

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – *CAMPUS* DE CASCAVEL**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MECANISMOS ALELOPÁTICOS COMO ESTRATÉGIA DE MANEJO,  
ENVOLVENDO ESPÉCIES DE COBERTURA VEGETAL**

**MÁRCIA MARIA MAULI**

**CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL**

**NOVEMBRO - 2013**

**MÁRCIA MARIA MAULI**

**MECANISMOS ALELOPÁTICOS COMO ESTRATÉGIA DE MANEJO, ENVOLVENDO  
ESPÉCIES DE COBERTURA VEGETAL**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientadora: Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega

Co-orientador: Dr. Antônio Pedro da Silva Souza Filho

**CASCADEL – PARANÁ – BRASIL**

**NOVEMBRO - 2013**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362**

M411m Mauli, Márcia Maria  
Mecanismos alelopáticos como estratégia de manejo envolvendo espécies de cobertura vegetal / Márcia Maria Mauli — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.  
119 f. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega  
Co-orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro da Silva Souza Filho  
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.  
Bibliografia.

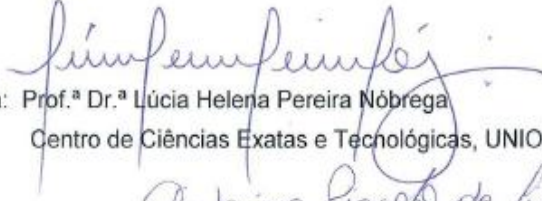
1. Aleloquímicos. 2. Rotação de culturas. 3. Plantas invasoras. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

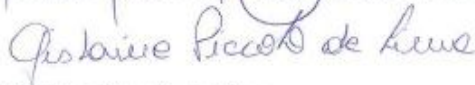
CDD 21. ed. 631.58


**MARCIA MARIA MAULI**

"Mecanismos alelopáticos como estratégia de manejo, envolvendo espécies de cobertura vegetal"


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação "Stricto Sensu" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lúcia Helena Pereira Nóbrega  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gislaine Piccolo de Lima  
Colegiado de Gestão Ambiental, UNIVEL

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Danielle Medina Rosa  
Bolsista PNPd, FA/CAPES

  
Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães  
Centro de Ciências Agrárias, UNIOESTE

  
Prof. Dr. Márcio Furlan Maggi  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 12 de novembro de 2013.

## BIOGRAFIA

Márcia Maria Mauli, nascida em Catanduvas – Paraná, em 14 de janeiro de 1982, filha de Marino Mauli e Catarina Maria Zambon Mauli, agricultores aposentados. Graduou-se em Licenciatura/Bacharelado em Ciências Biológicas na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em 2007. Obteve o grau de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais em 2009 na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, com dissertação intitulada “Manejo da cultura da soja e plantas invasoras sob cobertura vegetal de aveia preta e consórcio de aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro”. Iniciou estudos de doutorado em fevereiro de 2010 no mesmo curso, na área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais, bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), desde o mestrado.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas, o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”*

*Madre Teresa de Calcutá*

**Dedico**

*Ao meu esposo, Ailson,  
Pelo companheirismo, paciência e incentivo,  
Sempre presente em minha vida.*

*À minha família, por ser meu alicerce  
em todos os momentos.*

## AGRADECIMENTOS

Início agradecendo a Deus, que me deu duas características: persistência e determinação! Muitas vezes o caminho tornou-se tortuoso, porém, Ele me deu forças para continuar.

Agradeço aos meus pais, Marino e Catarina Mauli, que estiveram sempre comigo, apoiando-me, amando-me incondicionalmente e muitas vezes precisando me ajudar nas tarefas de campo.

Também a todos os meus familiares, em particular aos meus irmãos e sobrinhos, que entenderam a minha ausência em muitos momentos. Eu amo vocês!

Ao meu esposo, Ailson, pelo apoio incondicional, ajuda e incentivo incansáveis durante a execução deste trabalho e sempre acreditando em meu potencial. Sem você nada disso seria possível!

Meu muitíssimo obrigada à minha orientadora, Lúcia, por acreditar em mim e dividir comigo todos esses anos de aprendizado, e que foram muito além da vida acadêmica. Obrigada pela paciência, orientação e amizade!

Ao meu co-orientador, Antônio Pedro, por acreditar na realização deste trabalho, por me acolher tão bem e dividir comigo seus sábios conhecimentos.

Contudo, não teria chegado até aqui sem a ajuda de algumas pessoas como:

Danielle e Gislaine, pela amizade e companheirismo, dividindo os momentos difíceis e felizes, sempre prontas a ouvir e ajudar;

Adriana, amiga e companheira que dividiu comigo as etapas de aprendizagem e execução mais complexas deste trabalho;

Michelle, Fabio, Ariane, Claudia, Joseli, Luan, Vanessa, Dércio, Dirceu, Christian, por tantos momentos divididos... trabalhos, conversas, brincadeiras, reclamações... de uma maneira ou de outra, ajudando a tornar possível a realização deste trabalho;

Amizades construídas no decorrer de todos esses anos e que permanecerão para sempre!

Às amigas de longa data Márcia S., Maria, Luciana, Leila, Andreia L. e Crislaine por sempre me ouvirem e entenderem, mesmo à distância!!! Vocês tornam meus dias mais felizes!!!

Ainda no âmbito acadêmico, devo agradecer aos membros da banca examinadora pelas sugestões pertinentes para construção final da tese.

Agradeço também aos professores e funcionários do PGEAGRI, em especial às professoras Sílvia Renata Machado Coelho e Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa, por



abrirem as portas do laboratório para execução dos experimentos, professor Luís Francisco Angeli Alves, pela casa de vegetação e à Vera pela assistência.

À CAPES pelo apoio financeiro fornecido.

*Divido com todos vocês o sucesso na realização deste trabalho... Obrigada!*

# MECANISMOS ALELOPÁTICOS COMO ESTRATÉGIA DE MANEJO, ENVOLVENDO ESPÉCIES DE COBERTURA VEGETAL

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo isolar e identificar os compostos secundários das espécies de cobertura de inverno tais como aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda a fim de suprir a crescente necessidade de busca por produtos saudáveis e que não agridam o meio ambiente. Além de ampliar os conhecimentos sobre o manejo dessas plantas, para demonstrar suas vantagens no controle de plantas invasoras e incentivar o uso do sistema plantio direto de forma adequada, já que as mesmas possuem evidências de potencial alelopático. Parâmetros que auxiliassem na elucidação da decomposição dos resíduos vegetais e liberação de aleloquímicos na inibição de picão preto foram avaliados, como a porcentagem de inibição em função da quantidade de massa, usando as quantidades de 10, 20, 30, 40 e 50 g, equivalentes a 7,5; 15; 22,5; 30 e 37,5 t ha<sup>-1</sup>, além da testemunha (sem cobertura). Também foi avaliada a influência da capacidade de campo na decomposição dos resíduos, com 70 e 50% de água disponível, mais a testemunha (100%). Houve a liberação de aleloquímicos pela permanência do material vegetal sobre o solo, em que foram avaliados os respectivos períodos de permanência vegetal: 0; 2; 4; 6 e 8 semanas e aplicação de solução do solo onde foram cultivadas as espécies de cobertura, as quais foram testadas de forma concentrada e nas diluições 100; 200; 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, mais a testemunha. Em todos os testes foram avaliados: emergência (porcentagem de inibição de emergência, índice de velocidade de emergência – IVE e velocidade de emergência, VE) durante 10 dias e desenvolvimento inicial (massa fresca e seca de parte aérea e da raiz) durante 30 dias. Cinco sementes ou plântulas em vaso e 20 delas em gerbox foram utilizadas, com três repetições. Os compostos secundários foram extraídos por extração exaustiva durante sete dias; isolados por coluna cromatográfica por via úmida (CCVU) e identificados por ressonância magnética nuclear (RMN). Os principais grupos químicos presentes nas plantas também foram identificados por meio das técnicas *fingerprint* e *screen* fitoquímico. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC). Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância para verificação de significância e submetidos à análise de regressão. Os qualitativos foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. De modo geral, quanto maior a quantidade de resíduo sobre o solo, maior a inibição de picão preto. O ideal é que, no que se refere à quantidade de água no solo, o resultado fique entre 70 e 50%, quando ocorreram as maiores inibições. Na avaliação dos períodos de decomposição, houve maior interferência do solo esterilizado e do manejo do resíduo do que do próprio tempo. Todavia, os resultados mais expressivos foram encontrados em solo não esterilizado e com incorporação do resíduo. A solução do solo apresentou alterações consideráveis na emergência de picão preto apenas nas últimas coletas, principalmente em nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Os resultados, neste caso, foram mais expressivos quando se utilizou papel germiteste do que areia como substrato. Com relação aos compostos presentes nas plantas, detectou-se a presença de taninos, esteroides e triterpenóides, derivados de cumarina, saponina espumídica e alcaloides. Em vista dos resultados observados, recomenda-se o uso dessas plantas de cobertura na rotação de culturas com a soja, visando à diminuição da planta invasora picão preto.

**Palavras-chave:** aleloquímicos; rotação de culturas; plantas invasoras.

## ALLELOPATHIC MECHANISMS AS STRATEGY MANAGEMENT WITH COVER CROPS SPECIES

### ABSTRACT

This trial aimed at isolating and identifying secondary compounds of winter cover crops as black oats, turnip and hairy vetch in order to meet the growing need for healthy products that do not harm the environment. It also enlarges the management knowledge of such crops to demonstrate their advantages on weed control and stimulate the use of a correct no-tillage system, since there is some evidence of their allelopathic potential. Parameters that help on elucidating decomposition of plant residues and releasing allelochemicals to inhibit *Bidens pilosa* have been evaluated as inhibition percentage according to the amount of mass, which used the amounts of 10, 20, 30, 40 and 50 g, equivalent to 7.5, 15, 22.5, 30 and 37.5 t ha<sup>-1</sup>, and as well as the control treatment (no mass cover). It was also evaluated influence of field capacity on the wastes decomposition, with 50 and 70% of available water plus the control (100%). There was some releasing of allelochemicals by permanence of plant material on the soil in order to evaluate their respective periods of vegetable permanence: 0, 2, 4, 6 and 8 weeks and the application of soil solution where cover crops were cultivated, which were tested in a concentrated way and at the following dilutions 100, 200, 300 and 400 mL L<sup>-1</sup>, as well as the control. In all tests, emergence (inhibition emergence percentage, emergence speed index - ESI and emergence speed - ES) during 10 days and initial development (fresh and dry weight of shoot and root) during 30 days were evaluated. Five seeds or seedlings have been used in pot and 20 of them in gerbox, with three replications. The secondary compounds were obtained by exhaustive extraction during seven days, isolated by column chromatography by wet (CCW) and identified by nuclear magnetic resonance (NMR). The main chemical groups in plants were also identified through techniques such as fingerprint and phytochemical screen. The experimental design was completely randomized. Quantitative data were submitted to variance analysis to check significance and were submitted to regression analysis. The qualitative data were submitted to average comparison by Tukey test at 5 % probability. Generally, the greater residue amount on soil, the greater is *B. pilosa* inhibition. The best regarding water content in soil is that the result must range between 70 and 50%, which is when the greatest inhibitions occurred. During the evaluation of decomposition periods, there was greater interference on sterilized soil and the residue management than the period itself. Thus, the most significant results were found in no sterilized soil and residue incorporation. The soil solution showed considerable changes in *B. pilosa* emergence only during the last sampling collections, especially in oilseed radish and hairy vetch. The results, in this case, were more significant when germitest paper was used than sand as substrate. In relation to the compounds, it was detected the presence of tannins, steroids and triterpenoids, derived from coumarin, spumidic saponin and alkaloids. So, based on the observed positive changes, it is recommended to use these cover crops in crop rotation with soybeans to reduce *B. pilosa* weed.

**Keywords:** allelochemicals; crop rotation; weeds.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
3.1 Sistema plantio direto e rotação de culturas.....	4
3.2 Plantas de cobertura .....	6
3.3 Plantas invasoras.....	9
3.4 Alelopatia .....	11
3.4.1 Biossíntese e natureza dos aleloquímicos .....	13
3.4.2 Principais classes de compostos químicos alelopáticos .....	15
3.4.2.1 Terpenos.....	16
3.4.2.2 Compostos fenólicos.....	17
3.4.2.3. Compostos nitrogenados .....	17
3.4.3 Mecanismos de ação e funções dos aleloquímicos.....	19
3.4.4 Determinação das potencialidades alelopáticas.....	20
3.4.4.1 Fitoquímica .....	21
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
4.1 Caracterização da área experimental.....	29
4.2 Manejo do resíduo vegetal de plantas de cobertura de inverno sobre picão preto .....	31
4.2.1 Implantação e coleta do material botânico .....	31
4.2.2 Germinação de sementes e desenvolvimento inicial de planta sob solução do solo extraída de área cultivada com plantas de cobertura .....	32
4.2.3 Porcentagem de inibição de emergência e desenvolvimento inicial de picão preto em vaso.....	33
4.2.4 Influência da umidade do solo sobre a emergência e desenvolvimento inicial de picão preto .....	34
4.2.5 Liberação de aleloquímicos pela permanência do material vegetal sobre o solo.....	35

4.3	Prospecção fitoquímica de compostos produzidos por plantas de cobertura de inverno com potencial alelopático.....	35
4.3.1	Extrações exautivas.....	35
4.3.2	Prospecção preliminar dos grupos químicos.....	36
4.3.2.1	<i>Fingerprint</i> .....	36
4.3.2.2	<i>Screen fitoquímico</i> .....	37
4.3.3	Bioensaio de germinação.....	38
4.3.4	Isolamento das substâncias químicas.....	39
4.3.5	Identificação das substâncias químicas.....	43
4.4	Delineamento experimental e análise estatística.....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
5.1	Manejo do resíduo vegetal de plantas de cobertura de inverno sobre picão preto.....	45
5.1.1	Germinação e desenvolvimento de planta sob solução do solo extraída de área cultivada com plantas de cobertura.....	45
5.1.2	Porcentagem de inibição de emergência e desenvolvimento inicial de plantas invasoras em vaso.....	60
5.1.3	Influência da umidade do solo sobre emergência e desenvolvimento inicial de picão preto.....	65
5.1.4	Liberação de aleloquímicos pela permanência do material vegetal sobre o solo.....	70
5.2	Prospecção preliminar dos grupos químicos.....	81
5.2.1	<i>Fingerprint</i> .....	81
5.2.2	<i>Screen fitoquímico</i> .....	82
5.3	Prospecção fitoquímica de compostos produzidos por plantas de cobertura de inverno com potencial alelopático.....	85
5.3.1	Bioensaio de germinação.....	85
5.3.2	Identificação das substâncias químicas.....	86
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>88</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>91</b>

