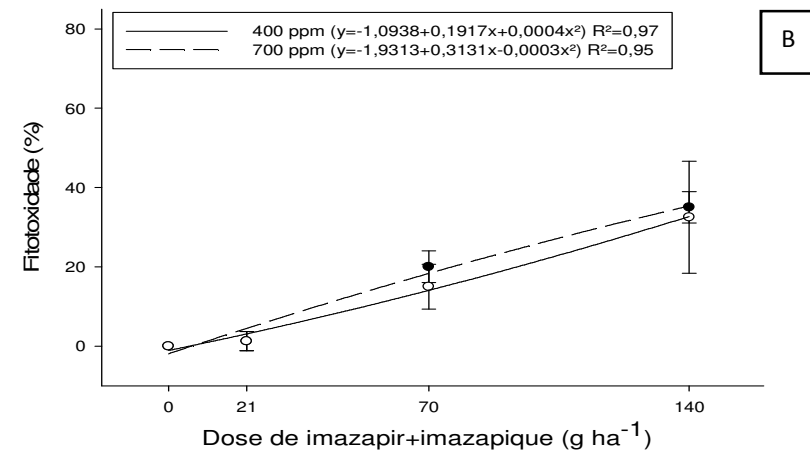
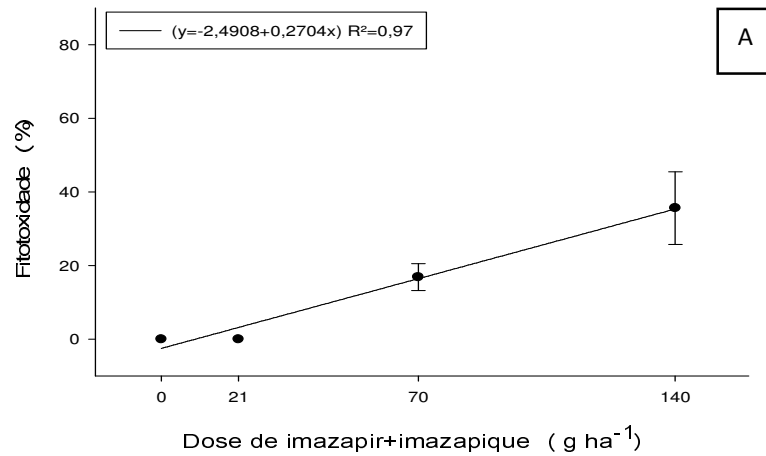


Figura 10. Gráficos dos sintomas de fitotoxicidade (%) nas plantas de arroz semeadas em sucessão com o trevo branco submetido a diferentes doses do herbicida imazapir+imazapique e concentrações de CO₂ na atmosfera aos 7(A), 14(B), 21(C) e 28(D) DAE. FAEM/UFPEl, Capão do Leão, 2017.

2.3.2.2 Azevém

Quando a espécie bioindicadora foi semeada após o azevém, pode-se observar que para variável estatura (Figura 11) não houve interação entre os fatores, porém houve diferença entre as médias. As médias do fator dose de herbicida no solo se ajustaram a curva (Figura 11-A).

Em relação as doses, a menor estatura foi na maior a dose de herbicida no solo, não havendo diferença entre as doses de 0 e 15%. Ao comparar somente as testemunhas não houve diferença estatística entre elas (dados não apresentados), portanto a redução da estatura ocorreu pela presença do herbicida no solo. As plantas de arroz em sucessão com o azevém cultivado com concentração de 700 ppm na atmosfera apresentaram menor estatura quando comparadas as do tratamento de 400 ppm (Figura 11-B).

Para a variável fitotoxicidade, somente aos 14 DAE (Figura 12-B) os dados não se ajustaram à curva, e não houve interação entre os fatores. Nesta avaliação observa-se que as plantas de arroz que cresceram em solo onde o azevém foi mantido na concentração de 700 ppm de CO₂ na atmosfera apresentaram mais sintomas de fitotoxicidade do herbicida imazapir + imazapique.

Nas demais avaliações, 7, 21 e 28 DAE (Figura 12 A, C e D) ocorreu interação entre os fatores dose de herbicida e concentração de CO₂. Os sintomas de fitotoxicidade para todas as avaliações foram mais visíveis naquelas plantas que cresceram em sucessão com o azevém mantido em atmosfera de 700 ppm de CO₂ e com 100% da dose do herbicida no solo. Na avaliação aos 28 DAE (Figura 12-D) pode-se observar que as plantas de arroz semeadas após o azevém mantido em 700 ppm de CO₂ obtiveram média de 80% de sintomas visuais, enquanto as semeadas após o azevém mantido na concentração de 400 ppm de CO₂ apresentaram 40% de sintomas visuais em relação a testemunha.

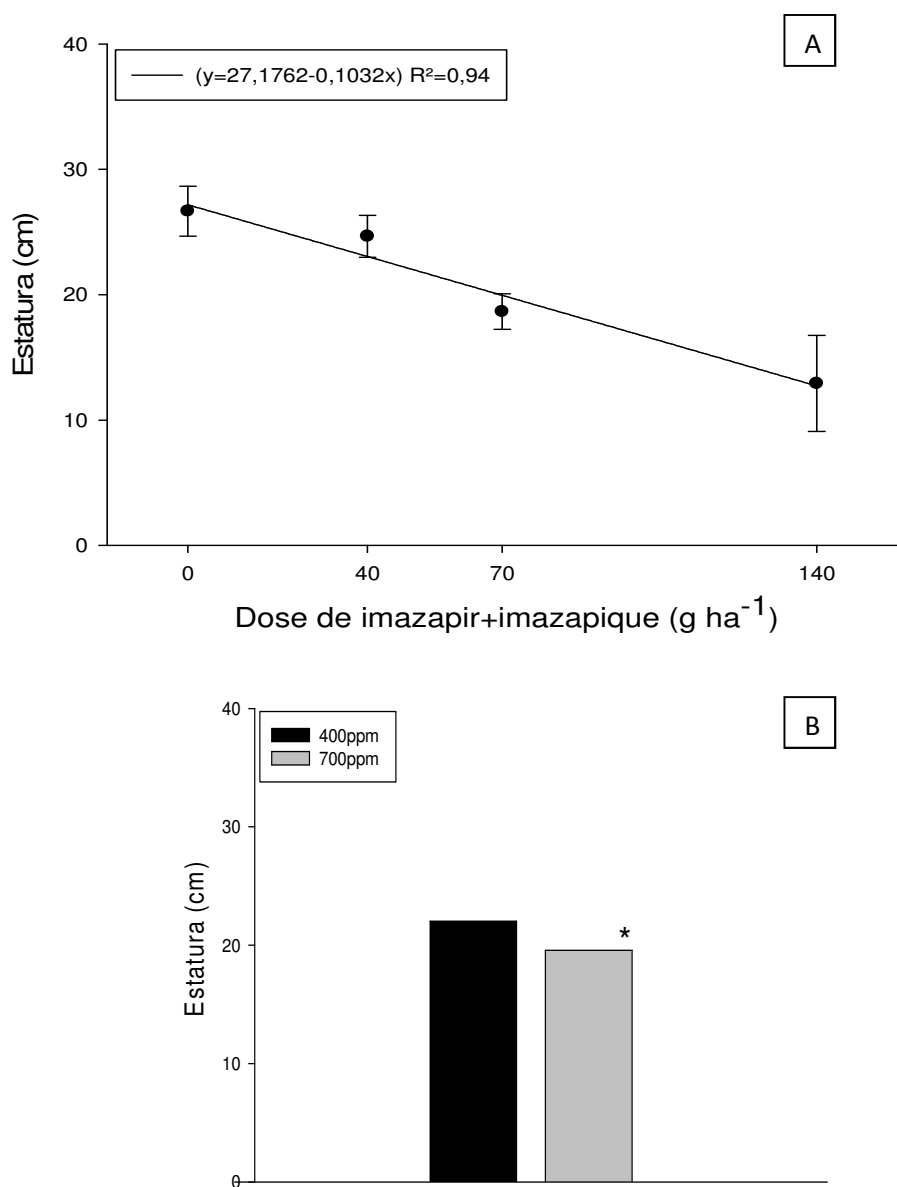


Figura 11. Gráfico da estatura (cm) aos 40 DAE do arroz semeado em sucessão com azevém submetido a diferentes doses do herbicida imazapir+imazapique (A) e concentrações de CO₂ na atmosfera (B). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017. Asterisco indica diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

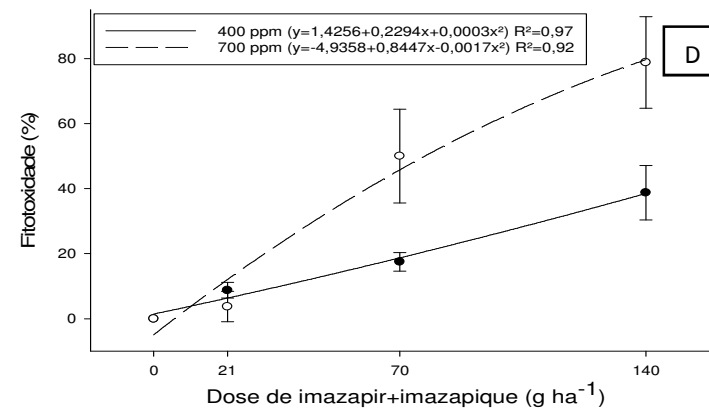
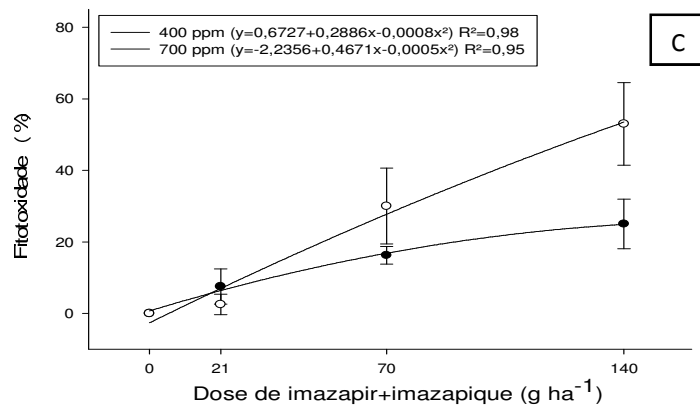
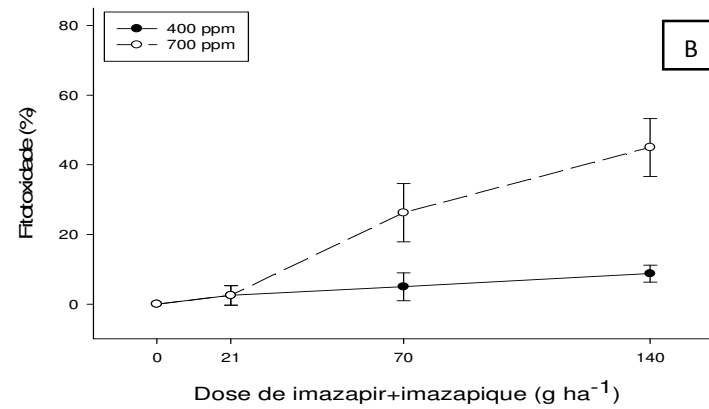
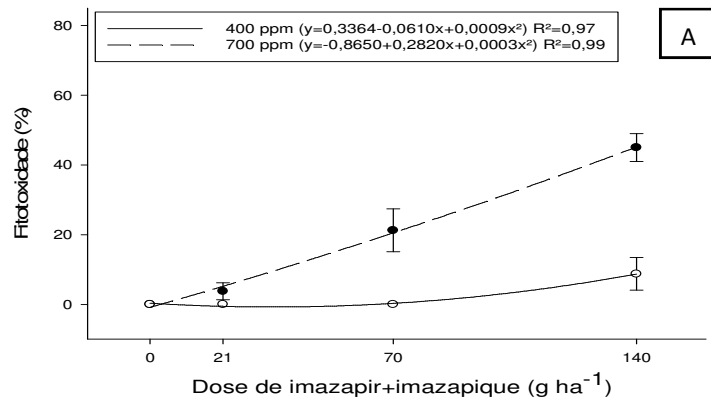


Figura 12. Gráficos dos sintomas de fitotoxicidade (%) nas plantas de arroz semeadas em sucessão com o azevém submetido a diferentes doses do herbicida imazapir+imazapique e concentrações de CO₂ na atmosfera aos 7(A), 14(B), 21(C) e 28(D) DAE. FAEM/UFPEI, Capão do Leão, 2017.

2.3.2.3 Ervilhaca

Para o experimento onde foi utilizada a espécie ervilhaca como remediadora, a variável estatura (Figura 13) apresentou diferença significativa entre as médias do fator dose de imazapir + imazapique no solo. A estatura foi reduzida conforme o aumento da dose aplicada do herbicida. Para o fator concentração de CO₂ não houve diferença entre as médias. Ao comparar somente as testemunhas, não houve diferença entre as mesmas (dados não apresentados).

Para as avaliações de fitotoxicidade no arroz houve interação entre os fatores para aos 7 e 14 DAE (Figura 14 A e B). Em ambas avaliações as plantas que apresentaram maior sintoma de fitotoxicidade foram cultivadas em sucessão da ervilhaca mantida em alto CO₂, porém estatisticamente não houve diferença entre as médias do fator concentração de dióxido de carbono na dose de 100% do herbicida, mostrando que em ambos os níveis de CO₂ a ervilhaca apresentou o mesmo comportamento.

Nas avaliações de fitotoxicidade realizadas aos 21 e 28 DAE (Figura 13 C e D) não houve interação entre os fatores, somente foi observado diferença entre os níveis do fator dose de herbicida. Quando foi aplicada no solo a dose de 100% do herbicida as plantas de arroz apresentaram maiores sintomas de fitotoxicidade, porém nota-se redução dos sintomas ao longo do ciclo da cultura. Ao comparar as médias do fator concentração de CO₂ estatisticamente não houve diferença.

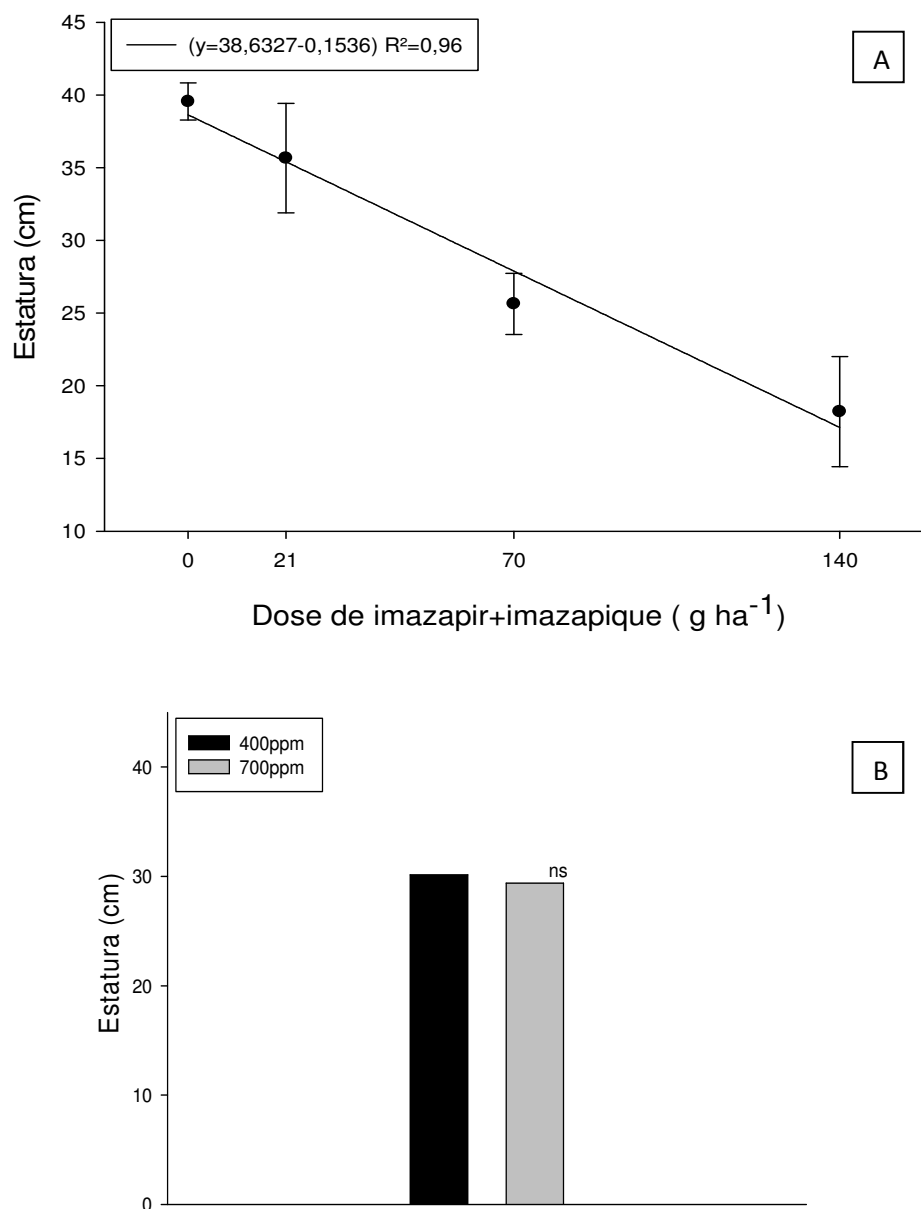


Figura 13. Gráfico da estatura (cm) aos 40 DAE do arroz semeado em sucessão com ervilhaca submetida a diferentes doses do herbicida imazapir+imazapique (A) e concentrações de CO₂ na atmosfera (B). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.
^{ns} - diferença não significativa.

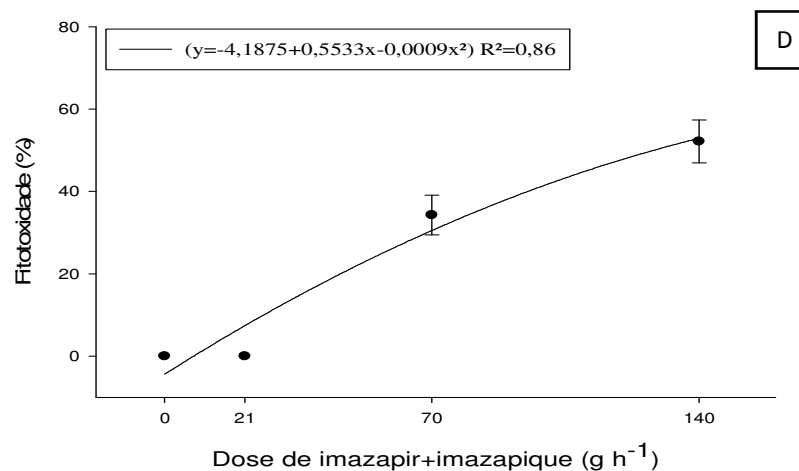
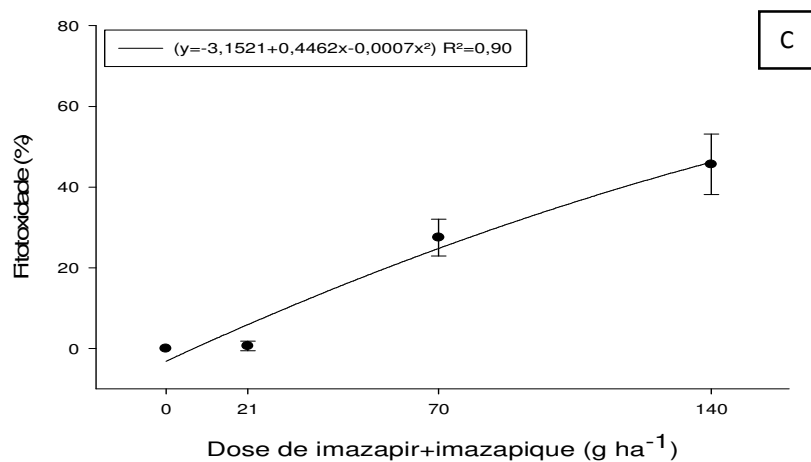
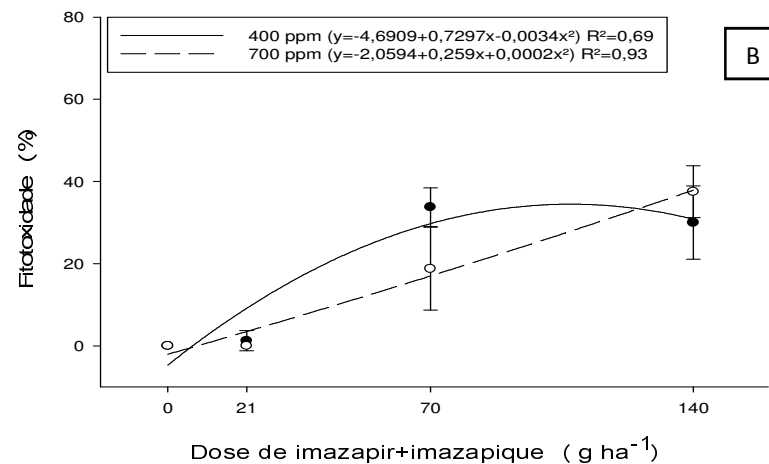
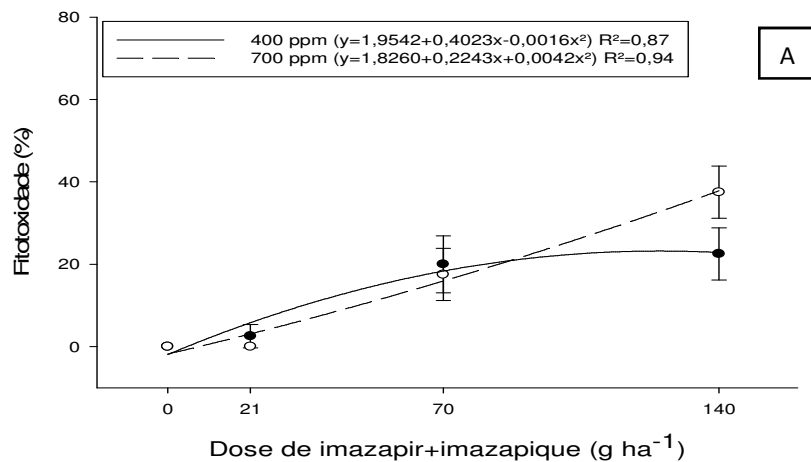


Figura 14. Gráficos dos sintomas de fitotoxicidade (%) nas plantas de arroz semeadas em sucessão com a ervilhaca submetido a diferentes doses do herbicida imazapir+imazapique e concentrações de CO₂ na atmosfera aos 7(A), 14(B), 21(C) e 28(D) DAE. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

O cenário de mudanças climáticas terá efeito positivo nas plantas e sua capacidade de remediação (Li et al., 2010) Porém, trabalhos mostram que as conclusões ainda são inconsistentes, visto que essas mudanças causam diversas alterações no metabolismo das plantas, não envolvendo somente aspectos morfológicos mas também bioquímicos e fisiológicos (Rajkumar et al., 2013). Fatores que interferem na fitorremediação como a espécie da planta, propriedades físico-químicas e comunidade microbiana do solo terão efeito direto e /ou indireto das mudanças no ambiente, necessitando de maior número de estudos para elucidar o comportamento da planta em relação ao seu potencial de descontaminação do solo.

2.4 Conclusão

O aumento de CO₂ na atmosfera não interfere no potencial de remediação das espécies trevo e ervilhaca, porém diminui a fitorremediação pelo azevém.

3. Capítulo II. Efeito do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e déficit hídrico sobre o potencial alelopático do azevém.

3.1 Introdução

No Brasil, a maior parte da produção de ruminantes utiliza pastagens. As vantagens desse sistema é que, além de baixo custo, o próprio animal faz a colheita da forragem, convertendo proteína vegetal em proteína animal (MARCHESAN et al., 2016). Uma espécie comumente utilizada como pastagem no Rio Grande do Sul é o azevém (*Lolium multiflorum*).

O azevém é uma planta de estação fria, período com menor produtividade das pastagens naturais. Possui alta qualidade nutricional, adaptação, facilidade de manejo, ressemeadura natural, resistência a doenças e possibilidade de consórcio com outras espécies (DE CONTO et al., 2011; MARCHESAN et al., 2016). Além de ser usado como planta forrageira, o azevém pode ser utilizado como planta de cobertura. O uso de plantas de cobertura para suprimir plantas daninhas é amplamente conhecido e explorado (VIDAL E TREZZI, 2004). A supressão, no caso do azevém, pode ocorrer por efeito físico da palhada, e/ou químico através da liberação de compostos alelopáticos no ambiente, que podem inibir ou retardar o desenvolvimento de plantas.

A alelopatia foi definida como o efeito direto ou indireto, danoso ou benéfico, que uma planta exerce sobre outra pela produção de substâncias químicas liberadas no ambiente (BULEGON et al., 2015), ou seja, é um mecanismo de interação planta-planta. As substâncias alelopáticas impedem a germinação, crescimento e/ou desenvolvimento de outras plantas, tanto de plantas daninhas quanto cultivadas. A alelopatia assume grande importância quando resíduos vegetais são incorporados ou deixados sobre a superfície no

solo, portanto a interferência alelopática ocorre tanto no plantio convencional quanto no plantio direto (SOUZA et al., 2006).

Há na literatura um grande número de exemplos de plantas, tanto cultivadas quanto daninhas, com potencial alelopático. O arroz (*Oryza sativa* L.) diminui a germinação de plantas daninhas, como *Raphanus sativus* L. (RANAGALAGE E WATHUGALA, 2016). O sorgo (*Sorghum* sp.) possui uma molécula, chamada sorgoleone, com poder alelopático que pode ser utilizada como um herbicida natural (UDDIN et al., 2013). O trevo-vesiculososo (*Trifolium vesiculosum*), o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*), a canola (*Brassica napus*), também apresentam efeito alelopático sobre o crescimento de plantas (RIGON et al., 2014; MORAES et al., 2015)

As substâncias alelopáticas, em sua grande maioria, são metabólitos oriundos do metabolismo secundário das plantas, tais como fenóis, terpenos, alcalóides, poliacetilenos, ácidos graxos, entre outros (BULEGON et al., 2015). Estas não possuem função direta no crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Em geral, não tem papel reconhecido em processos vitais para as plantas como fotossíntese, respiração e assimilação de nutrientes, e diferem dos metabólitos primários pois são restritos a determinada espécie vegetal ou grupo de espécies relacionadas (TAIZ E ZEIGER, 2009).

Os aleloquímicos podem ser encontrados em todas as partes das plantas como caule, folhas, rizomas, frutos, cascas, sementes e vagens. A alelopatia é um fenômeno fortemente relacionado com a interação entre planta e seu ambiente (RIVOAL et al., 2011). A atividade dos aleloquímicos tem sido utilizada como alternativa para o uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas (FERREIRA E AQUILA, 2000). O manejo de plantas daninhas através de plantas alelopáticas e cobertura é mais fácil e prático. Após a decomposição dos resíduos de plantas alelopáticas, os compostos químicos solúveis e insolúveis se tornam disponíveis no solo após a irrigação (SHAH et al., 2015). Os herbicidas químicos são mais eficazes no controle de plantas daninhas, porém os produtos fitotóxicos naturais (aleloquímicos) são toxicologicamente e ambientalmente benignos (SOLTYS et al., 2013).

Diferentes fatores abióticos afetam direta ou indiretamente a produção desses compostos, podendo-se citar qualidade de luz, condições de fertilidade do solo, idade dos órgãos das plantas e temperatura (SOUZA FILHO, 2014). Geralmente, as plantas respondem a estresse, como aumento de temperatura (RAMAKRISHNA AND RAVISHANKAR, 2011), seca e aumento dos níveis de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera (KAROWE E GRUBB, 2011), com a produção em concentrações mais elevadas e/ou com a síntese de novas moléculas (BLANCO, 2007).