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** Características químicas do solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm. Catanduvas – PR (2011) ..... 30
- Tabela 2** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de germinação (VG) de sementes de picão preto em substrato areia umedecidas com solução do solo, coletada aos 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) ..... 53
- Tabela 3** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de emergência (VG) de sementes de picão preto, em substrato areia umedecidas, com solução do solo, coletada 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) ..... 53
- Tabela 4** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de germinação (VG) de sementes de picão preto, em substrato areia, umedecidas com solução do solo, coletada 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) ..... 54
- Tabela 5** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de germinação (VG) de sementes de picão preto, em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) ..... 55
- Tabela 6** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) ..... 56
- Tabela 7** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) ..... 57

<b>Tabela 8</b> Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) .....	58
<b>Tabela 9</b> Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012) .....	59
<b>Tabela 10</b> Porcentagem de inibição de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE) de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo esterilizado. Cascavel, PR (2013).....	65
<b>Tabela 11</b> Porcentagem de inibição de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE) de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo não esterilizado. Cascavel, PR (2013).....	66
<b>Tabela 12</b> Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo esterilizado. Cascavel, PR (2013) .....	68
<b>Tabela 13</b> Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo não esterilizado. Cascavel, PR (2013) .....	69
<b>Tabela 14</b> Screen fitoquímico de alguns grupos de compostos secundários em extratos hexânico, acetato de etila e metanólico de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Belém, PA (2012) .....	83

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Produtos químicos alelopáticos e prováveis vias de síntese (Fonte: Rice, 1984).....	19
<b>Figura 2</b> Prováveis vias seguidas por compostos aleloquímicos, desde a liberação pela planta doadora até causar o efeito alelopático na planta receptora (Fonte: Rezende et al., 2003).....	21
<b>Figura 3</b> Esquema de utilização de bioensaios para fracionamento, purificação e identificação de aleloquímicos (Fonte: Pires; Oliveira, 2001). ....	22
<b>Figura 4</b> Fluxograma com as etapas realizadas durante a fase experimental. ....	28
<b>Figura 5</b> Representação da localização geográfica do município de Catanduvas, Paraná, Brasil. (Fonte: Google imagens, 12 de março de 2013). ....	29
<b>Figura 6</b> Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) mensais nos anos 2011 e 2012, obtidas na Estação Meteorológica do SIMEPAR, com destaque das datas de coleta de material e implantação e manejo das culturas. Catanduvas-PR.....	31
<b>Figura 7</b> Plantas de cobertura a) Nabo forrageiro b) Ervilhaca peluda c) Aveia preta.....	32
<b>Figura 8</b> Extrator de solução de solo.....	32
<b>Figura 9</b> Extração exaustiva das plantas de cobertura. ....	36
<b>Figura 10</b> Procedimento para isolamento e purificação dos compostos contidos na parte aérea de aveia preta. ....	39
<b>Figura 11</b> Procedimento para isolamento e purificação dos compostos contidos na parte aérea de ervilhaca peluda.....	40
<b>Figura 12</b> Procedimento para isolamento e purificação dos compostos contidos na parte aérea de nabo forrageiro.....	41
<b>Figura 13</b> a) Coluna cromatográfica por via úmida (CCVU) b) Câmara escura, com luz ultravioleta 254 nm c) Cromatografia de camada delgada comparativa (CCDC).....	42



- Figura 14** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)..... 45
- Figura 15** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)..... 46
- Figura 16** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)..... 47
- Figura 17** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)..... 48
- Figura 18** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)..... 49
- Figura 19** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)..... 50
- Figura 20** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> , coletada aos 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).....	51
<b>Figura 21</b> a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo coletada aos 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).....	52
<b>Figura 22</b> a) Porcentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob quantidades de resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Cascavel, PR, 2011. ....	61
<b>Figura 23</b> a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob quantidades de resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Cascavel, PR, 2011. ....	63
<b>Figura 24</b> a) Porcentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, incorporados ao solo não esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).....	71
<b>Figura 25</b> a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, incorporados ao solo não esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013). ....	72
<b>Figura 26</b> a) Porcentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo não esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013). ....	74
<b>Figura 27</b> a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo não	

esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013). .....	75
<b>Figura 28</b> a) Porcentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, incorporados ao solo esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013). .....	77
<b>Figura 29</b> a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, incorporados ao solo esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013). .....	78
<b>Figura 30</b> a) Porcentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013). .....	79
<b>Figura 31</b> a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo esterilizado, avaliados em cinco periodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013). .....	80
<b>Figura 32</b> Extrato hexânico (a), acetato de etila (b) e metanólico (c) de ervilhaca peluda. Belém, PA (2012).....	81
<b>Figura 33</b> Extrato hexânico (a), acetato de etila (b) e metanólico (c) de aveia preta. Belém, PA (2012).....	82
<b>Figura 34</b> Extrato metanólico de aveia preta (detalhe aproximado do pico de absorção). Belém, PA (2012).....	82
<b>Figura 35</b> Porcentagem de inibição de germinação de sementes de picão preto e guanxuma sob extratos de hexano, acetato de etila e metanol das espécies de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Cascavel, PR (2012).....	85

**Figura 36** Espectros de RMN C ou H de triterpenos em amostras de extrato de acetato de etila de ervilhaca peluda. Belém, PA (2013)..... 86

## 1 INTRODUÇÃO

O estado do Paraná destaca-se pela produção de soja e é o segundo no Brasil com maior a produção dessa cultura (CONAB, 2013). No atual modelo de sistema de produção, aspectos relacionados ao manejo de solo são decisivos para a produtividade. No contexto de desenvolvimento da agricultura no Estado, a cobertura vegetal destaca-se como facilitadora da manutenção dos aspectos biológicos, associados às propriedades biogeoquímicas e também, diretamente, ao desenvolvimento de cultivos futuros, o que reflete positivamente na produtividade e longevidade dos sistemas de exploração.

Entretanto, o uso indiscriminado de defensivos agrícolas na agricultura vem deteriorando a qualidade dos agroecossistemas, o qual resulta em problemas ambientais e ameaças à saúde humana, tanto de agricultores quanto de consumidores.

A agricultura deve basear-se em conhecimentos científicos que permitam a exploração racional dos recursos disponíveis e a preservação dos recursos naturais, pois leva em consideração tanto os aspectos sociais e econômicos quanto ambientais. E, cabe à ciência encontrar alternativas, não apenas no sentido da produtividade e da necessidade de gerar alimentos, mas principalmente, da qualidade de vida.

Neste sistema agrícola, com os grandes avanços tecnológicos, existe ainda a necessidade de estabelecimento de novos paradigmas de controle de plantas invasoras, os quais sejam, ao mesmo tempo, eficientes no controle dessas plantas, resguardem os interesses da sociedade e não contaminem os recursos naturais (SOUZA et al., 2010).

Neste contexto, a rotação de culturas possui atributos indispensáveis, associada à inserção de espécies de cobertura vegetal como aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), os quais possuem características capazes de auxiliar no desenvolvimento e produtividade da cultura subsequente, e nas condições ambientais (BITTENCOURT, 2008) e, adicionalmente, como já observado por Mauli et al. (2011), foram eficientes no controle das plantas invasoras na cultura da soja.

Dentre as inúmeras vantagens desse sistema de manejo de solo, podem-se destacar: grande produção de massa verde, descompactação do solo, aporte de nitrogênio, controle de invasoras, pragas e doenças, dentre outras.

Assim, o aprofundamento em pesquisas sobre essas plantas de cobertura, o manejo dos seus resíduos e os compostos produzidos por elas vêm ao encontro da necessidade de que se ampliem os conhecimentos sobre sua interação e manipulação, para que possam ser utilizados eficientemente na agricultura, a fim de diminuir ou até mesmo suspender o uso de

herbicidas.

A elucidação do comportamento das plantas utilizadas, além do histórico da área e das condições edafoclimáticas e fitossanitárias visam auxiliar ao agricultor a planejar em médio e longo prazo, adequadamente, a rotação de culturas, dentro das premissas do sistema plantio direto, sem prescindir da produtividade e lucratividade agrícola, além da manutenção da biodiversidade e proteção do meio ambiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Ampliar os conhecimentos sobre o manejo das plantas de cobertura utilizadas na região Oeste do Paraná, a fim de demonstrar suas vantagens no controle de plantas invasoras da cultura da soja e incentivar o uso do sistema plantio direto de forma adequada. Além disso, isolar, identificar e caracterizar os compostos relacionados ao efeito alelopático das espécies de cobertura vegetal aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ✓ Implantar cultivos de cobertura em área agrícola para obtenção de material para pesquisa;
- ✓ Identificar os principais grupos químicos presentes nas plantas;
- ✓ Isolar e identificar os compostos alelopáticos;
- ✓ Verificar o potencial alelopático da solução do solo cultivado com as plantas de cobertura sobre germinação e desenvolvimento inicial de picão preto;
- ✓ Determinar a porcentagem de inibição de germinação e desenvolvimento inicial de picão preto sob quantidades de resíduo vegetal;
- ✓ Avaliar a influência da umidade do solo na liberação dos aleloquímicos durante a decomposição do material vegetal;
- ✓ Avaliar a liberação de aleloquímicos pela permanência do material vegetal sobre o solo, com e sem incorporação.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Sistema plantio direto e rotação de culturas

O sistema plantio direto predomina no Sul do Brasil e se constitui na implantação de culturas em solo não revolvido e protegido por cobertura morta, proveniente de restos de culturas e coberturas vegetais, no qual a decomposição dos resíduos libera compostos orgânicos, que podem influenciar no desenvolvimento das plantas invasoras, além das culturas sequenciais (EMBRAPA, 2004).

Segundo Christoffoleti et al. (2007), esse sistema é baseado na cobertura da superfície do solo com resíduos de plantas com o mínimo de distúrbio nas camadas superiores do solo. Essa prática traz ainda vantagens como a economia de insumos, redução no trânsito de maquinário, maior conservação de umidade no solo, tolerância a períodos de estiagem, aproveitamento da água disponível pelas plantas, melhoria na porosidade do solo e redução do impacto ambiental gerado pelo revolvimento do solo. Isso leva à maior probabilidade de obtenção de rendimentos mais elevados (EMBRAPA, 2004; PLATAFORMA PLANTIO DIRETO, 2013).

O sistema plantio direto surgiu no estado do Paraná em 1972, cuja seleção de culturas, assim como sua sucessão, se adequou à região. Está baseado nos princípios de maximização de cobertura do solo, com a finalidade de controlar a erosão e minimizar doenças, quem se encontravam intensificados pela utilização do sistema convencional de plantio (MOLIN, 2008; PLATAFORMA PLANTIO DIRETO, 2013).

De acordo com Scaléa (2007) e Muzzili (2006), esse sistema de plantio necessita que o produtor siga adequadamente seus fundamentos, os quais implicam na interação de práticas biológico-culturais com práticas mecânico-químicas. O mesmo pressupõe alguns requisitos, tais como condicionamento e adequação prévios do terreno para superar problemas de natureza física (compactação) ou química (correção da acidez e fertilidade) antes da implantação do sistema.

Além disso, revolvimento mínimo do solo, apenas nos sulcos ou covas de semeadura; uso diversificado da terra pela rotação de culturas comerciais com plantas de cobertura ou pela integração lavoura-pecuária para formar e manter cobertura vegetal sobre a superfície; e, adoção de métodos integrados para controle de plantas invasoras, pragas e doenças, em que o efeito supressivo provocado pelos restos vegetais mantidos em superfície e pela diversificação de culturas irá complementar ou até mesmo substituir processos de controle químico (SCALÉA, 2007; MUZZILI, 2006).



No Brasil, 70% da produção de grãos estão baseados no sistema plantio direto. Em ordem decrescente de área agrícola, os países que adotam a técnica são Argentina (55%) e Estados Unidos (21%). Estima-se que o plantio direto esteja presente em mais de 90 milhões de hectares em todo o Planeta (AGROSOFT, 2013).

Isso pode ser realizado com o emprego de espécies competitivas, de hábitos contrastantes e acompanhado de técnicas adequadas de manejo. Além disso, a rotação de culturas incrementa o número de inimigos naturais, logo, induz ao equilíbrio. O desempenho econômico, ambiental e social da agricultura paranaense é bom, mas pode melhorar com o adequado planejamento do sistema de produção por rotação de culturas (SANTOS; REIS, 2003; EMBRAPA, 2013).

A monocultura ou mesmo as sucessões de cultivos promovem, ao longo do tempo, alterações negativas no processo produtivo por causar desequilíbrios no sistema agrícola (GONÇALVES et al., 2007). A prática de rotação de culturas pode ser importante no controle de pragas, doenças e plantas invasoras assim também a forma de manejo da fertilidade do solo, pela capacidade de reciclar os nutrientes minerais da camada arável e os que tenham lixiviado para horizontes abaixo dela. Entretanto, deve-se assumir a preocupação com a produção de resíduos vegetais a partir de sistemas de rotação de culturas economicamente viáveis, considerando as diversas regiões climáticas do País, pela estabilidade do sistema (BORKERT et al., 2003).

O modelo de sistema produtivo utilizado principalmente nas regiões Norte e Oeste do Estado do Paraná tem contribuído para o aumento da vulnerabilidade da agricultura às condições de estresse hídrico. A rotação de culturas é essencial para o uso eficiente do sistema plantio direto na cultura da soja, para utilizar espécies vegetais para cobertura do solo, amenizar os problemas nas espécies destinadas à produção de grãos bem como interromper o ciclo biológico das plantas invasoras mais comuns na cultura, por exemplo (SANTOS; REIS, 2003; EMBRAPA, 2013).

Busca-se o manejo dos agroecossistemas para que sejam produtivos, competitivos e sustentáveis em longo prazo. Assim, são necessários sistemas que integrem e contribuam para maior biodiversidade e diversificação da produção para equilibrar uso, reciclagem e aproveitamento de nutrientes bem como manutenção e recuperação das características do solo (CALEGARI, 2008).

Nesse sentido, a rotação de culturas é prática fundamental para aumentar a estabilidade da produção das culturas frente às variações climáticas comumente observadas no Paraná, não apenas pela melhoria da qualidade do solo e pela produção de cobertura, mas também por proporcionar a diversificação de cultivares e o escalonamento da época de semeadura (FRANCHINI et al. 2011).

A rotação de culturas é o uso alternado, no tempo, de espécies vegetais que deixam efeitos residuais positivos para o solo e para a cultura em sucessão, como os sistemas

radiculares diferentes encontrados em poáceas e fabáceas. Visa aumentar a diversidade de um agroecossistema, a qual, em síntese, é responsável pelo aumento da estabilidade ambiental (GONÇALVES et al.; 2007).

Para que a capacidade produtiva do solo também seja aumentada, o processo de rotação deve considerar, além das espécies comerciais, aquelas destinadas à cobertura do solo, que produzam grandes quantidades de biomassa, cultivadas individualmente ou em consórcio (EMBRAPA, 2004).

A diversidade de espécies de cobertura associada ao sistema plantio direto, sucessão, rotação e consórcio de cultivos condiciona o manejo eficiente do solo para a máxima exploração de seu potencial em propiciar condições favoráveis ao desenvolvimento dos cultivos. Em rotação de culturas, quanto maior a diversificação de espécies maior será a quantidade de nutrientes reciclados e disponibilizados para a atividade produtiva econômica (BORKERT et al., 2003).