A emissão de CO_2 , e de outros gases de efeito estufa (GEE), vem crescendo desde a Revolução Industrial. Como resultado de níveis crescentes de dióxido de carbono atmosférico e de outros GEE, é previsto que a temperatura média da superfície global aumente até $6,4^\circ\text{C}$ até o final do século 21 comparado aos anos de 1980-1999 (IPCC, 2014). O aumento das temperaturas irá acompanhar mudanças nas precipitações, podendo ocorrer prolongados períodos de seca (STOCKER et al., 2013) e aumento na evapotranspiração (TRENBERTH et al., 2014). Dessa forma, espera-se que o aquecimento agrave o estresse por seca (VAN DE VELDE et al., 2015).

O impacto das mudanças climáticas é diferente entre as espécies vegetais. A produtividade específica depende de como o clima afeta a disponibilidade de água na região, a eficiência do uso de recursos e a disponibilidade de outros recursos limitadores de crescimento (VAN DE VELDE et al., 2015). As respostas específicas de cada espécie poderão alterar as interações planta-planta, e uma das formas é o aumento da liberação de compostos alelopáticos em razão dos diferentes estresses que as plantas podem sofrer em razão das mudanças no clima.

O crescimento e produtividade das plantas em resposta ao aumento de CO_2 são limitados pelo déficit hídrico, dependendo da sua duração, severidade e espécie da planta (LEAKEY et al., 2012; XU et al., 2013). O déficit hídrico é uma das principais limitadoras da produtividade das plantas, principalmente porque diminui a condutância estomática e regulação negativa do maquinário fotossintético (CHAVES et al., 2002). Por outro lado, o aumento de CO_2 na atmosfera pode estimular o crescimento das plantas diretamente aumentando a

fotossíntese, ou indiretamente através do uso reduzido e maior eficiência do uso da água (MORGAN et al., 2004).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi estudar quais os impactos da elevada concentração de CO₂ atmosférico, estresse hídrico e alta densidade populacional sobre o desenvolvimento de plantas de azevém e sua produção de compostos alelopáticos.

3.2 Materiais e Métodos

A espécie vegetal azevém cv. Ponteio BRS foi semeada em vasos preenchidos com solo com capacidade volumétrica de 4 litros. Os vasos foram mantidos em Câmara de topo aberto (OTC) pertencente ao Centro de Herbologia, Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel-UFPel. As análises foram realizadas no Laboratório de Dinâmica de Herbicidas no Ambiente, FAEM-UFPel.

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, trifatorial (2x2x2), e cada unidade experimental foi composta por um vaso. Os tratamentos constituíram de duas concentrações de CO₂ no ar, duas densidades de semeadura de azevém e dois níveis de umidade no solo.

As concentrações de CO₂ na atmosfera foram 400 ppm, simulando condições atuais, e 700 ppm, simulando o cenário de mudanças climáticas. As densidades foram determinadas a partir da quantidade de plantas por metro quadrado indicadas para a cultivar BRS Ponteio, sendo utilizada 10 (100%) e 20 plantas por vaso (200%). No tratamento em déficit hídrico o solo foi mantido na condição de estresse hídrico com -80 kPa e em capacidade de campo com -10 kPa.

Para medir a umidade do solo foi utilizado em cada unidade experimental um medidor Watermark[®], que utiliza resistência elétrica para medir a umidade do solo. O solo utilizado é caracterizado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2013).

Para o preparo dos extratos, o azevém foi coletado em estágio de florescimento. A parte aérea foi coletada e seca em estufa de circulação forçada

a 40°C, para não haver volatilização dos compostos alelopáticos, durante 3 dias. Quando o material apresentava-se seco foi cortado com tesoura em pedaços de aproximadamente 1cm. O material não utilizado para preparar o extrato foi levado a estufa à 60°C por 48 horas para determinar massa seca da parte aérea (MSPA) do azevém.

Os extratos foram preparados na concentração de 10% peso/volume. Os tecidos foram submersos em água destilada, mantidos por 24 horas em potes plásticos fechados em temperatura ambiente e no escuro. Após obter o extrato bruto, este foi filtrado em filtro a vácuo, e diluído em água destilada conforme tratamentos (MORAES et al., 2012). O pH dos extratos variou de 5,9 a 6,5.

O experimento foi instalado em câmara de crescimento (BOD), com fotoperíodo de 12/12h luz/escuro e temperatura constante de 25°C. As plantas utilizadas como teste foram alface cv. Veneranda (*Lactuca sativa*) e pepino cv Wisconsin SMR-58 (*Cucumis sativus*). A germinação das sementes foi realizada em placas de Petri (unidade experimental), com 4 repetições por tratamento, sobre duas folhas de papel de germinação. Em cada unidade experimental foram dispostas 50 sementes de alface, ou 10 sementes de pepino, e adicionado o extrato na proporção de 2,5 vezes o peso do papel (2ml). Como tratamento testemunha foi utilizado água destilada.

Diariamente, durante 7 dias, foi realizada contagem do número de sementes germinadas para posteriormente determinar a velocidade de germinação (IVG). O IVG foi calculado pela fórmula descrita por Maguire (1962) e modificada por Wardle, Ahmed e Nicholson (1991):

$$IVG = [(N1/1) + (N2/2) + (N3/3) + \dots + (Nn/n)]$$

Onde: N1, N2, N3 e Nn são o número de sementes germinadas e 1,2,3 e n são o número de dias após semeadura.

Após os sete dias, foram avaliadas: porcentagem de germinação, comprimento da parte aérea (CPA) e radicular (CR), e massa seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular (MSR). Para o comprimento e massa seca da alface foram utilizadas 15 plantas de cada unidade experimental. Para o pepino as 10 plantas da unidade experimental foram avaliadas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Em caso de significância estatística, foi procedida a comparação entre as médias utilizando-se teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Azevém

Os fatores analisados concentração de CO₂ na atmosfera e umidade do solo apresentaram interação para a variável massa seca da parte aérea do azevém (Tabela 1). Observou-se que em ambas concentrações de CO₂, as plantas mantidas em baixa umidade no solo (-80 kPa) apresentaram menor peso em relação àquelas mantidas em capacidade de campo.

Tabela 1. Massa seca da parte aérea do azevém (MSPA) (g) cultivado sob diferentes concentrações de CO₂, densidade de plantas e umidade no solo (kPa). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

[CO ₂] na atm	Umidade do solo	
	-10 kPa	-80 kPa
400ppm	5,60 aA	0,7709 aB
700ppm	3,75 bA	0,6723 aB
CV(%)	31,04	

¹Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna comparam mesma umidade no solo em diferentes concentrações de CO₂, e seguida de mesma letra maiúsculas na linha comparam mesmo nível de CO₂ em diferentes umidades no solo pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A massa seca da parte aérea foi inferior nas plantas que cresceram sob estresse hídrico, independente da concentração de CO₂ na atmosfera. Resultado semelhante foi verificado por Van de Velde et al. (2015), onde plantas de *Lolium perenne* sob estresse hídrico e alto CO₂ não apresentaram diferença na massa seca da parte aérea quando comparadas com as plantas nas mesmas condições de estresse hídrico e baixo CO₂. A interação mostra que a concentração de CO₂ influenciou no crescimento do azevém apenas quando submetido a alta umidade do solo. Estes dados corroboram com Chaves et al. (2002), os quais mostram que a água é um dos principais limitantes do desenvolvimento das plantas.

A variável estatura das plantas (Tabela 2) não apresentou interação entre os fatores estudados. Houve diferença somente entre as médias dos fatores isolados (teor de umidade do solo e concentração de CO₂ na atmosfera). As menores médias foram observadas em baixa umidade no solo e alta concentração de CO₂.

Tabela 2. Estatura (cm) das plantas de azevém cultivadas sob diferentes concentrações de CO₂, densidade de plantas e umidade no solo (kPa). FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

Umidade do solo		[CO ₂] na atmosfera	
-10 kPa	-80 kPa	400 ppm	700 ppm
25,2 a ¹	14,19 b	22,16 a	17,24 b
CV(%) 15,75			

¹-Letras minúsculas referentes a diferença estatística entre as médias de acordo com teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3.2 Alface

Utilizando o extrato de azevém nas concentrações de 5 e 10%, os valores de IVG e a porcentagem de germinação de alface foram reduzidos quando comparados com a testemunha sem adição de extrato. Os valores de IVG obtidos no tratamento com 400 ppm de CO₂ e umidade do solo na capacidade de campo se assemelham aos encontrados por Bulegon et al (2015).

Verificou-se que para a variável IVG no extrato com concentração de 10%, houve interação dupla entre os fatores concentração de CO₂ e teor de umidade no solo (Tabela 3). Observa-se que em baixa umidade no solo, o teor de CO₂ no ambiente não interfere na produção de alelopáticos do azevém. Já com o solo em capacidade de campo, a elevada concentração de CO₂ aumentou os compostos que inibem a germinação do alface diminuindo o IVG em aproximadamente 70%.

Ocorreu também interação entre os fatores densidade de plantas e teor de umidade no solo (Tabela 3). O maior IVG foi encontrado naquelas plantas de alface que germinaram sob extrato de azevém mantido em capacidade de campo e com à população recomendada. Para os extratos de azevém

mantidos sob estresse hídrico, a população de plantas não apresentou diferença estatística.

No extrato com concentração de 5% (Tabela 4) não houve interação entre os fatores estudados, somente diferença entre as médias dos fatores concentração de CO₂ e umidade do solo isolados. Ao avaliar o fator umidade no solo, o IVG diminuiu 35% nos tratamentos onde o azevém foi mantido em estresse hídrico. Para o fator concentração de CO₂ na atmosfera, os menores valores foram encontrados e em altos níveis de CO₂, havendo redução do IVG em 34% em relação a 400 ppm de CO₂.

Tabela 3. Valores de Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de alface submetidas à teste de germinação com extrato aquoso de azevém submetido à diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera, densidade de plantas e umidade no solo (kPa) na concentração de 10%. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Umidade do solo	[CO ₂] na atm		Densidade de plantas	
	400 ppm	700 ppm	200%	100%
-10 kPa	29,61 aA ¹	9,88 aB	12,71 aB	26,79 aA
-80 kPa	3,23 bA	7,55 aA	8,36 aA	2,42 bA
CV(%)	23,6			

¹Letras minúsculas referente a comparação na coluna, e letras maiúsculas referente a comparação na linha de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,5$).

Tabela 4. Valores de Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de alface submetidas a teste de germinação com extrato aquoso de azevém submetido à diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera, densidade de plantas e umidade no solo (kPa) na concentração de 5%. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Umidade do solo		[CO ₂] na atmosfera	
-10 kPa	-80 kPa	400 ppm	700 ppm
51,39 a ¹	33,47 b	51,32 a	33,53 b
CV (%)	15,4		

¹- médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Na variável porcentagem de germinação das sementes de alface constatou-se diminuição da germinação em todos os extratos quando comparado com o tratamento testemunha. Na testemunha houve germinação de 100% das sementes, enquanto nos extratos com 5 e 10% ocorreram

reduções de 30 e 90%, respectivamente. No entanto, Bulegon et al. 2015 encontraram resultados onde o extrato aquoso de azevém na concentração de 5% não afetou a germinação de alface.

As sementes que germinaram no extrato com concentração de 10%, apresentaram interação entre os fatores umidade do solo e concentração de CO₂ na atmosfera (Tabela 5). Observa-se que em altos níveis de CO₂ no ar a umidade do solo não interferem, já que em ambos níveis do fator a germinação apresentou baixos valores e não diferiu estatisticamente. Em baixa umidade no solo, os valores de porcentagem de germinação quando comparado os níveis de CO₂ na atmosfera não diferiram também entre si. Ao comparar os níveis de CO₂, o aumento do gás na atmosfera onde o azevém foi mantido fez seus extratos diminuir 54% a germinação em comparação àquelas mantida em CO₂ atual.

Já para o extrato na concentração de 5% (Tabela 6) não houve interação entre os fatores, somente diferença entre as médias dos fatores umidade do solo e concentração de CO₂ na atmosfera. Pode-se observar que as sementes de alface, expostas ao extrato aquoso obtido de plantas de azevém submetidos à condição de estresse hídrico e altos níveis de CO₂, obtiveram maior porcentagem de germinação, apesar de apresentar menor IVG. Segundo Ferreira e Aquila (2000), o efeito alelopático muitas vezes não ocorre sobre a germinação, mas sim sobre a velocidade da mesma ou outra característica do processo germinativo.

Tabela 5. Valores de porcentagem de germinação (%) de sementes de alface submetidas à teste de germinação com extrato aquoso de azevém submetido à diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera, densidade de plantas e umidade no solo (kPa) na concentração de 10%. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

[CO ₂] na atm	Umidade do solo	
	-10 kPa	-80 kPa
400 ppm	62,75 aA ¹	10,75 aB
700 ppm	28,50 bA	27,00 aA
CV (%)	65	

¹Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, comparam concentração de CO₂ dentro da mesma umidade no solo, e seguidas da mesma letra maiúscula na linha avaliam diferentes umidade do solo dentro da mesma concentração de CO₂, não diferem pelo teste de Tukey (p≤0,5).

Tabela 6. Porcentagem de germinação (%) de sementes de alface submetidas a teste de germinação com extrato aquoso de azevém submetido à diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera, densidade de plantas e umidade no solo (kPa) na concentração de 5% em função da umidade do solo (kPa) e concentração de CO₂ na atmosfera. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

Umidade do solo		[CO ₂] na atmosfera	
-10 kPa	-80 kPa	400 ppm	700 ppm
92,50 a ¹	77,37 b	95,38 a ¹	74,50 b
CV (%) 53			

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A variável massa da matéria seca da parte aérea não pode ser avaliada por perda por fatores externos. A variável massa da matéria seca da raiz de alface em extrato 10% (Figura 1), apresentou interação entre os fatores concentração de CO₂ na atmosfera e teor de umidade no solo. Observa-se que para os extratos de plantas de azevém mantidas em baixa umidade no solo, as médias não diferiram entre as concentrações de CO₂ na atmosfera. Para o fator umidade do solo na capacidade de campo, a alta concentração de CO₂ acarretou em uma produção de compostos alelopáticos que diminuíram a massa da matéria seca das raízes de alface. Comparando as médias dentro do mesmo nível do fator concentração de CO₂, em 700 ppm a umidade do solo não interferiu na produção de alelopáticos, já que não houve diferença entre as médias. Já o inverso se observa em 400 ppm de CO₂, onde os extratos oriundos de plantas de azevém mantidas em baixa umidade no solo reduziram a massa da matéria seca das raízes. Observa-se que as médias dos extratos de plantas mantidas em alto CO₂ fizeram diminuir em até 70% a massa da matéria seca das raízes em relação aos extratos de azevém mantido CO₂ atual e umidade do solo na capacidade de campo.

Para a variável comprimento radicular das plântulas de alface para o extrato de 10%, houve interação entre os fatores concentração de CO₂ na atmosfera e nível de umidade no solo (Figura 2-A). Os resultados mostram que em baixa umidade, o fator concentração de CO₂ na atmosfera não interfere no crescimento radicular, já o oposto é observado em alta umidade. Ao comparar as médias dentro da mesma concentração de CO₂ na atmosfera, em níveis atuais há diferença estatística entre os níveis de umidade no solo, sendo que

quando o azevém foi mantido em condições de capacidade de campo produziu menor quantidade de compostos alelopáticos. Já em altos níveis de CO₂, a umidade no solo não interferiu na produção dos compostos.

Ocorreu interação entre os fatores concentração de CO₂ na atmosfera e teor de umidade do solo para a variável comprimento da parte aérea para o extrato 10% (Figura 2-B). Observou-se que nos extratos de azevém mantido em níveis atuais de CO₂, a parte aérea das plantas de alface se desenvolveram melhor sob extrato de azevém mantido em alta umidade no solo. Já o contrário pode-se observar em alta concentração de CO₂.

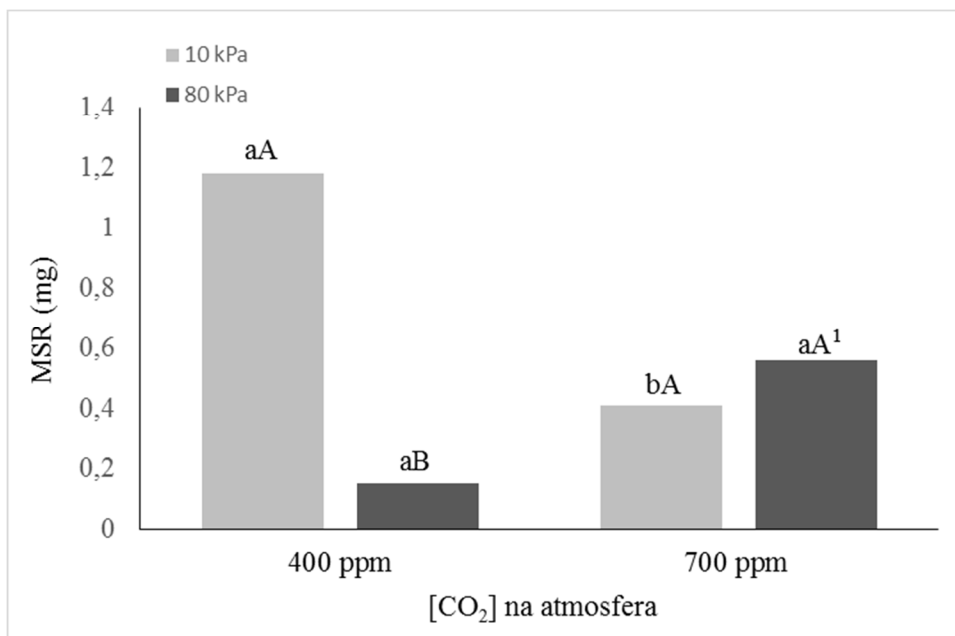


Figura 1. Gráfico da massa seca da raiz (MSR) das plantas de alface submetidas a teste de germinação em extrato aquoso na concentração de 10% de azevém cultivado sob diferentes concentrações de CO₂, densidade de plantas e umidade no solo (kPa). FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

¹- Médias seguidas da mesma letra minúscula, que comparam as diferentes concentrações de CO₂ dentro no mesmo nível de umidade no solo; e seguidas da mesma letra maiúscula, que comparam os níveis de umidade no solo dentro de cada concentração de CO₂ na atmosfera, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

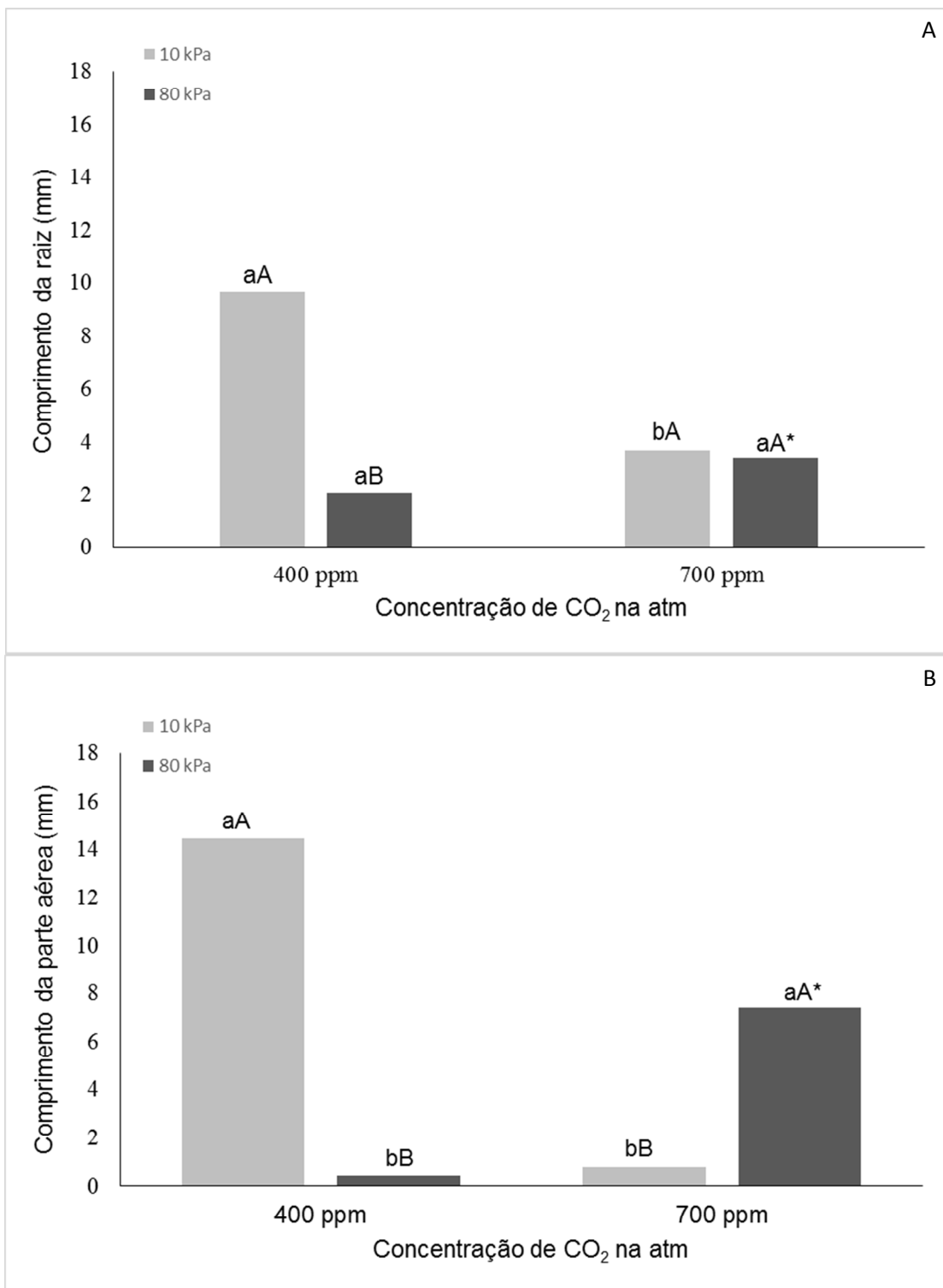


Figura 2. Gráfico do comprimento radicular (A) e comprimento da parte aérea (B) das plantas de alface submetidas a teste de germinação com extrato aquoso na concentração de 10% de azevém cultivado sob diferentes concentrações de CO₂, densidade de plantas e umidade no solo (kPa). FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

*Médias seguidas de mesma letra minúscula é referente a comparação entre as concentrações de CO₂ na atmosfera dentro do mesmo nível de umidade do solo, e médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam entre teores de umidade do solo dentro da mesma concentração de CO₂ na atmosfera, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para o extrato de 5% houve interação entre os três fatores estudados na variável comprimento da raiz (Figura 3-A). Para ambos níveis de CO₂, as plântulas de alface que se desenvolveram sob extrato aquoso de azevém mantido em baixa umidade no solo apresentaram menor comprimento de raiz, sendo os menores resultados para o extrato de azevém em alta população, baixa umidade no solo e alto CO₂ no ar.

Ao comparar o teor de CO₂ na atmosfera, o azevém produziu mais compostos alelopáticos no nível de 700 ppm. A massa da matéria seca da raiz apresentou somente diferença do tratamento testemunha para os demais (dados não apresentados). Analisando os diferentes níveis de umidade no solo, para ambos não houve diferença estatística para o comprimento da raiz da alface entre os extratos de plantas de azevém cultivadas em altos CO₂, independente da população de plantas.

O comprimento da parte aérea (Figura 3-B) foi maior quando aplicado extrato aquoso de azevém mantido em condições de capacidade de campo. Os extratos de plantas mantidas em 400 ppm de CO₂ na atmosfera não diferiram entre si, já os das plantas mantidas em 700 ppm apresentaram diferença estatística, sendo que as plantas sob estresse hídrico produziram mais compostos alelopáticos que reduziram a parte aérea da alface.

Para massa da matéria seca da raiz, ao comparar o nível -10 kPa do fator umidade do solo, a maior média foi para os extratos de azevém mantido em 400 ppm de CO₂ e com 100% da população. As demais médias dentro do -10 kPa de umidade não diferiram entre si. Em umidade de -80 kPa, não houve diferença entre as médias.

Ao comparar as umidades do solo dentro do mesmo nível dos fatores concentração de CO₂ e população de plantas, o único tratamento que apresentou diferença estatística foi nos extratos de plantas de azevém mantidas em 400 ppm de CO₂ e com 100% da população, onde o nível -80 kPa do fator umidade apresentou a menor média de massa da matéria seca das raízes da alface. A massa da matéria seca não apresentou diferença entre os fatores (dados não apresentados).

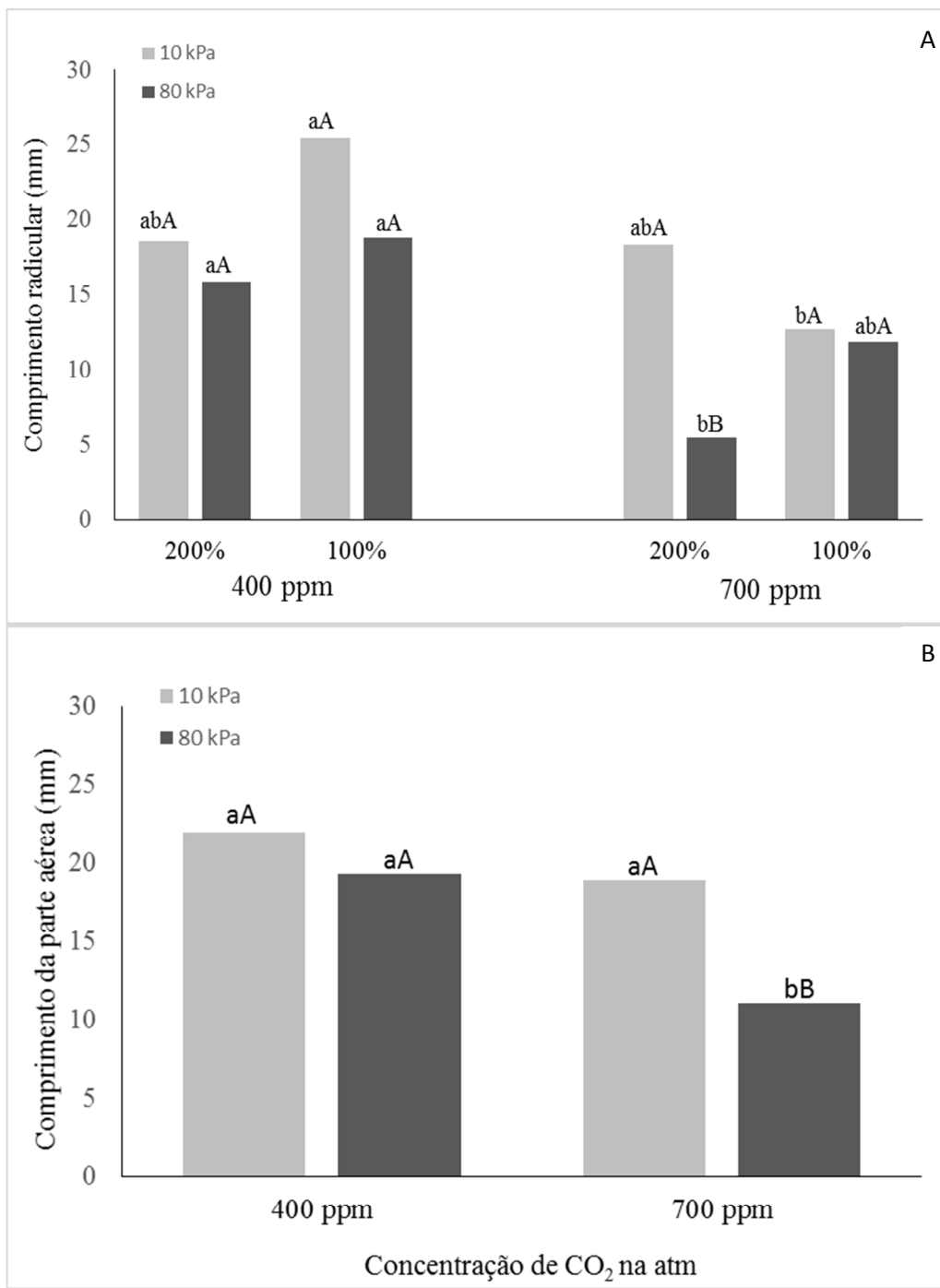


Figura 3. Gráfico do comprimento radicular (A) e comprimento da parte aérea (B) das plantas de alface submetidas a teste de germinação com extrato aquoso na concentração de 5% de azevém cultivado sob diferentes concentrações de CO₂, densidade de plantas e umidade no solo (kPa). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017. Letras minúsculas referentes a comparação entre população dentro do mesmo nível de umidade no solo e letras maiúscula entre teor de umidade do solo pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