A prática de rotação de culturas tende a ser contemplada em um sistema de produção, em que a sequência das culturas deve ser cuidadosamente determinada, de forma planejada em curto, médio e longo prazo. Leva em consideração a economicidade, a época de semeadura e os problemas fitossanitários e de plantas invasoras (CARVALHO et al., 2004). De acordo com os autores, é prática em que se procura preservar a qualidade do ambiente sem prescindir de produtividades elevadas das culturas e do retorno econômico, quando inseridas em sistema de cultivos adequado.

### **3.2 Plantas de cobertura**

As plantas de cobertura permitem elaborar um esquema de rotação de culturas, o qual consiste em se alternar, no mesmo local, culturas em sequência regular e lógica. Assim, compreende a distribuição sistemática das culturas a serem implantadas a cada ano, conforme os objetivos a que se destinam (SOUZA; PIRES, 2002).

A introdução de plantas de cobertura na rotação de culturas preserva a qualidade do ambiente, sem prescindir de produtividades elevadas das culturas comerciais e do retorno econômico. Espécies produtoras de grande quantidade de palha e raiz favorecem o sistema plantio direto e a reciclagem de nutrientes; estabelecem o aumento da proteção do solo contra a ação de agentes climáticos e promovem a melhoria nos seus atributos físicos, químicos e biológicos (EMBRAPA, 2013).

Nos atributos físicos, destacam-se melhorias na agregação do solo, capacidade de retenção de água, consistência, densidade, infiltração de água, porosidade, aeração e condutividade elétrica. Nos químicos, o aumento da matéria orgânica, da disponibilidade de macro e micronutrientes e da CTC efetiva do solo; diminuição nos teores de alumínio

trocável, dentre outros. Os efeitos biológicos observados são aumento na atividade microbiana do solo, atenuação da variação térmica, diminuição da infestação de plantas invasoras, dentre outros (CALEGARI et al., 1992; ARANTES, CREMON; LUIZ (2012)).

Entretanto, o uso inadequado das plantas de cobertura pode causar grandes problemas tanto para a planta quanto para o solo, tais como dificuldade de aplicação de fertilizantes, aumento ou redução do pH, aumento do teor de oxigênio, excesso de umidade, favorecimento de alguns patógenos, elevação da temperatura do solo e impedimento da emergência de plântulas (PENTEADO, 2007).

Segundo Gonçalves et al. (2007), é preciso dar preferência às espécies mais adaptadas à região, as quais possam ser cultivadas entre as culturas comerciais, e, seria interessante também que não se comportassem como invasoras e pudessem ser utilizadas como forrageiras ou produtoras de grãos.

A adequada inserção de espécies de plantas de cobertura, nos diferentes sistemas de produção regional, constitui-se em uma prática extremamente importante. A heterogeneidade promovida contribui para maior biodiversidade e, conseqüentemente, cria condições mais favoráveis ao desenvolvimento do maior número de inimigos naturais e maior equilíbrio do meio, seja quanto aos organismos ou quanto aos nutrientes do solo. Condições essas favoráveis ao crescimento e à produção final das culturas (COLOZZI FILHO; ANDRADE, 2006).

Além disso, muitas plantas utilizadas como cobertura possuem substâncias químicas que, quando liberadas no ambiente, podem interferir no crescimento e desenvolvimento de outras na vizinhança. A essa interferência dá-se o nome de alelopatia (RICE, 1974).

De acordo com Mauli et al. (2011), o consórcio entre as espécies aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro produziu maior quantidade de massa fresca e seca e deve ser recomendado para rotação com a cultura da soja. A maior quantidade de resíduos vegetais produzida pode estar relacionada à menor incidência de invasoras; permite liberação de maior quantidade de aleloquímicos e auxilia no controle da infestação.

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) pertence à família Poaceae (Gramínea), com bom desenvolvimento no outono, ciclo de 100 a 140 dias e produção normal de massa seca de 10 a 15 t ha<sup>-1</sup>. Possui grande capacidade de perfilhamento, massa verde rica em nutrientes, principalmente potássio e ainda melhora as condições físicas e químicas do solo. Tem papel importante no sistema de produção de grãos, tornando-se alternativa viável para o cultivo de inverno e em sistemas de rotação de culturas (KICHEA, MIRANDA, 2000; PENTEADO, 2007).

De acordo com a Embrapa (2004), a aveia preta apresenta boa quantidade de resíduos culturais, ajuda na agregação das partículas de solo e ainda destaca-se no controle de fungos e relação carbono/nitrogênio (C/N). Segundo Kichea e Miranda (2000), pode ser usada em rotação de culturas sem restrições por parte da cultura antecessora e sem

provocar problemas para a cultura seguinte.

Associada a leguminosas como a ervilhaca, a aveia proporciona excelentes condições do solo para as plantas subsequentes. Além disso, destaca-se, dentre as coberturas de inverno, pela alta produção de matéria seca e a alta relação C/N, pois mantém o solo coberto por maior período de tempo, em função da menor redução no volume de massa, ocasionado pela lenta decomposição microbiológica dos resíduos culturais. Também apresenta efeito alelopático sobre várias plantas invasoras (FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

A ervilhaca peluda (*Vicia vilosa* Roth) é uma fabácea (família Fabaceae) que se adaptou ao clima temperado ou altitude e desenvolve-se no período de outono/inverno/primavera. Tem hábito de crescimento prostrado e tolera solos de baixa fertilidade e com problemas de acidez, ou seja, pH baixo e presença de alumínio. Seu ciclo é longo e floresce entre os 140 e 160 dias após a semeadura. Produz grande quantidade de massa, em torno de 4 a 6 toneladas de massa seca por hectare, com baixa relação C/N (FORMENTINI et al., 2008).

Geralmente é utilizada como forragem de inverno ou como adubação verde. Pode ser consorciada com aveia, centeio, triticale, ervilha forrageira, nabo forrageiro, dentre outras e supre o equivalente a 80-120 kg de nitrogênio para o milho plantado em sucessão. Ainda apresenta importante efeito no controle de plantas invasoras (FORMENTINI et al., 2008).

De acordo com Malavolta; Pimentel-Gomes e Alcarde (2002), as leguminosas podem fixar, em média, de 100 a 125 kg de nitrogênio por hectare. Entretanto, deve-se considerar que nem todo o nitrogênio fica à disposição da cultura subsequente, mas acredita-se que o aproveitamento atinja 65%, aproximadamente.

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) pertence à família Brassicaceae, a qual apresenta elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. É uma planta muito vigorosa e, em 60 dias, pode cobrir aproximadamente 70% do solo. O florescimento ocorre aos 80 dias após a semeadura e atinge a plenitude aos 120 dias. Devido ao rápido crescimento, compete com plantas invasoras, logo, diminui os gastos com herbicidas. Possui sistema radicular pivotante, bastante profundo; pode atingir mais de 2 m e atuar no sentido de descompactar e oxigenar o solo (EMBRAPA, 2004; PENTEADO, 2007).

Possui grande quantidade de folhas com baixa relação C/N, as quais se decompõem rapidamente. Apenas os talos permanecem sobre o terreno, os quais possuem relação C:N mais elevada (> 30:1) (FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

Heinz *et al.* (2011) encontraram produção de massa seca da parte aérea de 5.586 kg ha<sup>-1</sup> para o nabo forrageiro, no dia do manejo das plantas de cobertura. O nabo forrageiro é bem aceito por parte dos agricultores por não ser hospedeiro comum dos

fitopatogénos das demais espécies cultivadas (SANTOS, 2003), mas pode também ser empregado no consórcio com aveia, centeio e ervilhaca. É recomendado, principalmente, como pré-cultura de algodão, feijão, milho e soja, em sistemas de rotação de culturas. A produção de massa fresca e seca pode variar de acordo com o local, ano de cultivo, densidade de semeadura, entre outros aspectos. Seu uso vem sendo ampliado, com destaque para os grãos, considerados excelente fonte de matéria-prima para biocombustível (PENTEADO, 2007).

A taxa de decomposição dos resíduos de plantas ocorre em função da composição química da relação C:N e da atividade de microrganismos. Quanto maior for a relação C:N, mais lenta é sua decomposição. Por exemplo, material vegetal com relação maior do que 30:1 é decomposto mais lentamente, enquanto materiais com relação menor do que 30:1 decompõem-se mais rapidamente (SALTO, HERNANI, FONTES, 1998).

Trezzi e Vidal (2004) afirmaram que a capacidade de supressão de plantas invasoras por culturas de cobertura é bastante conhecida e explorada, embora seja pouco pesquisada a importância relativa dos efeitos físicos e alelopáticos sobre esse fenômeno.

Tokura e Nóbrega (2006) avaliaram o potencial alelopático de cultivos de cobertura vegetal de *Triticum* spp, *Avena strigosa*, *Pennisetum glaucum*, *Raphanus sativus* e *Brassica napus* sobre o desenvolvimento de plantas infestantes. As coberturas vegetais que apresentaram melhor controle do total de plantas infestantes presentes na área experimental, incluindo aquelas com reconhecido potencial alelopático, foram *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Raphanus sativus* e *Pennisetum glaucum*.

Uchino et al. (2009) estudaram o efeito das plantas de cobertura centeio e ervilhaca sobre plantas invasoras nas culturas de soja, milho e batata. Concluíram que, as plantas invasoras podem ser suprimidas de forma eficaz pelas coberturas, sem reduções de produtividade das culturas principais.

### 3.3 Plantas invasoras

Devido à importância e à magnitude da cultura da soja no Brasil, é imprescindível aperfeiçoar a tecnologia de produção disponível para reduzir ao máximo as perdas pela competição com as plantas invasoras. Assim, informações que esclareçam o momento correto para o controle dessas plantas podem contribuir para atingir esse objetivo (CONSTANTIN et al., 2007).

Na bibliografia, existem também relatos de efeito alelopático das plantas invasoras sobre as cultivadas. Efeito esse já comprovado em estudos com extratos aquosos ou alcoólicos sobre algumas espécies de plantas cultivadas e também de pastagens (SOUZA FILHO, 2006). É, então, mais um fator para que as plantas invasoras sejam controladas nas

culturas agrícolas.

Concomitante à necessidade de aumento na produção agrícola, verifica-se a necessidade de reduzir a utilização de controle químico no controle integrado de plantas invasoras. Seja em virtude dos custos não compensados pelo ganho em desempenho da cultura principal, seja pela preocupação sobre os possíveis impactos dos compostos, utilizados na composição dos herbicidas, sobre os recursos naturais e organismos, expostos direta ou indiretamente (DOYLE, 1997; WEIH et al., 2008; RAINS, OLSON; LEWIS, 2011).

A combinação do uso do sistema de plantio direto, rotação de culturas, densidade de semeadura adequada, fertilização racional das culturas e uso adequado de culturas de cobertura é decisiva no manejo de espécies espontâneas em sistemas idealizados visando à sua perpetuação ao longo do tempo, sem comprometer futuras gerações (BLACKSHAW et al., 2008; POPA et al., 2008).

Os métodos usuais de controle de plantas invasoras não atendem mais às atuais e futuras exigências da sociedade em relação à preservação dos recursos naturais e da qualidade de vida. A alternativa para essa questão seriam os metabólitos secundários produzidos pelas plantas, que apresentam pouco risco para o meio ambiente e para os interesses da sociedade (SOUZA FILHO; PEREIRA; BAYMA, 2005).

O picão preto (*Bidens pilosa*) é uma planta invasora anual, pertencente à família Asteraceae, que se reproduz por sementes e é considerada como umas das maiores densidades populacionais em culturas agrícolas no Brasil. Possui caule ereto, liso ou levemente piloso, de cor verde. As folhas têm margens serrilhadas e pilosidade variável. A flor tem pétalas brancas e os frutos são aquênios de coloração negra fosca. Em uma das extremidades, há aristas pontiagudas, geralmente em número de três, essenciais para dispersão da espécie (GAZZIERO et al., 2006).

É uma espécie que apresenta possível potencial alelopático, como observado por Rabêlo et al. (2008), logo, é mais um motivo para ser controlada em culturas comerciais.

A guanxuma (*Sida rhombifolia*), pertence à família Malvaceae, é uma planta invasora anual, subarborescente e ereta. A raiz principal é pivotante, as folhas são simples e alternadas e as flores apresentam coloração amarelada. As unidades de dispersão são os frutos e as sementes que apresentam colorações castanho clara e castanho escura (GAZZIERO et al., 2006).

Rosa et al. (2011), estudando o efeito de plantas de cobertura, concluíram que extratos da espécie *Mucuna deeringiana* afetaram negativamente a germinação de sementes de guanxuma. Também Moraes et al. (2010) observaram que plantas de cobertura, quando incorporadas ao solo, apresentam, de modo geral, redução da emergência de picão preto.

Isik et al. (2009) confirmaram que as espécies ervilha, azevém, centeio e ervilhaca podem ser usadas para reduzir a emergência de plantas invasoras, principalmente

*Capsicum annuum* L. (pimentão), além de melhorar a eficácia dos sistemas de manejo, a fertilidade do solo e a produtividade da cultura subsequente.

SOUZA et al. (2010) investigaram o potencial inibitório de extratos aquosos de folhas e cascas de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (guarantã) na germinação e no crescimento inicial de plântulas de alface e observaram que os efeitos negativos dos extratos de folhas foram mais pronunciados do que da casca e os efeitos de ambos foram positivamente correlacionados com sua concentração.

### 3.4 Alelopatia

O uso de plantas com propriedades alelopáticas comprovadas é alternativa promissora na agricultura, principalmente no controle de plantas invasoras presentes em culturas comerciais. A utilização de cobertura vegetal reduz significativamente a intensidade de infestação por plantas invasoras e modifica também a composição da população infestante local. Dessa forma, quando são utilizadas plantas de cobertura adequadas às necessidades físicas, químicas e biológicas do solo, ao produtor e à região, pode-se reduzir ou até mesmo dispensar a utilização de herbicidas. Mas, apesar de ser alternativa promissora no controle de plantas invasoras, é pouco pesquisada (SILVA, 2012).

A alelopatia é a capacidade de as plantas produzirem substâncias químicas que podem influenciar outras, favorável ou desfavoravelmente, quando liberadas no ambiente (RICE, 1977). A produção desses aleloquímicos pode ocorrer em todos os órgãos das plantas. A liberação dos aleloquímicos pode ser por volatilização, exsudação pelas raízes, lixiviação e ainda, por decomposição dos resíduos (ALMEIDA, 1988; RICE, 1974).

A volatilização é um processo comum nas plantas aromáticas, embora nem todas as plantas aromáticas estejam envolvidas em mecanismo de alelopatia. Na exsudação radicular, os exsudados são sintetizados nas plantas e liberados para o solo pelas raízes vivas. A lixiviação é entendida como a remoção de substâncias químicas de plantas vivas ou mortas, via ação das chuvas, orvalho e neblina (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009; FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

E a decomposição dos resíduos, processo em que os componentes químicos dos organismos são liberados para o ambiente durante a decomposição e cujos produtos são frequentemente adicionados ao solo. Neste processo, está envolvida a participação dos microrganismos presentes no solo, os quais agem sobre os polímeros presentes nos tecidos, levando à liberação dos compostos tóxicos (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009; FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

Os compostos alelopáticos afetam mais de uma função no organismo atingido, dentre os quais é possível mencionar: redução na absorção de nutrientes, alteração nos

hormônios de crescimento, inibição da fotossíntese, alterações no processo respiratório, a fim de acelerar ou diminuir a respiração, efeitos na síntese de proteínas, alterações na permeabilidade da membrana e inibição da atividade enzimática (MONTEIRO; VIEIRA, 2002).