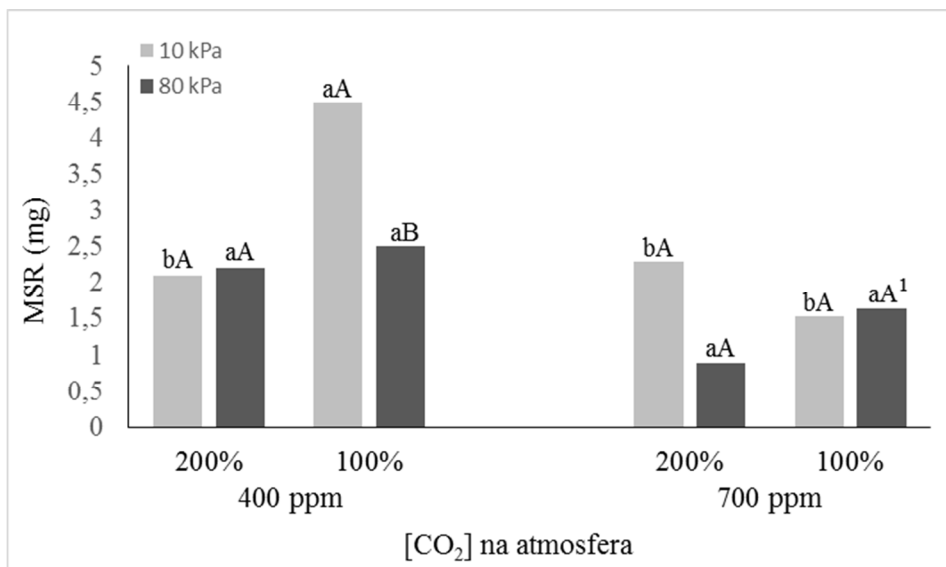


Figura 4. Gráfico da massa seca da raiz (mg) de plantas de alface submetidas extrato aquoso na concentração de 5% de azevém cultivado sob diferentes concentrações de CO₂, densidade de plantas e umidade no solo (kPa). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017. ¹- Médias seguidas de letra minúsculas são referente a comparação da mesma umidade do solo; letra maiúscula compara as diferentes umidades no solo dentro da mesma população de plantas e mesma concentração de CO₂; pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.3.3 Pepino

Os fatores IVG e porcentagem de germinação (Tabela 6) apresentaram interação entre os fatores concentração de CO₂ na atmosfera e população de plantas de azevém.

Quanto à germinação não foi encontrada diferença estatística entre a testemunha e os tratamentos com extratos de azevém. O tratamento testemunha atingiu no primeiro dia 75% de germinação, estabilizando no segundo dia com 100%, enquanto os demais tratamentos começaram a germinar somente no segundo dia. Após esse período houve pequenas variações desses valores.

A porcentagem de germinação foi maior que 93%, resultados que se assemelham aos de Castagnara et al. (2012) que encontraram valores de germinação de 95% em pepino submetido a teste de germinação com extrato de aquoso de azevém cultivado a campo e coletado em fase de alongamento do colmo.

O IVG para os extratos de plantas submetidas a elevado CO₂ e em 100% da população diminuiu até 40% comparado a testemunha que obteve

média de 23. O nível 400 ppm do fator concentração de CO₂ não apresentou diferença entre suas médias ao comparar as diferentes populações estudadas.

Tabela 7. Valores de Índice de velocidade de germinação (IVG) e porcentagem de germinação de sementes de pepino submetidas à teste de extrato aquoso na concentração de 10% de azevém cultivado sob diferentes concentrações de CO₂, densidade de plantas e umidade no solo (kPa). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

[CO ₂] na atm	IVG		Germinação (%)	
	População			
	200%	100%	200%	100%
400 ppm	15,2 aA ¹	15,5 aA	95,4 bA ¹	98,3 aA
700 ppm	15,9 aA	14,3 aB	100,0 aA	95,0 aB
CV (%)	8,17		3,99	

¹-Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam mesma população de plantas dentro de diferentes níveis de CO₂ na atmosfera, e médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha avaliam concentração de CO₂ na atmosfera dentro de diferentes populações de plantas; pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A variável comprimento radicular do pepino para o extrato na concentração de 5% (Figura 5) não apresentou interação entre os fatores, porém há diferença entre as médias dos três fatores estudados. Os menores comprimentos de raiz foram encontrados em nos extratos de azevém mantidos em de alta concentração de CO₂ na atmosfera, em baixa umidade no solo em duas vezes a população recomendada.

A massa da matéria seca radicular do pepino (Figura 6) foi afetada pelos extratos de azevém na concentração de 5%. Os fatores concentração de CO₂ na atmosfera e teor de umidade no solo isolados apresentaram diferença estatística significativa entre suas médias. Os extratos provenientes de plantas de azevém cultivadas em condições de baixa umidade no solo diminuíram a massa da matéria seca da raiz do pepino em mais de 50% em relação ao extrato de azevém mantido em capacidade de campo. O extrato obtido de plantas de azevém mantidas em alta concentração de CO₂ na atmosfera, proporcionou uma redução de aproximadamente 40% da massa da matéria seca da raiz do pepino.

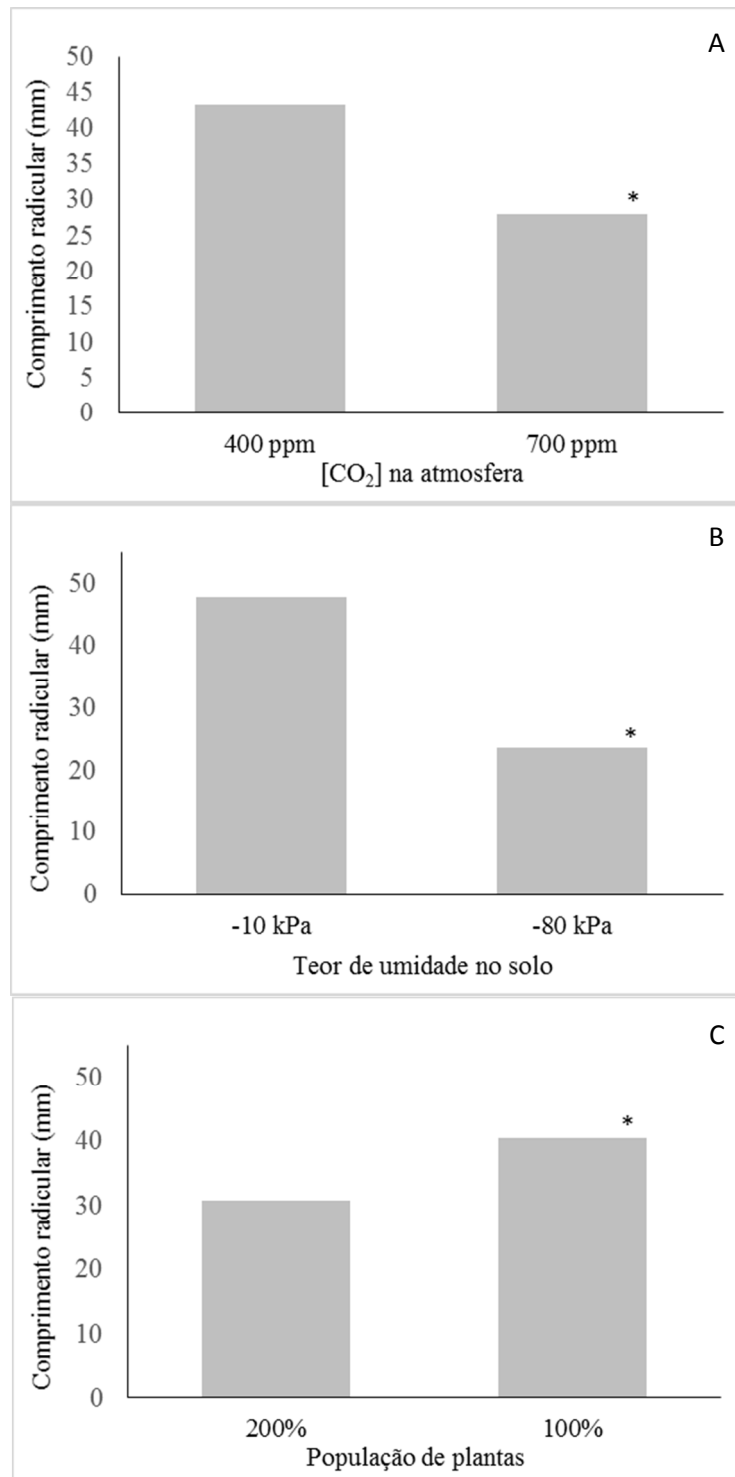


Figura 5. Gráfico do comprimento radicular (mm) do pepino submetido a teste de germinação com extrato aquoso na concentração de 5% de azevém cultivado sob diferentes concentrações de CO₂ (A), umidade no solo (kPa) (B) e densidade de plantas (C). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Asterisco indica diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

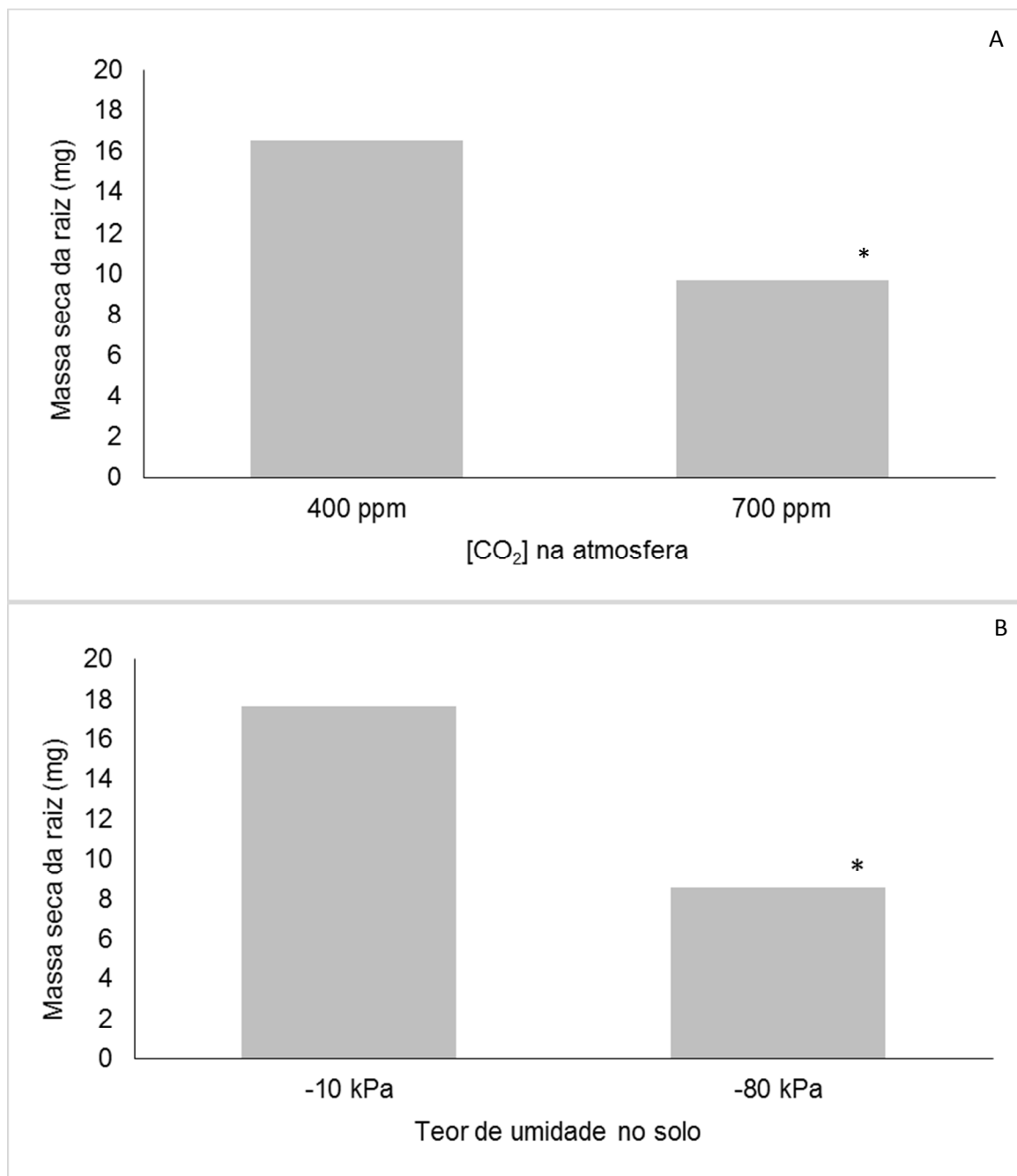


Figura 6. Gráfico massa seca da raiz das plantas de pepino submetido a teste de germinação com extrato aquoso na concentração de 5% de azevém cultivado sob diferentes concentrações de CO₂, umidade no solo (kPa) e densidade de plantas. FAEM/UFPEI, Capão do Leão, 2017. Asterisco indica diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.4 Conclusão

O déficit hídrico é um fator mais limitante do que o aumento de CO₂ atmosférico para o azevém. A combinação dos estresses aumenta o efeito alelopático do azevém.

4.Capítulo III. Atividade Residual do herbicida imazapir+imazapique no desenvolvimento e qualidade nutricional do azevém (*Lolium multiflorum*)

4.1 Introdução

O Brasil é responsável por aproximadamente 80% da produção de arroz do Mercosul, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor do cereal. Junto com Santa Catarina, o Estado é responsável por cerca de 70% da produção do país, garantindo o suprimento de arroz à população brasileira (SOSBAI, 2014). Nas zonas arrozeiras da Zona Sul do Estado, assim como da Fronteira Oeste e Campanha, o arroz irrigado participa de sistemas onde se utiliza pecuária extensiva de corte, utilizando-se a resteva da lavoura, pastagem nativa e pastagem semeada (CORREA et al., 2013).