Se uma planta pode reduzir o crescimento de plantas próximas pela liberação de substâncias químicas no ambiente a partir de folhas, raízes e resíduos em decomposição, isto pode aumentar seu acesso à luz, à água e aos nutrientes e, assim, proporcionar meios para adaptação evolutiva. Embora o fenômeno seja de difícil comprovação nas interações planta-planta, suas potenciais aplicações na agricultura têm atraído grande interesse, uma vez que reduções na produção vegetal, causadas por plantas invasoras ou resíduos de culturas anteriores podem, em alguns casos, ser atribuídas à alelopatia (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Essa capacidade das plantas de produzir substâncias alelopáticas é diferente entre as espécies, da mesma forma que a sua suscetibilidade aos aleloquímicos liberados por outras plantas (SOUZA FILHO, 2006).

Essa descoberta vem de encontro à demanda da sociedade por ambientes livres de defensivos agrícolas e desenvolvimento de produtos mais naturais para consumo, e conseqüentemente, com menor risco de toxicidade (ALVES, MULLER; SOUZA FILHO, 2002).

Weih et al. (2008) destacaram a possibilidade de utilizar a atividade alelopática como alternativa à utilização do controle químico para supressão de plantas invasoras no agroecossistema. Assim, o conhecimento desses prováveis efeitos permite seu aproveitamento em sistemas de rotação ou consorciação com culturas, no contexto do manejo integrado de plantas invasoras. O uso de plantas de cobertura pode suprimir plantas invasoras mais rapidamente que em solos com pousio natural (CHIKOYE et al., 2008).

Alguns compostos alelopáticos já foram identificados em algumas espécies utilizadas na região Oeste do Paraná, como é o caso da aveia preta, ervilhaca e do nabo forrageiro. Entretanto, existem poucas informações disponíveis a respeito da identificação de substâncias químicas envolvidas em atividades alelopáticas observadas em análises com extratos brutos (MORÃO JUNIOR; SOUZA FILHO, 2010). E, quando existem, geralmente abordam extração, identificação e demonstração dos seus efeitos em laboratório. Mas, esses aleloquímicos interagem no ambiente e estão sujeitos ao processo de degradação, sujeitos ao tempo, pela lenta liberação no solo, e pelo espaço, pela interação com o ambiente (VIDAL; BAUMAN, 1997).

Existem substâncias secundárias produzidas pelas plantas que fornecem grande diversidade de estruturas químicas, as quais apresentam oportunidades para que se possam produzir novos defensivos, a base de produtos naturais. Logo, este estudo é importante para controlar, por exemplo, espécies de plantas invasoras que manifestam



resistência aos herbicidas já existentes no mercado (ALVES, MULLER; SOUZA FILHO, 2002).

### 3.4.1 Biossíntese e natureza dos aleloquímicos

Distingue-se no metabolismo das plantas o metabolismo primário e secundário para fins didáticos. O metabolismo primário refere-se ao processo de produção de compostos essenciais para a sobrevivência e manutenção do organismo. Os metabólitos secundários, por outro lado, não são essenciais à vida, mas definem a capacidade de sobrevivência de cada espécie no ecossistema em que se encontra. Os metabólitos secundários são produzidos por vias biossintéticas diferentes das usadas na produção dos metabólitos primários e estão relacionadas com o mecanismo de evolução das espécies. Logicamente, ambos se encontram interligados, uma vez que o metabolismo primário fornece as moléculas que servem de base para o metabolismo secundário (BRATT, 2000).

Durante muito tempo, os metabólitos secundários foram considerados sem função aparente a não ser no armazenamento de carbono em excesso, fixado durante o processo da fotossíntese, mas já se sabe que o mesmo desempenha papel fundamental no processo de desenvolvimento da planta e sua interação com o ambiente (KUTCHAN, 2001).

Cada espécie tem uma capacidade específica de produzir substâncias alelopáticas, assim como a natureza química e sua concentração, da mesma forma que sua suscetibilidade aos aleloquímicos liberados por outras plantas (FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000; BONANOMI et al., 2006). Muitos desses compostos são usados pelo homem das mais variadas formas, como uso farmacológico, aromatizantes, alucinógenos, venenos, pesticidas, etc. Neste contexto, alguns compostos podem fornecer novas fontes de substâncias químicas para uso na agricultura (ALVES, MULLER, SOUZA FILHO, 2002).

As plantas produzem e guardam muitos produtos do metabolismo secundário, liberados no ambiente e podem sofrer influência direta ou indiretamente de um conjunto de fatores como qualidade e intensidade de luz, comprimento do dia, deficiência mineral, idade dos órgãos da planta, genética, patógenos e predadores, dentre outros (ALVES, MULLER, SOUZA FILHO, 2002). E, tais fatores podem influenciar tanto a produção dos aleloquímicos na espécie doadora quanto a susceptibilidade aos mesmos na espécie receptora (PEDROL; GONZÁLEZ; REIGOSA, 2006).

As substâncias alelopáticas podem agir indireta ou diretamente. Quando indireta, as alterações ocorrem nas propriedades do solo, suas condições nutricionais, variação de populações e atividade dos microrganismos. Quando direta, agem sobre as membranas do vegetal receptor, portanto, permitem tanto a ligação quanto a penetração dos compostos nas células e, assim, interferem no metabolismo desses (SEIGLER, 2006).

Entretanto, o efeito das substâncias alelopáticas depende ainda do tipo de sistema de manejo considerado. No manejo plantio convencional, em que ocorre a incorporação de resíduos, as substâncias ficam diluídas nas camadas do solo e assim reduzem os efeitos. No manejo plantio direto, os compostos aleloquímicos ficam concentrados na camada superficial. São então mais pronunciados, porque os efeitos dependem da concentração dos aleloquímicos, assim, destaca-se neste sistema a expressão da lixiviação e exsudação de substâncias (ALMEIDA, 1991).

Também, segundo Khalid, Ahmad e Shad (2002), outra influência pode ser causada pela maturidade da planta que é adicionada ao solo. Quando os resíduos são de plantas jovens, as substâncias tóxicas são liberadas relativamente cedo durante a decomposição, entretanto, cessa também relativamente rápido. Todavia, quando os resíduos são de plantas mais desenvolvidas, é necessário longo período de decomposição para que as substâncias tóxicas sejam liberadas, mas a toxicidade permanece por maior tempo no solo.

É importante lembrar que os efeitos benéficos de uma planta sobre outra também estão relacionados à alelopatia, uma vez que um composto químico liberado pode ter efeito inibitório ou estimulante, dependendo da concentração do mesmo no ambiente, o que é importante para sua utilização (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

No solo, os compostos químicos podem interagir fortemente com os coloides e também sofrer transformações microbianas responsáveis por sua desativação ou desaparecimento. A biota do solo é formada por grande diversidade de organismos biologicamente ativos que incluem pequenos animais (nematóides, ácaros, minhocas e outros) e microrganismos (bactérias, fungos, algas e outros). Esses organismos vivem nas camadas mais superficiais do solo e são capazes de interagir entre si, com raízes de plantas e com o ambiente. Eles formam uma grande rede, responsável pela mineralização, ciclagem e absorção de nutrientes do solo, a fim de garantir o funcionamento dos agroecossistemas (COLOZZI FILHO; ANDRADE, 2006).

Contudo, o desaparecimento dessas substâncias é lento em solo estéril, o que evidencia o envolvimento dos microrganismos no processo. O potencial fitotóxico é, portanto, controlado pela atividade microbiana, responsável pelas transformações e a degradação de formas ativas no solo, ou mesmo sua ativação. Embora algumas etapas das transformações sejam abióticas, é evidente a participação dos microrganismos e essencial para a dinâmica e atividade das substâncias no solo. Algumas precisam ser transformadas para que se tornem aleloquímicas (PEDROL; GONZÁLEZ; REIGOSA, 2006; COLOZZI FILHO; ANDRADE, 2006).

Os microrganismos têm grande capacidade de converter, sintetizar, eliminar ou utilizar os metabólitos secundários como fonte de carbono e energia. Ao mesmo tempo em que os organismos liberam compostos bioativos dos resíduos em decomposição e contribuem para a eliminação dessas toxinas naturais do solo por meio da decomposição.

Os aleloquímicos podem ser imobilizados na fase sólida; estabelecem equilíbrio com a solução do solo e podem sofrer degradação ou até mesmo lixiviação, principalmente em solos arenosos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A concentração bioativa da substância e seus efeitos dependem da dinâmica e do manejo do ecossistema. Pode-se ter ausência de efeitos em concentrações baixas, efeitos positivos na medida em que se eleva a concentração, podendo atingir efeitos negativos a letais para a planta. Portanto, sempre que se pensar no poder intrínseco da natureza química da substância, deve-se considerar sua biodisponibilidade no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A presença e atividade dos organismos do solo são condicionadas por componentes físicos do solo (mineralogia, umidade, aeração e temperatura) e químicos (pH e fertilidade), que estão diretamente correlacionados com o manejo do solo e das culturas nos agroecossistemas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; COLOZZI FILHO; ANDRADE, 2006).

Por exemplo, quando o solo está seco, as bactérias iniciam um período de atividade menor ou temporariamente entram em dormência. Protozoários formam cistos dormentes e o número da maioria dos outros organismos declina. Quando o solo está saturado de umidade e anaeróbico (sem oxigênio), o número de bactérias denitrificantes aumenta. Oscilações térmicas e de umidade contribuem para diminuição dos microrganismos no solo (COLOZZI FILHO; ANDRADE, 2006).

O melhor entendimento da ocorrência e atividade dos microrganismos e compostos naturais nos processos do solo pode representar a base para o delineamento de sistemas de rotação de cultura e manejo dos resíduos mais eficientes e conservadores (PEDROL; GONZÁLEZ; REIGOSA, 2006).

### **3.4.2 Principais classes de compostos químicos alelopáticos**

A pesquisa fitoquímica tem por objetivo conhecer os constituintes químicos de espécies vegetais ou avaliar sua presença. Quando não se dispõe de muitas informações sobre a espécie de interesse, a análise fitoquímica preliminar pode indicar os grupos de metabólitos secundários relevantes (FALKENBERG; SANTOS; SIMÕES, 2003).

Os vegetais produzem grande diversidade de compostos orgânicos que parecem não ter função direta no seu crescimento e desenvolvimento. Esses compostos são conhecidos como metabólitos secundários, que em geral, apresentam papéis não reconhecidos diretamente nos processos de fotossíntese, respiração, transporte de solutos, translocação, síntese de proteínas, assimilação de nutrientes, diferenciação ou produção de metabólitos primários – carboidratos, proteínas, ácidos nucleicos e lipídeos (TAIZ; ZEIGER, 2013; RAVEN; EVERT, EICHHORN, 2001).

Os metabólitos secundários diferem dos primários por apresentarem distribuição restrita no reino vegetal, ou seja, alguns são restritos a uma espécie vegetal ou a um grupo de espécies relacionadas, enquanto os metabólitos primários são encontrados em todo o reino vegetal (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001).

Durante muito tempo, a importância adaptativa da maioria dos metabólitos secundários era desconhecida. Consideravam-se tais compostos como produtos finais do metabolismo, sem função aparente, ou mesmo resíduos. Sabe-se que muitos produtos desses têm funções ecológicas importantes como proteção das plantas contra herbívoros e microrganismos patogênicos; agem como atrativos para animais polinizadores e dispersores de sementes e também atuam como agentes na competição planta-planta e nas simbioses plantas-microrganismo (TAIZ; ZEIGER, 2013; KUTCHAN, 2001).

Assim, o metabolismo secundário é relevante na agricultura. Os mesmos compostos que aumentam o desempenho reprodutivo das plantas, ao agirem na defesa contra fungos, bactérias e herbívoros, podem também torná-las indesejáveis para alimentação dos seres humanos. Os metabólitos secundários são divididos em três grupos principais: terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados (TAIZ; ZEIGER, 2013).

#### 3.4.2.1 Terpenos

Os terpenos, ou terpenóides, constituem a maior classe de metabólitos secundários. A maioria das diversas substâncias desta classe é, em geral, insolúvel em água. Os terpenos são sintetizados a partir de acetil-CoA ou de seus intermediários glicolíticos. Certos terpenos têm funções bem caracterizadas no crescimento ou desenvolvimento vegetal. Por exemplo, as giberelinas, um grupo importante de hormônios vegetais, são diterpenos (TAIZ; ZEIGER, 2013; DUKE et al. 2000).

Os terpenos são toxinas e inibidores do forrageio para muitos insetos e mamíferos herbívoros, assim eles parecem exercer importantes funções de defesa no reino vegetal. Por exemplo, os piretróides naturais e sintéticos são ingredientes populares nos inseticidas comerciais, devido à sua baixa persistência no ambiente (TAIZ; ZEIGER, 2013; VIZZOTO, KROLOW; WEBER, 2010).

Muitas espécies produzem misturas de monoterpenos e sesquiterpenos voláteis, chamados óleos essenciais, os quais conferem aroma característico às suas folhas. Esses apresentam reconhecidas propriedades como repelentes de insetos, controle de agentes fitopatogênicos, pragas agrícolas e plantas invasoras (OOTANI et al., 2013).

As saponinas são esteroides e triterpenos glicosídeos, assim chamadas em decorrência de suas propriedades detergentes e emulsificantes (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001; DUKE et al. 2000).

### 3.4.2.2 Compostos fenólicos

As plantas produzem grande diversidade de compostos secundários que contêm um grupo fenol: um grupo hidroxila funcional em um anel aromático, classificadas como compostos fenólicos. Esses constituem um grupo quimicamente heterogêneo, com aproximadamente 10.000 compostos, alguns solúveis apenas em solventes orgânicos, outros são ácidos carboxílicos e glicosídeos solúveis em água e há, ainda, aqueles que são grandes polímeros insolúveis (TAIZ; ZEIGER, 2013; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001).

Devido à sua diversidade química, os compostos fenólicos apresentam diversidade de funções nos vegetais. Muitos agem como defesa contra herbívoros e patógenos, enquanto outros têm função como atrativo de polinizadores ou dispersores de frutos, na proteção contra a radiação ultravioleta, no suporte mecânico ou reduzem o crescimento de plantas competidoras adjacentes (CARVALHO; GOSMAN; SCHENKEL, 2003).

Os compostos fenólicos são sintetizados por diferentes rotas, razão pela qual constituem um grupo bastante heterogêneo do ponto de vista metabólico. Duas rotas metabólicas básicas estão envolvidas na síntese dos compostos fenólicos: a rota do ácido chiquímico e a rota do ácido malônico (TAIZ; ZEIGER, 2013; VIZZOTO, KROLOW; WEBER, 2010).