Visando a sustentabilidade das lavouras de arroz irrigado, surgiram a partir dos anos 90 sistemas alternativos como o cultivo mínimo e o uso de rotação de culturas, manejos capazes de incrementarem a produção de grãos nas áreas (VERNETTI JUNIOR et al., 2009). Entretanto, os referidos autores ressaltam que a utilização de culturas como soja e milho, e algumas forrageiras, possuem utilização limitada por causa das propriedades dos solos hidromórficos como baixa drenagem de água e condições químicas e físicas desfavoráveis.

No sistema de cultivo mínimo ou preparo antecipado, na entressafra (inverno) cultiva-se espécies que podem ser utilizadas como cobertura do solo, e/ou com o propósito de pastejo (CORREA et al., 2013). Dentre as espécies possíveis de serem utilizadas com o duplo propósito no Rio Grande do Sul está o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), já que se adapta ao ambiente com possível encharcamento e pastejo (MENEZES et al., 2001; PINTO et al., 2009).

O azevém é uma das espécies mais cultivadas na região em sucessão com as culturas de verão (PINTO et al., 2009). A gramínea ocupa áreas de

arroz e soja após a colheita, no processo de integração lavoura-pecuária. O azevém substitui as espécies nativas em períodos de geada e baixas temperaturas, permitindo o crescimento ideal dos animais na pecuária de corte e leiteira (LUPATINI et al., 2017).

A adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas é um dos pré-requisitos para sustentabilidade dos sistemas agrícolas de produção, uma vez que a monocultura pode promover um declínio na produtividade. O uso de sistemas de rotação e sucessão de culturas em áreas de arroz irrigado traz diversos benefícios como a redução de níveis de infestação de plantas daninhas, principalmente o arroz-vermelho; incremento de matéria orgânica no solo; ciclagem de nutrientes; quebra do ciclo de doenças e pragas; diversificação de renda e otimização de máquinas e mão de obra (VERNETTI JUNIOR et al., 2009; CORREA et al., 2013).

O sistema de rotação de culturas demanda cuidados em relação aos herbicidas utilizados na cultura anterior, isto porque algumas moléculas podem apresentar longo efeito residual, não sendo completamente degradadas durante o ciclo da cultura principal. Na safra de 2012/13, cerca de 50% das lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul foram cultivadas com o sistema Clearfield® (MENEZES et al., 2013), onde é realizado aplicações sequenciais de herbicidas do grupo da imidazolinonas. Os herbicidas deste grupo podem persistir no solo após o cultivo dependendo das condições do ambiente (KRAEMER et al., 2009). Os solos arrozeiros do RS são predominantemente ácidos (BOENI et al., 2010), condição favorável para as imidazolinonas ficarem adsorvidas ao solo (KRAEMER et al., 2009). Em torno de 80 a 90% dos herbicidas aplicados podem concentrar-se na camada de 10 a 20 cm de profundidade do perfil do solo e permanecerem por longos períodos (LOUX E REESE, 1993). Essa persistência é positiva quando resulta na supressão das plantas daninhas tempo suficiente para manter a cultura livre de competição, todavia é indesejável quando resulta em injúrias para as culturas subsequentes (SOUZA et al., 2012). Portanto, plantas cultivadas em sucessão/rotação com o arroz podem ter seu rendimento reduzido devido ao efeito residual (PINTO et al., 2009)

São diversos os fatores que estão relacionados à velocidade de degradação de determinado composto herbicida, portanto é difícil estimar o tempo necessário para sua dissipação após a aplicação, já que diversas são as variáveis que podem influenciar a meia-vida (PINTO et al., 2011). Uma das características das imidazolinonas que aumentam a sua persistência no solo é a baixa degradação em condição de anaerobiose (KRAEMER et al., 2009), condição comum em lavoura de arroz irrigado.

A mobilidade ao longo do perfil do solo é uma característica importante destes herbicidas. São moléculas com baixo coeficiente de adsorção e alta solubilidade em água (BUNDT et al., 2013). A direção de seu movimento depende do fluxo da água, sendo o sentido mais comum o descendente pela ocorrência de grandes volumes de água em condições alagadas como no cultivo do arroz irrigado (OLIVEIRA et al., 2001). Porém, durante a entressafra na ausência de lamina de água, a lixiviação inversa pode ocorrer, ou seja, o herbicida que estava em áreas mais profundas do solo pode ascender junto com água do solo perdida por evapotranspiração e/ou evaporação (VANWYK E REINHARDT, 2001).

Os herbicidas do grupo das imidazolinonas são absorvidos pelas raízes e folhas das plantas e transportados pelo xilema e floema, se acumulando nos pontos de crescimento. Eles atuam na inibição da produção de aminoácidos de cadeia ramificada leucina, isoleucina e valina por causa da inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), também chamada acetohidroxiácido sintase (AHAS) (SENSEMAN et al., 2007). O efeito fitotóxico se dá pela deficiência destes aminoácidos que diminuem a síntese de proteínas e de DNA, afetando a divisão celular e translocação de fotossintatos aos pontos de crescimento. (KRAEMER et al., 2009).

O objetivo do estudo foi avaliar a atividade residual do herbicida composto pela mistura formulada imazapir+imazapique no desenvolvimento e na qualidade nutricional da cultura do azevém semeado em sucessão com arroz irrigado.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido a campo, em área experimental pertencente ao Centro Agropecuário da Palma (CAP) e, as análises realizadas em laboratório pertencente ao Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPel). O solo da área experimental é caracterizado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2013) apresentando as seguintes características: pH (4,0), cálcio ($2,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$), magnésio ($1,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$), alumínio ($0,6 \text{ cmolc dm}^{-3}$), fósforo ($4,7 \text{ mg dm}^{-3}$), potássio (22 mg dm^{-3}), $\text{CTC}_{\text{pH}7}$ (8,3), matéria orgânica (0,7%) e argila (24%).

O estudo foi realizado em duas etapas, onde o arroz foi considerado a cultura principal e o azevém como forrageira de inverno. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, onde as unidades experimentais foram compostas por parcelas de 20 m^2 , com dimensões de 2×10 metros. Os tratamentos consistiram de diferentes doses da mistura dos herbicidas imazapir+imazapique (Kifix[®]) aplicado em duas épocas na cultura do arroz, pré e pós-emergência, nas doses de 0%, 50%, 100%, 150% e 200% da dose recomendada de 140 g ha^{-1} do produto comercial ($73,5 \text{ g ia}$ de imazapir + $24,5 \text{ g ia}$ de imazapique).

Os tratamentos herbicidas foram acrescidos de adjuvante não-iônico a 0,05% v/v. A aplicação em pré-emergência foi realizada um dia após semeadura, e em pós-emergência quando as plantas de arroz estavam na fase V_3 - V_4 . Para aplicação dos herbicidas, foi utilizado pulverizador costal pressurizado a CO_2 , com ponta de pulverização do tipo leque 110.015, espaçadas a 0,5 m, com pressão constante de 1 bar ($1,0197 \text{ kgf cm}^{-2}$), regulado para um volume de calda equivalente a 150 L ha^{-1} .

Na primeira etapa do experimento realizou-se a semeadura do arroz, utilizando-se a cultivar Puitá INTA CL, na densidade de 120 kg ha^{-1} com espaçamento entre linha de 17 cm. A adubação de base foi realizada na linha de semeadura, sendo utilizado 300 kg ha^{-1} de fertilizante NPK na fórmula 5-20-20. Realizou-se a adubação nitrogenada na forma de uréia em cobertura fracionada em dois momentos, antes da entrada da água e a segunda antes da

diferenciação do primórdio floral. Os demais tratos culturais foram realizados conforme recomendando para a cultura do arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2014). A variável analisada foi produtividade, em uma área útil de 3,2 m², com a correção da umidade para 13%.

Na segunda etapa, 155 dias após a aplicação do herbicida no arroz, foi semeado o azevém (*Lolium multiflorum*) cultivar BRS Ponteio. A semeadura foi a lanço na densidade de 20 kg ha⁻¹. Realizou-se a adubação com fertilizante NPK (5-20-20) na quantidade de 150 kg ha⁻¹ no dia da semeadura, e adubação nitrogenada com uréia (45-0-0) na dose de 150 kg ha⁻¹ no momento em que as plantas estavam com três folhas (V₃). Foram coletadas cinco amostras da parte área em 0,0625 m² por parcela 45 dias após a emergência.

As variáveis analisadas no azevém foram estatura de plantas, massa seca da parte área (MSPA) e análises qualitativas. A estatura (cm) foi determinada com auxílio de uma régua graduada, tomando-se a medida das plantas desde o nível do solo ao ápice da planta. Coletou-se a parte aérea das plantas, sendo o material acondicionado em sacos de papel para a secagem em estufa de circulação forçada de ar, aquecida a 60 °C, até se obter massa constante, quando determinou-se a MSPA.

As análises qualitativas foram realizadas no laboratório de Nutrição Animal, pertencente à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Para análise qualitativa das amostras foi utilizada metodologia de acordo com Silva e Queiros (2014). As variáveis analisadas foram teor de fibra bruta, cinzas, proteína bruta, extrato etéreo e extratos não nitrogenados. Todos os valores foram ajustados à base de 100% da matéria seca.

Os dados foram analisados quanto à homocedasticidade e normalidade e, quando necessário, foi realizada transformação. Em seguida, foram submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$). A significância dos efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

4.3 Resultados e Discussão

A menor produtividade para o arroz foi observada para o tratamento em que não houve aplicação de herbicida, reduzindo em 54% quando comparado a dose correspondente a 100% (140 g ha⁻¹ do produto comercial) (Tabela 1). Isto se deve a alta infestação de plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura, visto que não utilizou-se herbicidas no controle. A duração do período de competição é extremamente importante para relacionar os efeitos gerados pela competição entre plantas, permitindo determinar a magnitude dos prejuízos causados no crescimento, no desenvolvimento e conseqüentemente, na produtividade das culturas (ZANINE E SANTOS, 2004). As doses 100, 150 e 200% do herbicida imazapir + imazapique não apresentaram diferença estatística, proporcionando as melhores produtividades.

Tabela 1. Produtividade do arroz semeado anteriormente ao azevém em função das doses da mistura dos herbicidas imazapir + imazapique. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Dose (g ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
0 (0%) ¹	4847,5 c ²
70 (50%)	8854,85 b
140 (100%)	10507,25 a
210 (150%)	9332,75 ab
280 (200%)	10422,68 a
CV (%) 9,68	

¹-Porcentagem da dose recomendada do produto comercial.

²-Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Duncan (p≤0,05).

Para a variável estatura e MSPA do azevém (Tabela 2), a maior média pode-se observar no tratamento onde foi aplicado 150% da dose do herbicida. A dose de 280 g ha⁻¹ diferiu da dose 140 g ha⁻¹ do produto comercial, com redução de 36% no incremento de MSPA do azevém, não diferindo da testemunha onde não houve aplicação de herbicida. Desse modo entende-se que a aplicação equivalente a 200% da dose do produto comercial imazapir + imazapique no arroz, apresentou um efeito residual no solo o qual afetou a produtividade da forrageira em sucessão. Para a testemunha o resultado obtido

se deve a competição que se estabeleceu devido ao fato de não ter sido realizado o controle das plantas daninhas.

Tabela 2. Estatura (cm) e massa seca da parte aérea do azevém (kg ha^{-1}) semeado em sucessão com arroz irrigado cultivado no sistema Clearfield®. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

Dose (g ha^{-1})	Estatura (cm)	MSPA (kg ha^{-1})
0	11,5 b	252,78 bc
70	11,75 b	333,17 ab
140	11,44 b	362,46 a
210	14,75 a	384,07 a
280	12,84 b	231,40 c
CV (%)	8,54	16,12

Médias seguidas da mesma letra diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os resultados mostram que até 150% da dose recomendada do herbicida pode ser aplicado sem prejudicar a cultura do azevém. Há um incremento de massa seca por área, já que o residual do produto diminui a competição com plantas daninhas. Por outro lado, Pinto et al (2009) observou que a partir de 50 g ha^{-1} da mistura imazetapir + imazapique aplicado no arroz, há decréscimo na massa seca da parte aérea e na estatura do azevém semeado em sucessão.

Quando avaliado o teor de proteína bruta (%) em base na massa seca (Tabela 3), não houve diferença significativa entre os tratamentos. O residual do herbicida composto imazapir + imazapique não afetou estatisticamente a produção de proteínas nas plantas de azevém. Os valores encontrados corroboram com Rodrigues (2009), que ao analisar azevém cv. Comum produzido em terras baixas encontrou 11,16% de proteína bruta em fase de pré-florescimento. O nível de proteína bruta considerado crítico para alimentação dos ruminantes é de 7% (GENRO E ORQIS, 2008), portanto mesmo quando o azevém se desenvolveu em solo onde foi aplicada 200% a dose do herbicida imazapir + imazapique o teor de proteína ficou acima do desejado.

Quando os valores de proteína bruta foram convertidos para quantidade de proteína em gramas por metro quadrado, levando em conta a quantidade de massa seca de cada tratamento, houve diferença entre os tratamentos. A

menor quantidade de proteína por área ocorreu onde o dobro da dose recomendada do herbicida foi aplicada (Tabela 3). Em função do residual causar uma redução da MSPA, conseqüentemente reduziu a quantidade de proteína em gramas por metro quadrado.

As proteínas são polímeros resultantes da desidratação de aminoácidos. Cada resíduo do aminoácido se liga ao seu vizinho por uma ligação covalente. Os aminoácidos valina, leucina e isoleucina que são inibidos pelos herbicidas inibidores da enzima ALS são importantes na estabilização da estrutura das proteínas pela promoção de interações hidrofóbicas (NELSON E COX, 2014).