Em ecologia química, é ressaltada a participação de fenóis como a hidroquinona, o ácido elágico e ésteres do ácido gálico na defesa das plantas, além de participarem na interação entre animais e vegetais, com atividades como a inibição da germinação de sementes, do crescimento de fungos e de plantas em geral. Também tem sido relatada atividade antioxidante (CARVALHO; GOSMAN; SCHENKEL, 2003).

Os flavonoides constituem a maior classe de fenólicos vegetais. Eles são classificados primeiramente pelo grau de oxidação da cadeia de três carbonos. Diversas funções são atribuídas aos flavonoides, dentre elas pode-se citar a proteção dos vegetais contra incidência de raios ultravioleta e visível, fungos, insetos, vírus e bactérias; antioxidantes; inibidores de enzimas; agentes alelopáticos, dentre outros (ZUANAZZI; MONTANHA, 2003; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001).

### 3.4.2.3. Compostos nitrogenados

Grande variedade de metabólitos secundários vegetais possui nitrogênio como parte de sua estrutura. Incluem-se nessa categoria alguns compostos bem conhecidos na defesa das plantas contra herbivoria, como os alcaloides e os glicosídeos cianogênicos, os quais

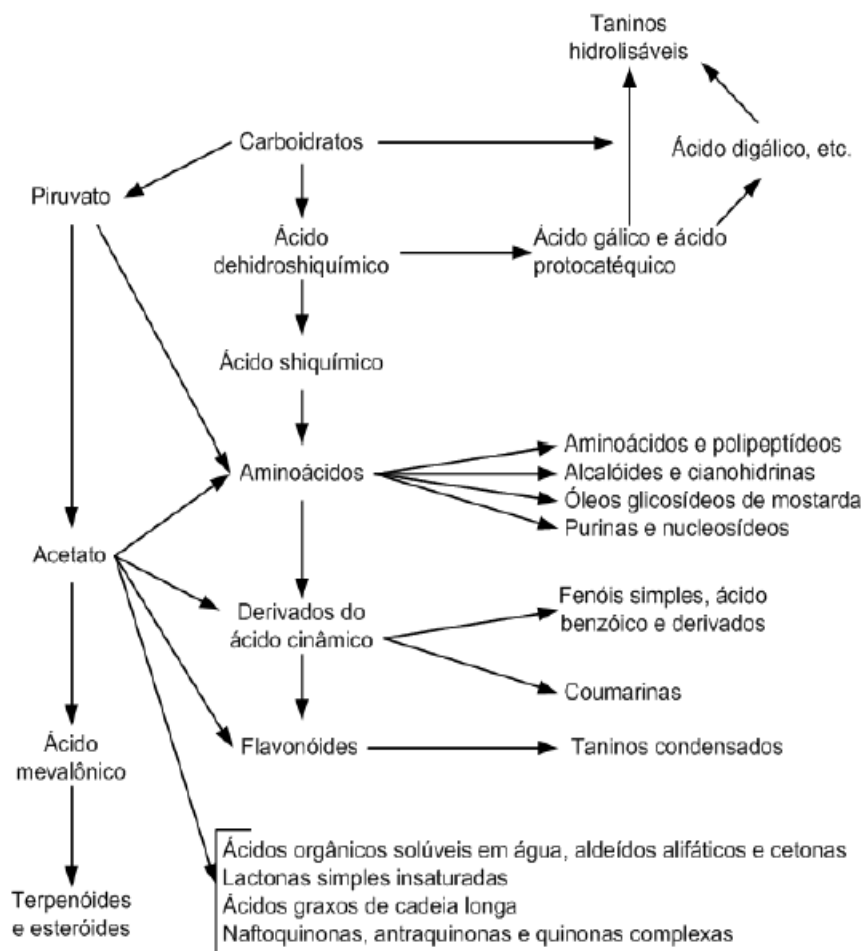
podem ser tóxicos para humanos e também possuem propriedades medicinais. A maioria dos metabólitos secundários nitrogenados é sintetizada a partir de aminoácidos comuns (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os alcaloides constituem uma grande família, com mais de 15.000 metabólitos secundários nitrogenados e são encontrados em, aproximadamente, 20% das espécies de plantas vasculares. Como grupo, são bem conhecidos pelos seus importantes efeitos farmacológicos em animais vertebrados. Como o nome sugere, muitos alcaloides são alcalinos. Em valores de pH encontrados no citosol (pH 7,2) ou no vacúolo (pH 5 a 6), o átomo de nitrogênio está protonado, em consequência, os alcaloides são carregados positivamente, sendo em geral, solúveis em água (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Eles são sintetizados no retículo endoplasmático e armazenados nos vacúolos, dessa forma, não aparecem em células jovens. Essa classe é famosa pela presença de substâncias que possuem acentuado efeito no sistema nervoso, e muitas delas são utilizadas como venenos e alucinógenos (VIZZOTO, KROLOW, WEBER, 2010).

Segundo RICE (1984), vários tipos desses compostos orgânicos já foram identificados como aleloquímicos, produzidos por microrganismos ou plantas superiores, e o autor propõe que os mesmos podem ser relacionados de acordo com suas similaridades químicas, e ainda indica as prováveis vias de síntese desses compostos (Figura 1):

- Ácidos orgânicos solúveis em água, álcoois de cadeia reta, aldeídos alifáticos e cetonas; ácidos cítrico, málico, acético e butírico; metanol, etanol e acetaldeído;
- Lactonas insaturadas simples: patulina e ácido parasórbico;
- Ácidos graxos de cadeia longa e poliactilenos: oléico, esteárico, mirístico e agropireno;
- Naftoquinonas, antraquinonas e quinonas complexas: julglona, tetraciclina e aureomicina;
- Fenóis simples, ácido benzóico e derivados: ácido gálico, vanílico e hidroquinona;
- Ácido cinâmico e derivados: ácido clorogênico e ferúlico;
- Cumarinas: escopoletina e umbeliforona;
- Flavonoides: quercetina, florizina e catequina;
- Taninos condensados e hidrolisáveis: ácidos elágico e digálico;
- Terpenóides e esteroides: cineole, cânfora e limoneno;
- Aminoácidos e polipeptídeos: marasmina e victorina;
- Alcaloides e cianoidrinas: estriquinina, atropina, codeína, cocaína e amidalina;
- Sulfetos e glicosídeos: sirigrina e alilisotiocianato;
- Purinas e nucleosídeos: cordicepina, teofilina e paraxantina.



**Figura 1** Produtos químicos alelopáticos e prováveis vias de síntese (Fonte: Rice, 1984).

### 3.4.3 Mecanismos de ação e funções dos aleloquímicos

Os mecanismos de ação dos aleloquímicos estão relacionados aos processos fisiológicos na planta e, a grande diversidade dos compostos que causam alelopatia indica diferentes mecanismos de ação. O modo de ação dos aleloquímicos pode ser dividido em ação direta e indireta. A ação direta ocorre quando o composto interfere diretamente no metabolismo da planta receptora e liga-se às membranas ou penetra nas células. Na ação indireta, podem-se incluir alterações nas propriedades do solo, de suas condições nutricionais e das alterações de populações e atividade dos microrganismos (FERREIRA; ÁQUILA, 2000).

Entretanto, a ação desses compostos não é muito específica, assim uma mesma substância pode desempenhar várias funções ou apenas atuarem quando em presença de

outros, em combinações e proporções específicas (DURIGAN; ALMEIDA, 1993; CHOU 2006).

Além disso, as interferências atribuídas à alelopatia podem não ser resultado da ação de um único, mas de diferentes aleloquímicos, que são liberados no ambiente em concentrações, quantidades e épocas distintas. Considerando essas especificidades, a ação de um aleloquímico pode ser resultado de uma mistura deles, que é determinada não apenas pela concentração, mas pela interação entre eles (SOUZA FILHO, GUILHON, SANTOS, 2010; SANTOS; REZENDE, 2008).

O entendimento dos efeitos alelopáticos e dos mecanismos de ação de várias substâncias faz-se importante para que se entendam as interações entre plantas, tanto nos ecossistemas naturais como nos agrícolas (FERREIRA; ÁQUILA, 2000).

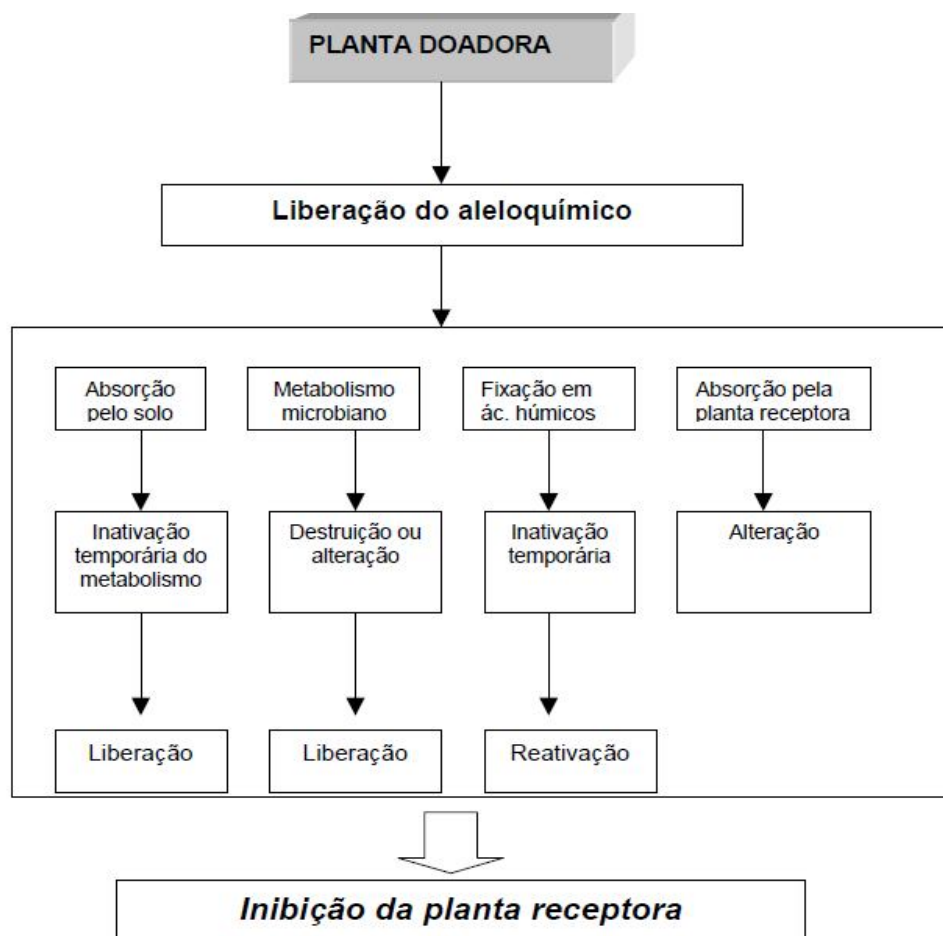
#### **3.4.4 Determinação das potencialidades alelopáticas**

Primeiramente, são importantes os cuidados especiais com o material vegetal empregado, como a secagem do mesmo a fim de interromper os processos metabólicos que ocorrem mesmo após a coleta da planta. A secagem tem por finalidade a retirada de água e, com isso, impedir reações de hidrólise e de crescimento microbiano. A moagem é outra etapa a ser observada, pois aumenta a área de contato entre o material sólido e o líquido extrator, tornando a operação mais eficiente (FALKENBERG; SANTOS; SIMÕES, 2003).

Existem muitos fatores que influenciam no estabelecimento do fenômeno da alelopatia (Figura 2). Os bioensaios que comprovam ou tentam comprovar tais efeitos são bastante variáveis. Uma das principais variáveis analisadas nos testes alelopáticos é a germinação. Essa, entretanto, é menos sensível aos aleloquímicos que o desenvolvimento de plântula, porém, sua quantificação é muito mais simples. No entanto, há uma série de cuidados que devem ser tomados para que se possa ter respostas reproduzíveis. Temperatura, substrato, umidade, pH, concentração osmótica, espécie bioindicadora utilizada, dentre outros, são fatores que influenciam bastante e por isso devem ser controlados (SOUZA FILHO et al., 2010; LOTINA-HENNSEN et al., 2006).

Ao longo da evolução dos estudos em alelopatia, foram agregados avanços notáveis em procedimentos experimentais, que permitem isolar e identificar os compostos químicos envolvidos na atividade alelopática e permitem resultados mais amplos e solidificados sobre o papel dos aleloquímicos (SOUZA FILHO et al., 2010).





**Figura 2** Prováveis vias seguidas por compostos aleloquímicos, desde a liberação pela planta doadora até causar o efeito alelopático na planta receptora (Fonte: Rezende et al., 2003).

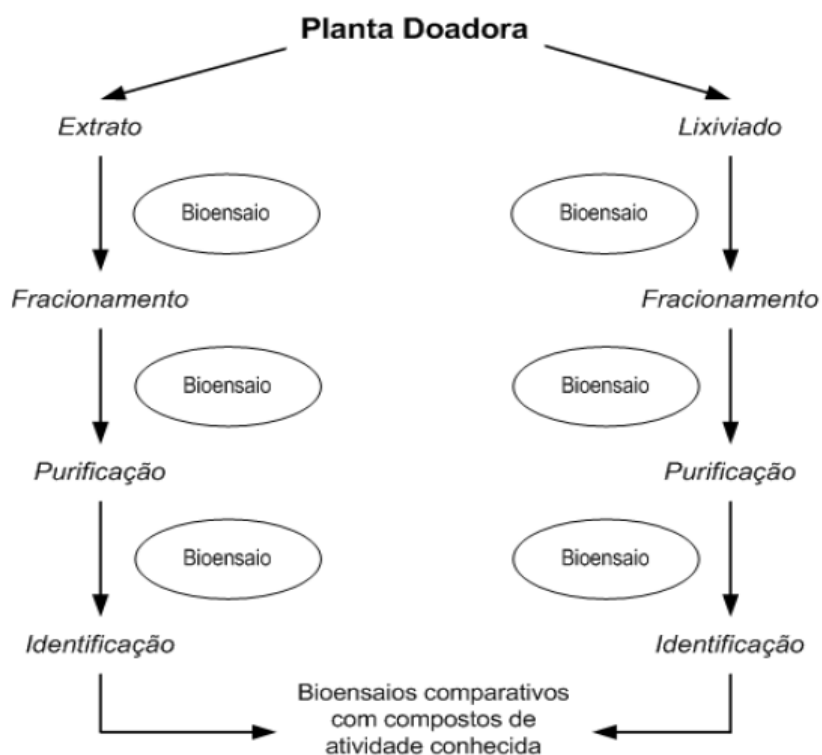
Além disso, esses avanços auxiliam no esclarecimento e registro dos constituintes resultantes do metabolismo secundário através de seu isolamento e elucidação de suas estruturas moleculares. Podem se tornar substâncias de interesse econômico, como novos agentes medicamentosos ou novas fontes de compostos raros já utilizados. Várias técnicas têm sido desenvolvidas para a prospecção dessas substâncias, e a determinação da estrutura molecular dos constituintes isolados é feita, principalmente, pela interpretação de vários espectros obtidos em espectrômetros de massas, espectrômetro de ressonância magnética protônica e de carbono 13, dentre outros (MATOS, 2009).