Tabela 3. Porcentagem de proteína bruta na planta (%) e teor de proteína por metro quadrado (g m^{-2}) nas plantas de azevém semeadas em sucessão com arroz irrigado cultivado no sistema Clearfield®. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Dose (g ha^{-1})	Proteína (%)	Proteínas (g m^{-2})
0	9,7 ^{ns}	3,66 b ¹
70	8,8	3,69 b
140	9,5	3,82 b
210	9,3	6,89 a
280	8,7	2,10 c
CV (%)	5,2	18,5

^{ns}- diferença não significativa

¹- médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Para a variável porcentagem de fibra bruta (Tabela 4), não houve diferença estatística entre os tratamentos estudados. Ao avaliar a quantidade de fibra por metro quadrado (Tabela 4), o menor resultado foi observado naquelas plantas que se desenvolveram em solo onde foi aplicado 200% a dose do herbicida, porém não apresentou diferença estatística dos demais tratamentos.

As fibras são o componente estrutural das plantas. É a parede celular e a fração menos digerível do alimento (WEISS, 1999). A fibra para os animais ruminantes é compreendida como um conjunto de componentes dos vegetais que possui baixa digestibilidade e promovem ao rúmen equilíbrio em função da ruminação (ALVES et al., 2016). Duas das principais funções das fibras nos

ruminantes é estimular a ruminação e salivação durante mastigação. Van Soest (1967) propõe que os componentes da fibra bruta sejam divididos em fração solúvel: lipídios, compostos nitrogenados, amido, pectina e outros compostos solúveis em água; e em fração insolúvel: proteína insolúvel, hemicelulose e lignocelulose.

Tabela 4. Porcentagem de fibra bruta na planta (%), e teor de fibra bruta por metro quadrado (g m^{-2}) nas plantas de azevém semeadas em sucessão com arroz irrigado cultivado no sistema Clearfield®. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2017.

Dose (g ha^{-1})	Fibra Bruta (%)	Fibra Bruta (g m^{-2})
0	15,1 ^{ns}	6,62 ^{ns}
70	15,7	5,18
140	14,2	5,15
210	15,2	4,81
280	15,3	3,48
CV (%)	6,86	17,1

^{ns} - diferença não significativa pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

A variável teor de cinzas (Tabela 5) apresentou diferença estatística somente quando as médias foram transformadas para quantidade de cinzas em gramas por metro quadrado. O tratamento onde foi aplicado 150% da dose do herbicida imazapir + imazapique apresentou maiores resultados por área. Quando comparado o teor de cinzas em porcentagem, não houve diferença entre os tratamentos. A porcentagem de cinzas fornece uma indicação da quantidade de material mineral que há na amostra. (SILVA E QUEIROZ, 2004).

Tabela 5. Porcentagem de cinzas na planta (%), e teor de cinzas por metro quadrado (g m^{-2}) nas plantas de azevém semeadas em sucessão com arroz irrigado cultivado no sistema Clearfield®. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

Dose (g ha^{-1})	Cinzas (%)	Cinzas (g m^{-2})
0	8,8 ^{ns}	2,85 b ¹
70	8,4	3,41 b
140	7,7	2,73 b
210	8,2	5,41 a
280	8,0	2,73 b
CV (%)	10,43	26,5

^{ns} - diferença não significativa

¹ - médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Os valores de porcentagem de extrato etéreo (Tabela 6) não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. Quando avaliado a quantidade em gramas por metro quadrado de extrato etéreo, o tratamento de 200% a dose do herbicida apresentou menor peso, não diferindo estatisticamente da testemunha sem herbicida. A amostra com maior teor de extrato etéreo por área foi a do tratamento onde 150% da dose (210 g ha^{-1}) foi aplicada no solo.

Tabela 6. Porcentagem de extrato etéreo (EE) na planta (%), e teor de extrato etéreo por metro quadrado (g m^{-2}) nas plantas de azevém semeadas em sucessão com arroz irrigado cultivado no sistema Clearfield®. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2017.

Dose (g ha^{-1})	EE (%)	EE (g m^{-2})
0	5,24 ^{ns}	1,65 bc ¹
70	5,81	2,39 b
140	6,13	2,51 b
210	5,71	3,63 a
280	5,76	1,23 c
CV (%)	12,8	21,2

^{ns} - diferença não significativa

¹ - médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O teor de extrato etéreo corresponde a quantidade de gordura bruta presente na forragem. A gordura bruta é a parte mais energética dos alimentos, e é composta de gorduras, pigmentos e óleos (SILVA E QUEIROZ, 2004).

Payne et al (2010) estudou o efeito do herbicida metsulfuron, pertencente aos herbicidas inibidores da ALS, na qualidade nutricional de festuca (*Lolium arundinacea*), e pode observar que o uso do herbicida na pastagem não afetou a qualidade da forrageira. Brandt e Molgaard (2001) conclui que o uso de pesticidas não altera a composição nutricional dos alimentos.

4.4 Conclusão

Residual do herbicida imazapir + imazapique aplicado na cultura do arroz, nas doses maiores que 150% da recomendada diminuem a produção de MSPA do azevém cultivado subsequente, porém não há redução na sua qualidade nutricional.

5. Considerações Finais

As espécies respondem diferentemente ao incremento de CO₂ na atmosfera. Nas plantas estudadas, o azevém foi o que apresentou maiores mudanças em seu desenvolvimento e potencial remediador comparado ao trevo branco e a ervilhaca. As mudanças previstas na concentração de gases na atmosfera não foram benéficas para o azevém.

O incremento de CO₂, associado à baixa umidade no solo, aumentou o potencial alelopático do azevém. Considerando cenário previsto de mudanças climáticas, a elevada concentração de CO₂ na atmosfera será benéfica para o controle de planta daninhas por favorecer a produção de compostos alelopáticos. Estudos posteriores são necessários para quantificar e identificar quais são os compostos alelopáticos produzidos pelo azevém, e o comportamento de outras espécies com potencial aleloquímico sob elevadas concentrações de CO₂.

O estudo da qualidade nutricional das plantas forrageiras apresenta grande relevância na região Sul do Brasil, na qual comumente utiliza-se a integração lavoura-pecuária. O estabelecimento do azevém em áreas com residual de herbicidas do grupo das imidazolinonas é prejudicado quantitativamente, porém a pastagem não perde a sua qualidade nutricional.

Referências

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários.** [Http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/lap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=8355&p_tipo_janela=NEW](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/lap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=8355&p_tipo_janela=NEW). Acesso em: Janeiro 2017.

ALVES, A.R.; PASCOAL, L.A.F.; CAMBUÍ, G.B.; TRAJANO, J.S.; SILVA, C.M.; GOIS, G.C. Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional. **PUBVET**, v. 10, n. 7, p. 568-579, 2016.

ARENQUE, B.C.; GRANDIS, A.; POCIUS, O.; SOUZA, A.P.; BUCKERIDGE, M.S. Responses of *Senna reticulata*, a legume tree from the Amazonian floodplains, to elevated atmospheric CO₂ concentration and waterlogging. **Trees**, v. 28, p. 1021-1034, 2014.

BARNABY, J.; ZISKA, L. H. Plant Responses to Elevated CO₂. **eLS**. 2012
BLANCO, J.A., 2007. The representation of allelopathy in ecosystem-level forest models. **Ecological Modelling**, v. 209, p. 65-77, 2007.

BOENI, M.; ANGHINONI, I.; GENRO JR., S.A.; OSÓRIO FILHO, B.D. **Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul.** Cachoerinha:IRGA. Boletim Técnico. 2010; p.38.

BOSSI, R.; SKOV, H.; VORKAMP, K.; CHRISTENSEN, J.; RASTOGI, S.C.; EGELOV, A.; PETERSEN, D. Atmospheric concentrations of organochlorine pesticides, polybrominated diphenyl ethers and polychloronaphthalenes in Nuuk, South-West Greenland. **Atmospheric Environment**, v.42, n.31, p. 7293–7303, 2008.

BRANDT, K.; MOLGAARD, J.P. Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 924-931, 2001.

BULEGON, L.G.; MEINERZ, C.C.; CASTAGNARA, D.D.; BATTISTUS, A.G.; GUIMARÃES, V.F.; NERES, M.A. Alelopatia de espécies forrageiras sobre a

germinação e atividade de peroxidase em alface. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 2, p. 94-99, 2015.

BUNDT, A.D.; 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.

CAOA, L.; BALAB, G.; CALDEIRAA, K.; NEMANID, R.; BAN-WEISSA, G. Importance of carbon dioxide physiological forcing to future climate change. **PNAS**, v. 107, n. 21, p.9513–9518, 2010.

CARERE, M.; MINIERO, R.; & CICERO, M.R. Potential effects of climate change on the chemical quality of aquatic biota. **Trends in Analytical Chemistry**, v.30, n.8, p.1214–1221, 2011.

CASTAGNARA, D.D.; MEINERS, C.C.; MULLER, S.F.; SCHIMIDT, M.A.H.; PORTZ, T.M.; OBICI, L.V.; GUIMARÃES, V.F. Potencial alelopático de aveia, feijão guandu, azevém e braquiária na germinação de sementes e atividade enzimática do pepino. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 16, n. 2, p. 31-42, 2012.

CHAVES M.M.; PEREIRA J.S.; MAROCO J.; RODRIGUES M.L.; RICARDO C.P.P.; OSÓRIO, M.L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals Botany**, v. 89, p. 907-916, 2002.

CORREIA, S.L.; SILVA, P. R. F.; SERPA, M.S.; VIEIRA, V.M.; BOENI, M.; MENEZES, G.B. Estratégias de manejo da palha de azevém para cultivo do arroz irrigado em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 512-520.

DE CONTO, L.; SGANZERLA, D.C.; PEDROSO, C.E.S.; MONKS, P.L. Relação azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) – ruminante. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, p. 41-54, 2011.

DELCOUR, I.; SPANOGHE P.; UYTENDAELE M. Literature review: Impact of climate change on pesticide use. **Food Research International**, v.68, p. 7-15, 2014.

EBERLEIN C.V.; GUTTIERI M.J.; MALLORY-SMITH C.A.; THILL D.C.; BAERG R.J. Acetolactate Synthase Activity in ALS-Inhibitor Resistant Prickly Lettuce (*Lactuca serriola*). **Weed Science**, v. 45, n. 2, p. 212-217, 1997.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013, p.353.

ETIM, E.E. Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. **International Journal of Environment and Bioenergy**, v. 2, n. 3, p. 120-136, 2012.

FARQUHAR G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v.33, p.17–45, 1982.

FERREIRA, A.G.; AQUILA, M.E.A. Alelopatia: Uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, p. 175-204, 2000.

FICKLIN, D.L.; LUO, Y.; LUEDELING, E.; GATZKE, S.E.; ZHANG, M. Sensitivity of agricultural runoff loads to rising levels of CO₂ and climate change in the San Joaquin Valley watershed of California. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 1, p. 223–234, 2010.

FRANKS. P.J.F.; ADAMS, M.A.; AMTHO, J.S.; BARBOUR, M.M.; BERRY, J.A.; ELLSWORTH, D.S.; FARQUHAR, G.D.; GHANNOUM, O.; LLOYD, J.; MCDOWELL, N.; NORBY, R.J.; TISSUE, D.T.; CAEMMERER, S.V. Sensitivity of plants to changing atmospheric CO₂ concentration: from the geological past to the next century. **New Phytologist**, v. 197, p. 1077–1094, 2013.

GALON, L.; LIMA, A.M.; GUIMARÃES, S.; BELARMINO, J.G.; BURG, G.M.; CONCENÇO, G.; BASTIANI, M.O.; BEUTLER, A.N.; ZANDONA, R.R.; RADÜNZ, A.L. Potential of plant species for bioremediation of soils applied with imidazolinone herbicides. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 719-726, 2014.

GENRO, T.C.M.; ORQIS, M.G. Informações básicas sobre coleta de amostras e principais análises químico-bromatológicas de alimentos destinados à produção de ruminantes. **Bagé: Embrapa Pecuária Sul. Documentos 81**. 2008.

GROHS, M.; SANTOS, F. M.; MARCHEZAN, E.; MASSONI, P. F. S.; AROSEMENA, D. R.; AVILA, L. A. Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sobre azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivado em sucessão ao arroz tolerante. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1754-1757, 2008.

GUO, H. Y.; JIA, H. X.; ZHU, J. G.; WANG, X. R. Influence of the environmental behavior and ecological effect of cropland heavy metal contaminants by CO₂ enrichment in atmosphere. **Chinese Journal of Geochemistry**, v. 25, p. 212, 2006.

GUTIERREZ, A.P.; PONTI, L.; D'OULTREMONT, T.; ELLIS, C. Climate change effects on poikilotherm tritrophic interactions. **Climatic Change**, v. 87, n. 1, p. 167-192, 2008.

IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [EDENHOFER, O.; R. PICHES-MADRUGA, Y.; SOKONA, E.; FARAHANI, S.; KADNER, K.; SEYBOTH, A.; ADLER, I.; BAUM, S.; BRUNNER, P.; EICKEMEIER, B.; KRIEMANN, J.; SAVOLAINEN, S.; SCHLÖMER, C.; VON STECHOW, T.; ZWICKEL, J.C. (Editores.)]. 2014

JACKSON, L.; WHEELER, S.; HOLLANDER, A.; O'GEEN, A.; ORLOVE, B.; SIX, J.; SUMNER, D.A.; SANTOS-MARTIN, F.; KRAMER, J.B.; HORWATH, W.R.; HOWITT, T.P.; TOMICH, T.P. Case study on potential agricultural responses to climate change in a California landscape. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 407–427, 2011.

JIA, H. X.; GUO, H. Y.; YIN, Y.; WANG, Q.; SUN, Q.; WANG, X. R.; ZHU, J. Responses of rice growth to copper stress under free-air CO₂ enrichment (FACE). **Chinese Science Bulletin**, v. 52, p. 2636-2641, 2007.

KAROWE, D.N.; GRUBB, C. Elevated CO₂ increases constitutive phenolics and trichomes, but decreases inducibility of phenolics in *Brassica rapa* (Brassicaceae). **Journal of Chemical Ecology**, v. 37, p. 1332-1340, 2011.

KOOKANA, R.; HOLZ, G.; BARNES, C.; BUBB, K.; FREMLIN, R.; BOARDMAN, B. Impact of climatic and soil conditions on environmental fate of atrazine used under plantation forestry in Australia. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 12, p. 2649–2656, 2010.