#### 3.4.4.1 Fitoquímica

Os processos vitais de biossíntese são responsáveis pela formação, acúmulo e

degradação de inúmeras substâncias orgânicas no interior das células, que formam os diversos tecidos dos organismos animais e vegetais. Os compostos resultantes desse metabolismo podem ser separados em produtos do metabolismo primário, que são os glicídios, protídios e lipídios, e os do metabolismo secundário, compostos terpênicos, alcaloides, glicosídeos e vários outros. Os primeiros são estudados, principalmente, no âmbito da bioquímica e os últimos no campo do que se convencionou denominar química de produtos naturais, ou fitoquímica, no caso dos vegetais (MATOS, 2009).

A fitoquímica tem por objetivo imediato o esclarecimento e registro dos constituintes resultantes do metabolismo secundário, a partir do seu isolamento e da elucidação de suas estruturas moleculares (Figura 3). Além disso, o reconhecimento das propriedades biológicas de ampla variedade de produtos naturais, termo empregado como sinônimo de metabólitos secundários, tem alimentado a busca intensa por novos fármacos, antibióticos, inseticidas e herbicidas (MACEDO JUNIOR, 2007).



**Figura 3** Esquema de utilização de bioensaios para fracionamento, purificação e identificação de aleloquímicos (Fonte: Pires; Oliveira, 2001).

Quando se quer iniciar um estudo químico de plantas, existem alguns pontos importantes e que precisam ser criteriosamente observados:

#### a) Prospecção preliminar dos grupos químicos

A pluralidade dos constituintes químicos das plantas associada à ocorrência de pequenas quantidades de compostos interessantes, concomitantemente a grandes quantidades de constituintes já conhecidos, ao lado de vários interferentes, dificultam o trabalho de isolamento e a purificação dos princípios desejados (MATOS, 2009).

Muitas dessas dificuldades estão condicionadas à própria natureza da planta como ser vivo em constante dinamismo químico, outras ao grau de precisão das técnicas utilizadas pelo pesquisador. No primeiro caso, estão as variáveis devido às influências das mudanças estacionais, clima, solo e, algumas vezes, até à duração da iluminação solar. No último caso, está a maioria dos glicosídeos, cuja concentração nas folhas aumenta durante o dia com a fotossíntese e diminui durante a noite. Constituintes hidrossolúveis podem ser retirados das folhas pela chuva, fato que pode falsear resultados de material colhido sob tais condições (MATOS, 2009).

Tudo isso torna praticamente impossível o estabelecimento da composição química completa de uma planta. Essas dificuldades podem ser minimizadas quando se definem objetivos específicos para o estudo químico das plantas e se aplicam técnicas de prospecção preliminares e adequadas aos objetivos escolhidos (GAZONI, 2009).

A abordagem preliminar, além de facilitar a escolha do material a ser estudado, permite a possibilidade de adaptar as técnicas de fracionamento e isolamento, e caracterização de substâncias puras, de acordo com a natureza dos constituintes previamente detectados, facilitando assim o subsequente trabalho dos constituintes mais interessantes (MATOS, 2009).

#### b) Isolamento e purificação de substâncias naturais

O ponto de partida dessa etapa é a preparação dos extratos brutos das plantas, assim como a escolha do solvente para extração, portanto, levam em consideração os objetivos do estudo e os resultados da abordagem preliminar. Os solventes pouco polares (éter de petróleo, hexano, etc) extraem da planta, mais facilmente, mistura de compostos de baixa polaridade e compostos polares, porém pouco hidrófilos. Compostos mais polares e hidrófilos são também extraídos com etanol ou metanol com mais facilidade. Compostos que se comportam como ácidos ou bases lipossolúveis são extraídos, de preferência, utilizando-se suas propriedades de formarem sais hidrossolúveis (MATOS, 2009).

O que pode ocorrer, erroneamente, é o pesquisador optar apenas por solventes com alta polaridade, quando o mesmo acredita que esses possuem alta atividade alelopática, o que de certa forma é verdadeiro, visto que os compostos fenólicos possuem alta atividade alelopática e também alta polaridade. Entretanto, isso limita o conhecimento mais amplo

sobre as reais potencialidades da planta em estudo. As plantas possuem inúmeros compostos químicos com polaridades diferentes. Existem muitos aleloquímicos de baixa polaridade com alta atividade alelopática, como monoterpenos, diterpenos e os óleos essenciais, por exemplo. Quando se inicia uma exploração química sobre uma espécie, o ideal é avaliar todas as potencialidades alelopáticas da planta (SOUZA FILHO; GUILHON, SANTOS, 2010).

E, dependendo da natureza da mistura a ser fracionada e das propriedades do extrato obtido, podem ser utilizados diversos tipos de fracionamento cromatográfico, baseado nas propriedades separativas mais adequadas. O tipo de cromatografia mais utilizado no fracionamento é, no entanto, a cromatografia de adsorção, e o adsorvente mais comum é a sílica-gel para cromatografia, embora os constituintes fortemente polares se percam nesse processo (MATOS, 2009).

#### c) Determinação estrutural de constituintes naturais

A determinação da estrutura molecular dos constituintes isolados é feita pela interpretação de vários espectros obtidos em aparelhagem especial, principalmente espectrômetros de absorção das radiações ultravioleta, visível e infravermelha, espectrômetro de ressonância magnética protônica e de carbono 13 e espectrômetro de massas. Entretanto, são sugeridas algumas condições a que devem estar sujeitas as amostras sólidas destinadas à obtenção de seus espectros, de acordo com MATOS (2009):  
PUREZA: deverá ser a maior possível, avaliada por meio da determinação do ponto de fusão e do comportamento da substância em cromatografia de camada delgada. Para isso, deve-se mostrar a formação de apenas uma mancha, quando submetida ao desenvolvimento pelo menos com três diferentes eluentes.

UMIDADE: a presença de água no material pode provocar alterações desvantajosas nos espectros de uma substância.

SOLUBILIDADE: a verificação de solubilidade é necessária antes da obtenção do espectro de ressonância magnética nuclear. Devem ser testados vários solventes de modo a se obter 1-2 mL de solução, normalmente 30 mg em 1 mL.

QUANTIDADE: as amostras destinadas à obtenção de espectros devem ser encaminhadas ao laboratório de espectrometria separadamente. De modo geral, são necessárias porções de 1-2 mg para os espectros de ultravioleta, infravermelho e de massa. Cerca de 30 mg são necessários para obtenção de espectros de ressonância magnética protônica.

Outro fator importante é a escolha do solvente, o qual deve ser o mais seletivo possível, pois é graças à seletividade que é possível a extração apenas das substâncias desejadas ou em maior quantidade. Como a seletividade depende da polaridade, o

conhecimento do grau de polaridade do grupo de substâncias que se deseja preferencialmente extrair, determina o solvente que seria o ideal para aquela extração. Entretanto, quando não se conhece o conteúdo do material a ser analisado, costuma-se submeter o material vegetal a sucessivas extrações, com solventes de polaridade crescente, assim consegue-se uma extração fracionada (FALKENBERG; SANTOS; SIMÕES, 2003).

#### d) Noções gerais de cromatografia

Este é o método que se destaca entre os diversos existentes para análises, como um dos mais frutíferos em resultados satisfatórios e mais rico em número de variadas técnicas. Como processo de análise imediata, tem permitido o fracionamento de misturas em seus componentes, com maior precisão e com menor tempo e trabalho, à medida que são desenvolvidos novos materiais e novas técnicas (MATOS, 2009).

De maneira simples, pode-se definir cromatografia como um processo de análise imediata por migração diferencial dos componentes de uma mistura, dentro do sistema cromatográfico. Este é o conjunto formado pela mistura a ser analisada, pela fase fixa e pela fase móvel. A fase fixa, ou fase estacionária, é o meio constituído por um sólido poroso, cuja função é reter os solutos, sendo a sorção o fenômeno responsável por essa atividade. A fase móvel é o solvente, ou eluente, que flui através da fase fixa e tem como função deslocar os solutos. Este fenômeno é chamado dessorção (MENDES, 2013).

A mistura de solutos é levada a migrar através da fase fixa, por meio do fluxo constante da fase móvel e a diferença de velocidade de migração é provocada por processos de competição pelo soluto, entre duas fases, em função de uma propriedade (MATOS, 2009).

#### e) Análise das substâncias isoladas

Como as técnicas de identificação têm diferentes graus de complicação, sensibilidade, seletividade, custo e tempo, é importante escolher a melhor técnica para realizar a determinação desejada. As substâncias consideradas relativamente puras são pesadas, acondicionadas em pequenos frascos e determinados os constituintes estruturais por métodos físico-químicos como: - Ressonância Magnética Nuclear (RMN  $^1\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$ ); Espectrometria de massas; Análise na região do infravermelho, dentre outros (MACEDO JUNIOR, 2007).

A espectroscopia é o estudo da radiação eletromagnética com a matéria. A espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN) baseia-se no estudo das propriedades físicas e químicas da matéria, como um ramo da espectroscopia que explora as propriedades magnéticas de núcleos atômicos. Trata-se de uma técnica não destrutiva

que permite a análise de compostos orgânicos e alguns inorgânicos. Desde a sua descoberta, em 1946 por Felix Bloch e Edward Purcell, a espectroscopia de RMN tem tido rápido crescimento (GAZONI, 2009).

O núcleo de certos elementos e isótopos comportam-se como se fossem ímãs quem giram em torno de um eixo. Quando se coloca um composto contendo átomos de  $^1\text{H}$  ou de  $^{13}\text{C}$  em um campo magnético muito forte e simultaneamente se irradia o composto com energia eletromagnética, os núcleos podem absorver energia em um processo denominado ressonância magnética (MACEDO JÚNIOR, 2007).

A absorção desta radiação pelos núcleos desses elementos é quantificada e dá origem a um espectro característico. Sabe-se que, além da carga e da massa, cerca de metade dos núcleos conhecidos possuem um spin ou momento angular. A rotação destas partículas carregadas gera um movimento magnético orientado segundo o eixo de spin, o que significa que esses núcleos funcionam como minúsculas barras magnéticas (MACEDO JUNIOR, 2007).

Os espectrofotômetros permitem medir a absorção de energia pelos núcleos mais comumente analisados como o de  $^1\text{H}$  e de  $^{13}\text{C}$  (GAZONI, 2009).

O potencial para o uso dessas substâncias como herbicidas é grande, sobretudo na agricultura agroecológica, seja para o uso direto ou como base para a síntese de novas moléculas herbicidas, uma vez que, embora o método de controle químico seja prático, possui uma série de limitações, como poluição ambiental e a resistência (HACHINOHE, MATSUMOTO, 2007).

Um exemplo de tal fato são os compostos secundários 1,8 cineol e seu herbicida análogo 1,4 cineol, os quais têm suas atividades fitotóxicas estudadas desde a década de 60, e são capazes de inibir o crescimento de muitas plantas invasoras. O herbicida comercial cinmetilin, um composto análogo ao cineol (2-benzil éter substituído) é intensamente utilizado no controle de plantas invasoras monocotiledôneas. Ambos compostos (tanto o natural quanto o sintético) apresentam o mesmo mecanismo de ação, pois causam inibição da síntese da enzima asparagina (SANTOS; REZENDE, 2007).

Entretanto, muitos outros sítios moleculares de ação que vêm sendo observados em certos compostos naturais, não foram observados nos herbicidas disponíveis no mercado. Tal constatação é de extrema importância, considerando a resistência de plantas invasoras a herbicidas quando se utiliza um mesmo herbicida por muito tempo, ou herbicidas diferentes, porém, com o mesmo mecanismo de ação (SANTOS; REZENDE, 2007).

Muitos reguladores naturais do crescimento de plantas, tais como agrostemina, podem ser usados para controlar plantas invasoras. Agrostemina é obtida da *Agrostema githago* L., uma invasora comum nos campos de trigo e outros cereais. A substância tem sido amplamente utilizada em países do Leste Europeu e não é prejudicial nem para os animais nem para os humanos (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

Adicionalmente, produtos naturais extraídos da planta *Azadirachta indica* (neem ou nim) têm também sido usados extensivamente na Índia como inseticida, herbicida, fungicida e nematocida (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009; FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

Entre os constituintes químicos até então identificados em *Avena strigosa* (aveia preta) estão presentes ácidos fenólicos, como o ácido cumárico e principalmente o ferúlico; ácido aconítico; escopoletina; fenólicos antioxidantes como avenantramidas, dentre outros (VOLL et al., 2008; PEREZ; NUNEZ, 1991; BRATT, 2000).

Em ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), Kamo, Hidrate e Fujii (2003) identificaram, pela primeira vez, a presença de cianamida em folhas e caules, a qual é produzida industrialmente como fertilizante nitrogenado, herbicida e na forma natural também tem potencial herbicida, como comprovado por Soltys et al. (2012).

Este foi o primeiro relato sobre o isolamento de um possível aleloquímico de ervilhaca peluda e também de descoberta de cianamida como um produto natural (KAMO, HIRADATE; FUJII, 2003).

Em nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), foram encontradas identificações de flavonoides e triterpenos, como relatado por Borges et al. (2012).

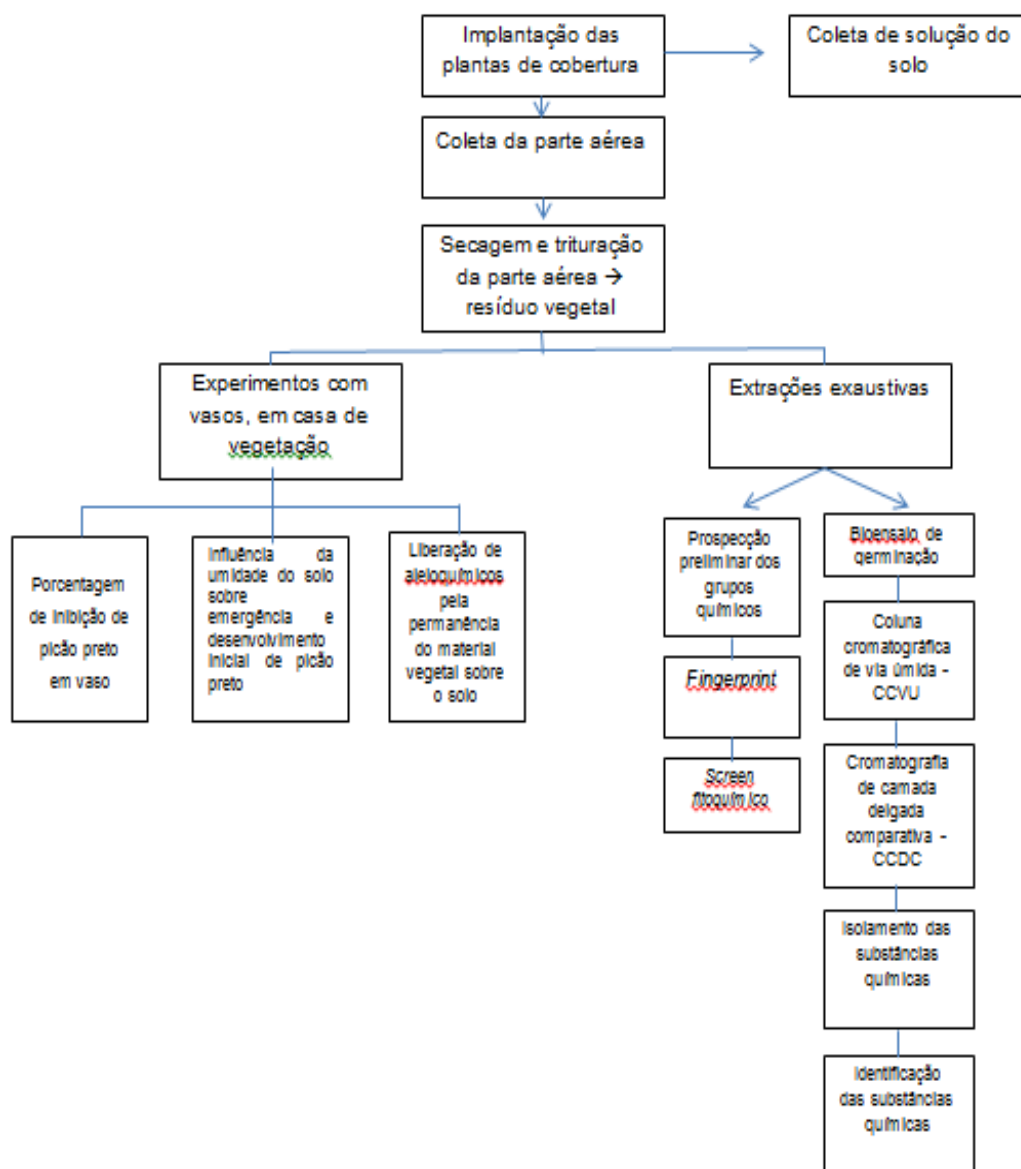
Também, o enxofre e os compostos contendo azoto, tais como isotiocianatos e nitrilos, parecem desempenhar papel importante no característico aroma do óleo de *Raphanus sativus* e, geralmente, podem ser encontrados em maiores concentrações nas raízes do que nas folhas (BLAZEVIC; MASTELIC, 2009).

Dentre as nitrilas, sem dúvida, a acrilonitrila é a mais importante, pois é usada industrialmente, em larga escala, para produção de borrachas sintéticas de alta qualidade. As isonitrilas não têm muitas aplicações, porém, são importantes para produção de outros compostos, como isocianatos, utilizados na síntese de polímeros (ROCHA, 1999).

Matera et al. (2012) isolaram em extrato de *Raphanus sativus* (L.) cv. Sango, 70 antocianinas, 19 dos quais nunca foram descritos anteriormente e dos quais 32 são relatados em *R. sativus*, pela primeira vez.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Na Figura 4, encontra-se um fluxograma com os caminhos seguidos para realização de todas as etapas dos experimentos.



**Figura 4** Fluxograma com as etapas realizadas durante a fase experimental.



#### 4.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Avaliação de Sementes e Plantas (LASP) e casa de vegetação do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel e no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental, localizado na cidade de Belém, Pará.

O material vegetal foi produzido em campo, no município de Catanduvas – PR, com as seguintes coordenadas geográficas 25° 18' 16,0" S de latitude, 53° 11' 34,1" W de longitude e altitude média de 465 m (Figura 5), com clima subtropical úmido (Cfa) e verões quentes; a precipitação média anual de 1800 mm; geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A temperatura média é de 20 °C e umidade relativa do ar, em média, de 75 % (IAPAR, 1998). O solo é classificado como LATOSSOLO Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2006).



**Figura 5** Representação da localização geográfica do município de Catanduvas, Paraná, Brasil. (Fonte: Google imagens, 12 de março de 2013).

As sementes de plantas de cobertura utilizadas neste experimento foram doadas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). E as sementes de plantas invasoras, coletadas no município de Catanduvas – PR. As sementes de invasoras foram submetidas à superação de dormência, com embebição em água à temperatura ambiente por seis horas para o picão preto e o ácido sulfúrico concentrado, por cinco minutos para guanxuma.

Na Tabela 1, encontram-se os valores referentes às características químicas do solo em que foram cultivadas as plantas de cobertura e também onde foi coletado solo para realização dos experimentos em vasos, em casa de vegetação. Cinco amostras simples foram coletadas, em pontos da área, misturadas, a fim de se formar uma amostra composta,

embalada e encaminhada à Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC) para realização da análise química.

**Tabela 1** Características químicas do solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm. Catanduvas – PR (2011)

Características do solo*	Valores	Classificação**
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,5	Médio
Matéria orgânica (g dm <sup>3</sup> )	54,95	Muito alto
Alumínio trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	0,00	Muito baixo
Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	4,28	-
Soma de base (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	16,34	Alto
Capacidade de troca catiônica (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	20,62	Alto
Saturação por bases (%)	79,24	Alto
Fósforo (P) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	21,40	Muito alto
Potássio (K) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	1,14	Muito alto
Cálcio (Ca) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	12,25	Alto
Magnésio (Mg) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	2,95	Alto
Cobre (Cu) (mg/dm <sup>3</sup> )	13,77	Alto
Zinco (Zn) (mg/dm <sup>3</sup> )	18,32	Alto
Ferro (Fe) (mg/dm <sup>3</sup> )	36,00	Médio
Manganês (Mn) (mg/dm <sup>3</sup> )	351,00	Alto

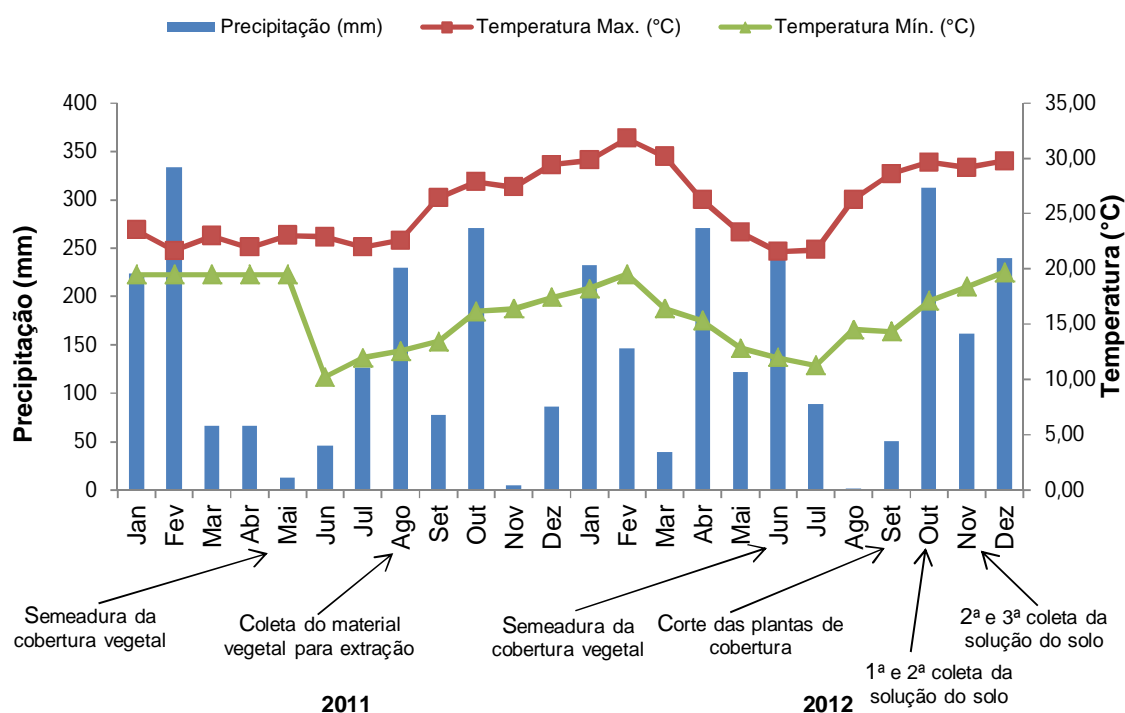
\* Análise realizada no laboratório de solos da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC).

\*\* Classificação de acordo com Alvarez et al. (1999).

Na Figura 6, são apresentados os valores referentes à precipitação pluviométrica (mm) e à temperatura máxima e mínima (°C) mensais nos anos 2011 e 2012. Também estão ressaltados os períodos de semeadura e coleta das plantas de cobertura, além das coletas de solução de solo.

A área onde foi realizado o experimento encontra-se a aproximadamente 70 km de distância da estação meteorológica e localizada na região de Cascavel-PR, e os resultados de precipitação e temperatura foram extrapolados para a área experimental em questão.

Nos períodos de junho de 2011 e agosto e setembro de 2012, houve necessidade de irrigação das plantas de cobertura para garantir o bom desenvolvimento das mesmas, visto que ocorreu período crítico de déficit hídrico no período, como pode ser visto na Figura 6.



**Figura 6** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) mensais nos anos 2011 e 2012, obtidas na Estação Meteorológica do SIMEPAR, com destaque das datas de coleta de material e implantação e manejo das culturas. Catanduvas-PR.

## 4.2 Manejo do resíduo vegetal de plantas de cobertura de inverno sobre picão preto

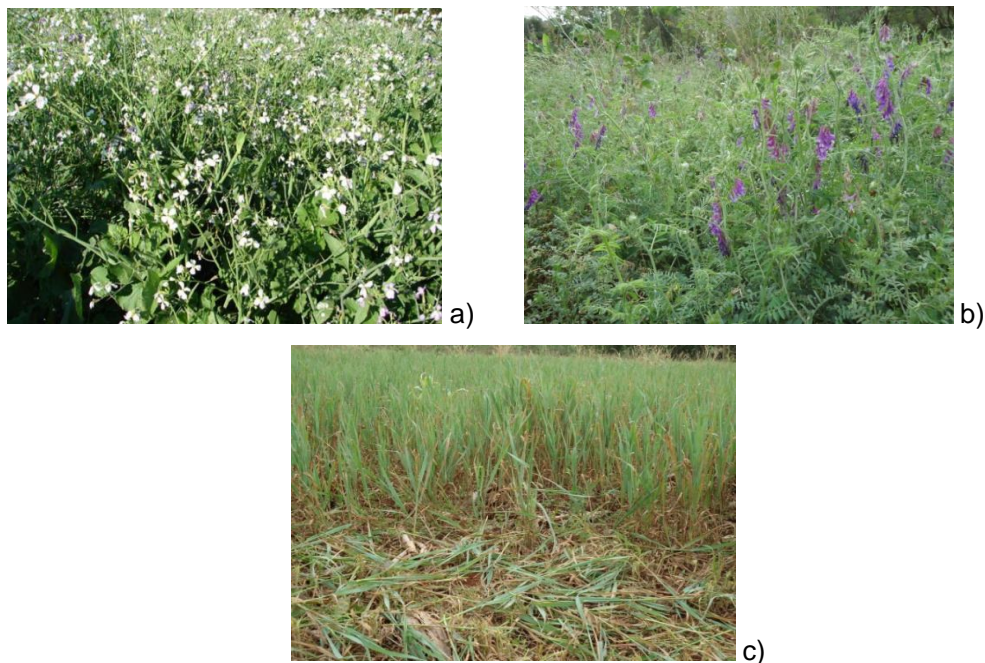
### 4.2.1 Implantação e coleta do material botânico

O preparo do solo antecedeu a sementeira da cobertura vegetal e foi realizado sob cultivo mínimo, com gradagem a 10 cm de profundidade, aproximadamente. A área utilizada para o experimento foi cultivada sob sistema convencional, com sucessão de feijão/milho nos últimos cinco anos.

A sementeira da cobertura vegetal de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro, foi manual, a lanço, e incorporada ao solo com grade niveladora, a aproximadamente 5 cm de profundidade, em junho de 2011.

A parte aérea (folhas + colmos + flores) das espécies (Figura 7) foi coletada na fase de floração de cada espécie. O material foi levado ao Laboratório de Avaliação de Sementes e Plantas (LASP); seco em estufa com circulação de ar forçada a 50 °C por 72 h ou até massa constante. Após esse procedimento, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey, peneira 0,2 mm, acondicionadas em sacos de papel e armazenadas sob temperatura

de aproximadamente 15 °C. A massa seca foi utilizada para extração para posterior análise química e também nos experimentos em casa de vegetação.



**Figura 7** Plantas de cobertura a) Nabo forrageiro b) Ervilhaca peluda c) Aveia preta.

#### 4.2.2 Germinação de sementes e desenvolvimento inicial de planta sob solução do solo extraída de área cultivada com plantas de cobertura

Os experimentos com solução do solo foram realizados no Laboratório de Avaliação de Sementes e Plantas (LASP) da Unioeste, *campus* Cascavel –PR.

As soluções foram coletadas com extratores de solução de solo (Figura 8) com tubo de 20 cm e ponta cerâmica de 1 Bar para utilização em solos de dureza média e alta, modelo EX-20-TR, marca Tracom® de acordo com Filizola (2006).



**Figura 8** Extrator de solução de solo.

Os extratores foram implantados na área em que foram cultivadas as espécies de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro, em junho de 2012, no município de Catanduvas e foram extraídas nos períodos: 15; 30; 45 e 60 dias após o corte das três plantas de cobertura avaliadas.

As soluções coletadas do solo foram testadas em caixas gerbox sobre a germinação e desenvolvimento de planta da espécie invasora picão preto. As soluções concentradas foram testadas diretamente na germinação de sementes, em caixa gerbox, com aproximadamente 1 cm de areia, a qual foi umedecida com água destilada e posteriormente, adicionados 3 mL da solução do solo pura, além de uma testemunha em que se utilizou somente água.

Também foram feitas diluições, com água como solvente, a partir da solução inicial para 100; 200; 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, além da testemunha (água destilada), os quais foram aplicados sobre picão preto, em substrato papel germiteste.

A avaliação de germinação foi diária, durante 10 dias, com eliminação das sementes germinadas, em câmara B.O.D., sob 12 h de luz e temperatura de 25 °C, considerando-se germinadas as sementes que apresentavam extensão radicular de 2,00 mm.

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi calculado conforme Maguire (1962) e a velocidade de germinação (VG) segundo Edmond e Drapalla (1958).

Para desenvolvimento inicial de planta, foram utilizadas dez plântulas, pré-germinadas, com três dias, levadas à DBO com fotoperíodo de 24 h de luz e temperatura de 25 °C. Ao final de 20 dias, as plantas foram separadas em raiz e parte aérea e determinada a massa fresca (g por planta), em balança de precisão 0,001 g. As amostras foram levadas à estufa a 65°C até massa constante, para que, posteriormente, fosse determinada também a massa seca.