KOSKINEN, W. C.; HARPER, S. S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, LEON, V. W. J.; CARL, R. F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependant activity. **Weed Technology**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2001.

KRAEMER, A.F.; MARCHESAN, E.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; GROHS, M.; MASSONI, P.F.S.; SARTORI, G.M.S. Persistência dos herbicidas

imazethapyr e imazapic em solo de várzea sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v.27, n.3, 2009.

KRAEMER, A.F.; MARCHESAN, E.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; GROHS, M. Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas – Revisão. **Planta Daninha**. v. 27, n. 3, p. 629-639, 2009.

KRAEMER, A.F.; MARCHESAN, E.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; GROHS, M.; MASSONI, P.F.S.; SARTORI, G.M.S. Persistência dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, 2009.

LEAKEY A.D.B.; BISHOP K.A.; AINSWORTH E.A. A multi-biome gap in understanding of crop and ecosystem responses to elevated CO₂. **Current Opinion Plant Biology**, v. 15, p. 228-236, 2012.

LI, Z.; TANG, S.; DENG, X.; WANG, R.; SONG, Z. Contrasting effects of elevated CO₂ on Cu and Cd uptake by different rice varieties grown on contaminated soils with two levels of metals: Implication for phytoextraction and food safety. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, p. 352-361, 2010.

LOUX, M.M.; REESE, K. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinones herbicides. **Weed Technology**, v. 7, n. 2, p. 452-458, 1993.

LUPATINI, G.C.; RESTLE, J.; CERETTA, M.; MOOJEN, E.L.; BARTZ, H.R. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47044/1/pab257-95.pdf>. Acesso em jan. 2017.

MALADÃO, J.C.; PIRES, F.R.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PROCÓPIO, S.O. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 390-396, 2012.

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.

MARCHESAN R.; PARIS, W.; MENEZES, L.F.G.2; TONION, R.; MARTINELLO, C.; OLIVEIRA, O.N.; HOPPEN, S.M. Italian ryegrass cultivars

production associated or not with oat black under two post-grazing residues. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 2291-2300, 2016.

MARCHESAN, E.; MASSONI, P.F.S.; VILLA, S.C.C.; GROHS, M.; AVILA, L.A.; SARTORI, G.M.S.; BRUCK, R.F. Produtividade, fitotoxicidade e controle de arroz-vermelho na sucessão de cultivo de arroz irrigado no Sistema CLEARFIELD®. **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 17-24, 2011.

MENEZES, V.G.; MARIOT, C.H.P.; KALSING, A.; FREITAS, T.F.S.; GROHS, D.S.; MATZENBACHER, F.O. Associação de glyphosate e imidazolinonas no controle de arroz-vermelho em arroz Clearfield®. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2154-2159, 2013.

MENEZES, V.G.; MARIOT, C.H.P.; LOPES, M.C.B.; SILVA, P.R.F.; TEICHMANN, L.L. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1107-1115, 2001.

MIRAGLIA, M.; MARVIN, H.J.P.; KLETER, G.A.; BATTILANI, P.; BRERA, C.; CONI, E.; CUBADDA, F.; CROCI, L.; DE SANTIS, B.; DEKKERS, S.; FILIPPI, L.; HUTJES, R.W.; NOORDAM M.Y.; PISANTE, M.; PIVA, G.; PRANDINI, A.; TOTI, L.; VAN DEN BORN, G.J.; VESPERMANN, A. Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, n. 5, p. 1009-1021, 2009.

MONQUEIRO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; DIAS, C.T.S. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS na cultura da soja (*Glycine max*). **Planta Daninha**, v. 18, n. 3, p. 419-425, 2000.

MORAES, P.V.D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L.E.; GALON, L.; OLIVEIRA, C.; DAL MAGRO, T. Potencial alelopático de extratos aquosos de culturas de cobertura de solo na germinação e desenvolvimento inicial de *Bidens pilosa*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1299-1314, 2012.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, cap.5, 2014.

NOYES, P.D.; MCELWEE, M.K.; MILLER, H.D.; CLARK, B.W.; VAN TIEM, L.A.; WALCOTT, K.C.; ERWIN, K.N. The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world. **Environment International**, v. 35, n. 6, p. 971-986, 2009.

OLIVEIRA JR, R.S. Conceitos importantes no estudo do comportamento de herbicidas no solo. **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 9- 13, 2001.

OLIVEIRA, M.F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA Jr., R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 315-362.

PAYNE, K.K.; SLEUGH, B.B.; BRADLEY, K.W. Impact of herbicides and application timing on weed control, yield, and nutritive value of tall fescue pastures and hayfields. **Weed Technology**, v. 24, p. 515-522, 2010.

PETERS, K.; BREITSAMETER, L.; GEROWITT, B. Impact of climate change on weeds in agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34 p. 707–721, 2014.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO₂ e de O₃ atmosférico: situação e previsões. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 1-12, 2011.

PINTO, J.J.O.; NOLDIN, J.A.; ROSENTHAL, M.D.; PINHO, C.F.; ROSSI, F.; MACHADO, A.; PIVETA, L.; GALON, L. Atividade residual de (imazethapyr+imazapic) sobre azevém anual (*Lolium multiflorum*), semeado em sucessão ao arroz irrigado, sistema clearfield®. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 609-619, 2009.

PINTO, J.J.O.; NOLDIN, J.A.; SOUSA, C.P.; AGOSTINETTO, D.; PIVETA, L.; DONIDA, A. Atividade residual de imazethapyr + imazapic em arroz semeado em rotação com o arroz Clearfield. **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 205-216, 2011.

PIRES, F.R., SOUZA, C.M. CECON, P.R., SANTOS, J.B., TÓTOLA, M.R., PROCÓPIO, S.O., ANTONIO ALBERTO DA SILVA, A.A., SILVA, C.S.W. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p-627-634, 2005.

PIRES, F.R.; SOUZA, C. M.; SILVA A. A.; PROCÓPIO, S.O. Phytoremediation oh herbicide-polluted sois. **Planta Daninha**, v. 21 n. 2, p. 335-341, 2003.

PRENTICE, I. C. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. **Climate change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University Press: IPCC. p. 183-237, 2001.

RAJKUMAR, M.; PRASAD, M.N.V.; SWAMINATHAN, S.; FREITAS, H. Climate change drive plant-metal-microbe interactions. **Environment International**, v. 53, p. 74-86, 2013.

RAMAKRISHNA A.; RAVISHANKAR G.A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.

RANAGALAGE, A.S.; WATHUGALA, D.L. Comparison of allelopathic potential of Sri Lankan traditional rice varieties (*Oryza sativa* L.) using radish (*Raphanus sativus* L.) as an indicator plant. **Tropical Agricultural Research and Extension**, v. 18, n. 1, p. 12-21, 2016.

RICE, E.L. **Allelopathy**. Orlando: Academic, 422p, 1984

RIGON, C.A.G.; SALAMONI, A.T., CUTTI, L.; AGUIAR, A.C.M. Germinação e desenvolvimento inicial de picão-preto e nabo forrageiro submetidos a extratos de canola. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 8, n. 2, p. 25-28, 2014.
RIVOAL, A.; FERNANDEZ C.; GREFF, S.; MONTES, N.; VILA, B. Does competition stress decrease allelopathic potential? **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 39, p. 401-407, 2011.

RODRIGUES, R. C. Avaliação químico-bromatológica de alimentos produzidos em terras baixas para nutrição animal. **Embrapa Clima Temperado. Documentos**, 270. 2009; p.28.

ROOS, J.; HOPKINS, R.; KVARNHEDEN, A.; & DIXELIUS, C. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. **European Journal of Plant Pathology**, v. 129, n. 1, p. 9–19, 2011.

SCHUMMER, C.; MOTHIRON, E.; APPENZELLER, B.M.R.; RIZET, A. L.; WENNIG, R.; MILLET, M. Temporal variations of concentrations of currently used pesticides in the atmosphere of Strasbourg, France. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 2, p. 576–584, 2010.

SENSEMAN, S. A. (Ed.). **Herbicide handbook**. 9 ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.

SHAH, A.N.; IQBAL, J.; ULLAH, A.; YANG, G.; YOUSAF, M.; FAHAD, S.; TANVEER, M.; HASSAN, W.; TUNG, S.A.; WANG, L.; KHAN, A.; WU, Y. Allelopathic potential of oil seed crops in production of crops: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 148-154, 2016.

SHANER, D. L.; SINGH, B. K. Phytotoxicity of acetohydroxyacid synthase inhibitors is not due to accumulation of 2-ketobutyrate and/or 2-aminobutyrate. **Plant Physiology**. v. 103, n. 4, p. 1221-1226, 1993.

SILVA, A.A.; D'ANTONINO, L.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR, R.S. Comportamento dos herbicidas no solo. In: Monqueiro, P., editor. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**, São Carlos: RiMa editora. 2014, 430p.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. DE. **Análise de Alimentos. Métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2004; p. 235.

SOARES, G.L.G.; VIEIRA, T.R. inibição da germinação e do crescimento radicular de alface (cv. "Grand Rapids") por extratos aquoso de cinco espécies de Gleicheniaceae. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 180-97, 2000. Sociedade Sul-Brasileira De Arroz Irrigado (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Bento Gonçalves-RS: SOSBAI, 2014. 189p.

SOLTYS, D.; KRASUSKA, U.; BOGATEK, R.; GNIAZDOWSKA, A. **Allelochemicals as Bioherbicides — Present and Perspectives, Herbicides - Current Research and Case Studies in Use**, Dr. Andrew Price (Ed.), InTech, 2013; cap 20.

SOSBAI: **Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado**. Arroz Irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves: SOSBAI, 2014.

SOUTO, K.M.; AVILA, L.A., CASSOL, G.V.; MACHADO, S.L.O.; MARCHESAN, E. Phytoremediation of lowland soil contaminated with a formulated mixture of Imazethapyr and Imazapic. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, 2015.

SOUTO, K.M.; JACQUES R.J.S.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; REFATTI, J.P. Biodegradação dos herbicidas imazetapir e imazapic em solo rizosférico de seis espécies vegetais. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, 2013.

SOUZA FILHO, A.P.S. Alelopatia: Princípios Básicos e Mecanismos de Interferência. In: Monqueiro, P., editor. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. São Carlos: RiMa editora. 430p, 2014.

SOUZA, C.P.; BACARIN, M.A.; PINTO, J.J.O. Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, 2012.

SOUZA, C.P.; BACARIN, M.A.; PINTO, J.J.O. Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield®. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 105-111, 2012.

SOUZA, L.S.; VELINI, E.D.; MARTINS, D.; ROSOLEM, C.A. Efeito alelopático de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o crescimento inicial de sete espécies de plantas cultivadas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 657-668, 2006.

STOCKER, T.F.; QIN D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K. et al. **IPCC: climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge. 2013

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009; p. 319.

TAN, S.; EVANS, R.R.; DAHMER, M.L.; SINGH, B.K.; SHANER, D.L. Imidazolinone-tolerant crops: History, current-status and future. **Pest Management Science**, v. 61, n. 3, p. 246-257, 2005.

TANG, S. R.; XI, L.; ZHENG, J. M.; LI, H. Y. Response to elevated CO₂ of Indian mustard and sunflower growing on copper contaminated soil. **Bulletin Environmental Contaminant Toxicology**, v. 71, p. 988-997, 2003.

TIRYAKI, O.; TEMUR, C. The Fate of Pesticide in the Environment. **J. Biology Environmental Science**, v. 4, n. 10, p. 29-38, 2010.

TRENBERTH K.E.; DAI, A.; SCHRIER, G.V.; JONES, P.D.; BARICHIVICH, J.; BRIFFA, K.R.; SHEFFIELD, J. Global warming and changes in drought. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 17-22, 2014.

TU, C.; BOOKER, F.L.; BURKEY, K.O.; HU, S. Elevated Atmospheric Carbon Dioxide and O₃ Differentially Alter Nitrogen Acquisition in Peanut. **Crop Science**, v. 49, p. 1827-1836, 2009.

UDDIN, M. R.; PARK, S. U.; DAYAN, F. E.; PYON, J. Y. Herbicidal activity of formulated sorgoleone, a natural product of sorghum root exudate. **Pest Management Science**, v. 70, p. 252-257, 2014.

VALERIO, M.; TOMECEK, M.; LOVELLI, S.; ZISKA, L. Assessing the impact of increasing carbon dioxide and temperature on crop-weed interactions for tomato and a C3 and C4 weed species. **European Journal of Agronomy**, v. 50, p. 60-65, 2013.

VAN DE VELDE, H.; BONTE, D.; ABDELGAWAD, H.; ASARD, H.; NIJS, I. Combined elevated CO₂ and climate warming induces lagged effects of drought in *Lolium perenne* and *Plantago lanceolata*. **Plant Ecology**, v. 216, p. 1047-1059, 2015.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1992.

VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. **Journal of Animal Science**, v. 26, p. 119-128, 1967.

VANWYK, L.J.; REINHARDT, C.F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Technology**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2001.

VASCONCELLOS, M.C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V.S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, v. 34, n. 83, p. 261-267, 2012.

VERNETTI JUNIOR, F.J.; GOMES, A.S. & SCHUCH, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1708, 1714, 2009.

VIDAL, R.A.; TREZZI, M.M. Potencial da utilização de coberturas vegetais de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: I - plantas em desenvolvimento vegetativo. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 217-223, 2004.

WALTER, L.C.; ROSA, H.T.; STRECK, N.A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevadas concentração de CO₂. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1564-1571, 2015.

WEISS, W. P. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: **Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers**. Ithaca: Cornell University, 1999. p.176-185.

XU, Z.; SHIMIZU, H.; YAGASAKI, Y.; ITO, S.; ZHENG, Y.; ZHOU, G. Interactive Effects of Elevated CO₂, Drought, and Warming on Plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, p. 692, 2013.

ZANINI, A.M.; SANTOS, E.M. Competição entre espécies de plantas - resumo. **Revista da FZVA**, v. 11, p. 10-30, 2014.

ZISKA, L.H. Evaluation of the growth response of six invasive species to past, present and future carbon dioxide concentrations. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, p. 395–404, 2003.