#### **4.2.3 Porcentagem de inibição de emergência e desenvolvimento inicial de picão preto em vaso**

Os experimentos a seguir foram desenvolvidos em casa de vegetação da Unioeste, *campus* de Cascavel.

O solo utilizado foi coletado em área agricultável no município de Catanduvas, na profundidade de 0-20 cm, o qual foi peneirado e seco ao ar (terra fina seca ao ar – TFSA). Esse foi disposto em vasos de capacidade aproximada de 1 kg, nos quais foram semeadas cinco sementes da espécie invasora picão preto. Sobre elas foi disposta a massa seca das respectivas plantas de cobertura nas proporções: 10, 20, 30, 40 e 50 g, equivalentes a 7,5; 15; 22,5; 30 e 37,5 t ha<sup>-1</sup>, além da testemunha (sem massa), com três repetições cada. Após, os vasos foram irrigados e mantidos em casa de vegetação.

Diariamente, a emergência das plântulas foi avaliada, durante 10 dias, com a retirada das plântulas emersas e também calculados o índice de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962) e a velocidade de emergência (VE) (EDMOND; DRAPALLA, 1958).

O bioensaio de desenvolvimento de plantas foi desenvolvido nas mesmas condições que a germinação, entretanto, foram utilizadas cinco plântulas pré-germinadas de picão preto, com sete dias. Após 30 dias, as plantas foram separadas em raiz e parte aérea e avaliada a massa fresca em balança de precisão 0,001 g. Em seguida, foram levadas à estufa a 65 °C até massa constante, para determinação também da massa seca (g por planta).

#### **4.2.4 Influência da umidade do solo sobre a emergência e desenvolvimento inicial de picão preto**

Duas capacidades de campo, 70 e 50%, foram testadas em casa de vegetação com intuito de estudar a influência da umidade do solo na atividade dos microrganismos.

Inicialmente, foi determinada a capacidade de campo, dos vasos a serem utilizados, segundo metodologia de Ruiz; Ferreira e Pereira (2003). Foram utilizados vasos de aproximadamente 1 kg, com solo coletado em área agricultável, no município de Catanduvas, na profundidade de 0-20 cm, o qual foi peneirado e seco ao ar.

Sobre o solo, foram depositados 30 g de massa seca das respectivas plantas de cobertura, a qual permaneceu por quatro semanas para decomposição.

Após esse período, foram semeadas cinco sementes de picão preto e avaliada, diariamente, a emergência das plântulas durante 10 dias, com a retirada das plântulas emersas e também calculados o índice de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962) e a velocidade de emergência (VE) (EDMOND; DRAPALLA, 1958).

Para avaliação do desenvolvimento inicial de plantas, foram transplantadas cinco plântulas, com aproximadamente oito dias, da espécie invasora picão preto e foi utilizado tanto solo esterilizado como não esterilizado.

Os vasos foram molhados e mantidos em 70 e 50% da capacidade de campo a fim de se avaliar o desenvolvimento das plantas durante 30 dias. Após, as plantas foram separadas em raiz e hipocótilo e levadas à estufa a 65°C até massa constante.

Os vasos foram monitorados diariamente e as respectivas capacidades de campo foram mantidas por meio de pesagem dos vasos e adição de água necessária para cada caso.

#### **4.2.5 Liberação de aleloquímicos pela permanência do material vegetal sobre o solo**

Para avaliar a influência do tempo de permanência do material vegetal na liberação dos aleloquímicos, que atua na emergência e desenvolvimento de plantas invasoras, foi utilizada a massa que apresentou melhor resultado no teste de inibição em vaso (30 g). Essa massa foi colocada sobre o solo dos vasos e analisada a emergência nos respectivos períodos de permanência vegetal: 0; 2; 4; 6 e 8 semanas. A cada período, foram semeadas cinco sementes de picão preto e avaliada a emergência durante 10 dias.

Neste experimento, foi utilizado solo peneirado e seco ao ar (terra fina seca ao ar – TFSA), esterilizado e não esterilizado no intuito de analisar a influência dos microrganismos na decomposição do material vegetal e, conseqüentemente, na liberação de aleloquímicos. O solo foi esterilizado em estufa com circulação forçada de ar a 120 °C por 24 horas.

O desenvolvimento das plantas foi realizado nas mesmas condições, entretanto, foram utilizadas plântulas pré-germinadas com sete dias e avaliadas durante 30 dias. Após esse período, foram separadas em raiz e parte aérea, levadas à estufa a 65 °C até massa constante, com determinação da massa fresca e seca em balança de precisão 0,001 g.

Além disso, os experimentos descritos anteriormente (germinação e desenvolvimento; solo esterilizado e não esterilizado) foram também conduzidos com incorporação do material vegetal, sob as mesmas condições, no intuito de isolar o efeito de supressão provocado pela presença do material vegetal sobre o solo.

### **4.3 Prospecção fitoquímica de compostos produzidos por plantas de cobertura de inverno com potencial alelopático**

#### **4.3.1 Extrações exaustivas**

O material seco triturado foi submetido à extração exaustiva e sucessiva (Figura 9), a frio, com solventes com polaridade crescente no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental em setembro/outubro de 2011. Iniciou-se com hexano, passou para acetato de etila e terminou com metanol. Cada uma das soluções foi filtrada e destilada sob pressão reduzida, utilizando-se rotavapor Buchi, modelo EL 131, no qual foram concentrados os respectivos extratos brutos de cada espécie. A extração foi realizada em um período de sete dias, de acordo com Souza Filho, Pereira e Bayma (2005).



**Figura 9** Extração exaustiva das plantas de cobertura.

### 4.3.2 Prospecção preliminar dos grupos químicos

#### 4.3.2.1 *Fingerprint*

Uma amostra de 10 mg foi retirada de cada um dos extratos brutos (obtido na extração exaustiva), para se realizar a análise do perfil cromatográfico por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC – Marca SHIMADZU; Modelo LC-20AT) no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental, com o objetivo de avaliar a complexidade do mesmo. Para a análise das amostras, foram obedecidos os seguintes passos: primeiro, com o intuito de ativar o cartucho Strata C18, 50 mg mL<sup>-1</sup> (analítico), para o qual a amostra foi transferida. Com o objetivo de reter interferentes, principalmente clorofila, foi previamente adicionado 1 mL de ACN, em seguida 1 mL de H<sub>2</sub>O.

Às amostras foram adicionados 800 µL de acetonitrila (ACN) e, para facilitar a solubilização da mesma, levou-se ao banho ultrassônico por 1 minuto. Em seguida, foram adicionados 200 µL de água e novamente a amostra foi levada ao banho ultrassônico por mais 1 minuto e a solução foi transferida para o cartucho. Posteriormente, foi adicionado ao cartucho o volume de 1 mL da solução de ACN:H<sub>2</sub>O (8:2). A solução coletada foi colocada na capela para evaporar o solvente e o resíduo sólido foi ressuscitado em 200 µL de ACN. E procedeu-se a análise por HPLC.

O método de análise do perfil cromatográfico adotado foi o seguinte: coluna Gemini C18, 5 µm (250 x 4,6 mm), com fluxo de 1 mL min<sup>-1</sup>; com varredura de comprimento de onda entre 200 e 400 nm; lâmpada de deutério; volume da injeção de 20 µL; com variação de concentração de ACN de 5 a 100%, durante o tempo de 60 minutos para cada amostra.



Os resultados foram analisados de acordo com as características dos gráficos apresentados para avaliar os picos de absorção proporcionados, com relação à presença de compostos de alta, média e baixa polaridade.

#### **4.3.2.2 Screen fitoquímico**

A investigação da presença de compostos secundários nos extratos hexânico, acetato de etila e metanólico, de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, obtidos na extração exaustiva, foi realizada seguindo a metodologia de Paracampo (2011), no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental. Para cada composto de interesse foi realizado um teste diferente, cujo resultado foi uma reação de presença ou ausência do mesmo na amostra analisada.

Para presença de taninos, dissolveram-se alguns miligramas do extrato concentrado em 10 mL de água destilada. Filtrados em papel filtro e depois transferiu-se o filtrado para tubo de ensaio, pela adição de uma gota de cloreto férrico 1%. Resultado: a mudança de coloração ou formação de precipitado indica reação positiva.

Para catequinas, dissolveram-se alguns miligramas do extrato concentrado em 3 mL de metanol. Filtrados em papel filtro, transferiu-se o filtrado para tubo de ensaio e adicionou-se 1 mL de solução de vanilina 1% e 1 mL de ácido clorídrico concentrado. Resultado: o surgimento de uma coloração vermelha intensa indica reação positiva.

Na determinação de esteroides e triterpenóides, dissolveram-se alguns miligramas do extrato bruto em 5 mL de éter etílico, os quais foram filtrados em papel filtro e transferidos para tubo de ensaio, deixando evaporar todo o éter em banho-maria. Foram adicionados ao resíduo 3 mL de metanol, agitou-se e foram adicionados 3 mL de cloreto férrico 1%. Resultado: o surgimento de coloração verde, azul ou cinza indica reação positiva.

No caso dos flavonoides, dissolveram-se alguns miligramas do extrato concentrado em 10 mL de metanol. Filtrados em papel filtro, foram transferidos para tubo de ensaio e adicionadas 5 gotas de ácido clorídrico concentrado e 1 cm de fita de magnésio. Resultado: o surgimento de uma coloração rósea na solução indica reação positiva.

Para derivados de cumarina, dissolveram-se alguns miligramas do extrato bruto em 5 mL de éter etílico, os quais foram filtrados em papel filtro e transferidos para tubo de ensaio, onde foram concentrados em banho Maria até, aproximadamente, 0,5 mL. Em papel filtro, foram aplicadas gotas da solução de modo a formarem duas manchas de 1 cm de diâmetro cada. A uma delas, adicionou-se uma gota de hidróxido de sódio 1 N. Cobriu-se metade da mancha com papel escuro, o qual foi exposto à luz ultravioleta. Depois disso, o

papel foi descoberto e comparado. Resultado: surgimento de fluorescência azul na parte exposta da mancha indica reação positiva.

Para saponina espumídica, dissolveram-se alguns miligramas do extrato concentrado em 1 mL de etanol 80 GL. Foram diluídos 15 mL com água destilada, filtrados em papel filtro; o filtrado foi transferido para tubo de ensaio e agitado vigorosamente durante 2 minutos em tubo fechado. Resultado: se a camada de espuma permanecer estável por mais de 30 minutos, o resultado é considerado positivo para saponina espumídica.

Para alcaloides, foram realizados dois testes: (1) REATIVO DE BOUCHARDAT – 2 g de iodeto de potássio e 1 g de iodo foram diluídos em 50 mL de água destilada. Resultado: precipitado laranja avermelhado. (2) REATIVO DDE DRAGENDORFF - transferiu-se a solução A pouco a pouco sobre a solução B e armazenou-se em frasco escuro. (Solução A: 0,85 g de subnitrato de bismuto, diluídos em 10 mL de ácido acético e 40 mL de água destilada. Solução B: 8 g de iodeto de potássio, diluídos em 20 mL de água destilada). Os resultados foram expressos em presença ou ausência na amostra.

#### **4.3.3 Bioensaio de germinação**

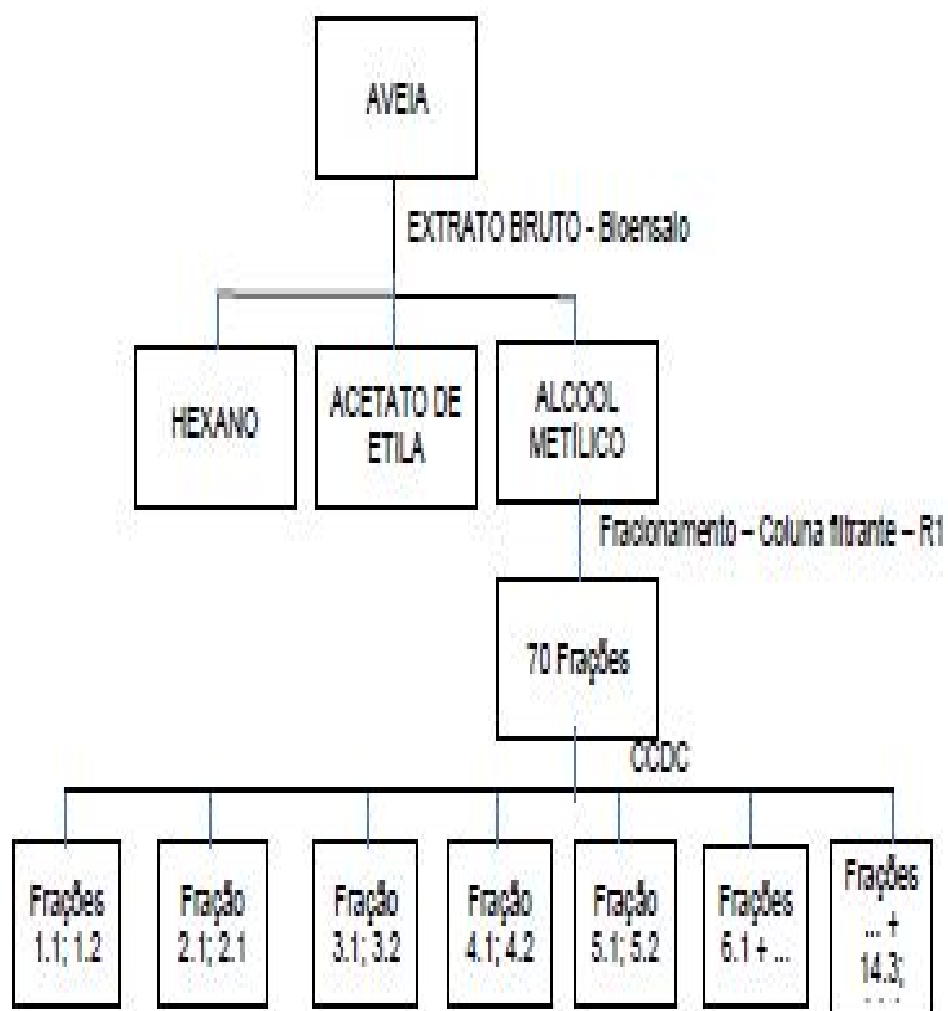
Os extratos obtidos da extração exaustiva foram submetidos à avaliação quanto à capacidade de inibir a germinação das sementes das espécies invasoras picão preto e guanxuma, no Laboratório de Sementes e Plantas (LASP) da Unioeste. A partir dos resultados obtidos neste bioensaio, foram escolhidos os extratos que proporcionaram as maiores inibições para serem fracionados em coluna cromatográfica por via úmida (CCVU).

Os bioensaios de germinação foram desenvolvidos em câmaras tipo DBO, em condições controladas de 25 °C de temperatura constante e fotoperíodo de 12 h de luz. Em placas de petri, 3 mL do extrato foram aplicados sobre folha de papel filtro qualitativo, na concentração de 1%. Foi aguardada a evaporação completa do solvente (análise visual) e depois o papel filtro foi umedecido com água destilada. Vinte sementes de picão preto e 20 de guanxuma foram semeadas (BRASIL, 2009).

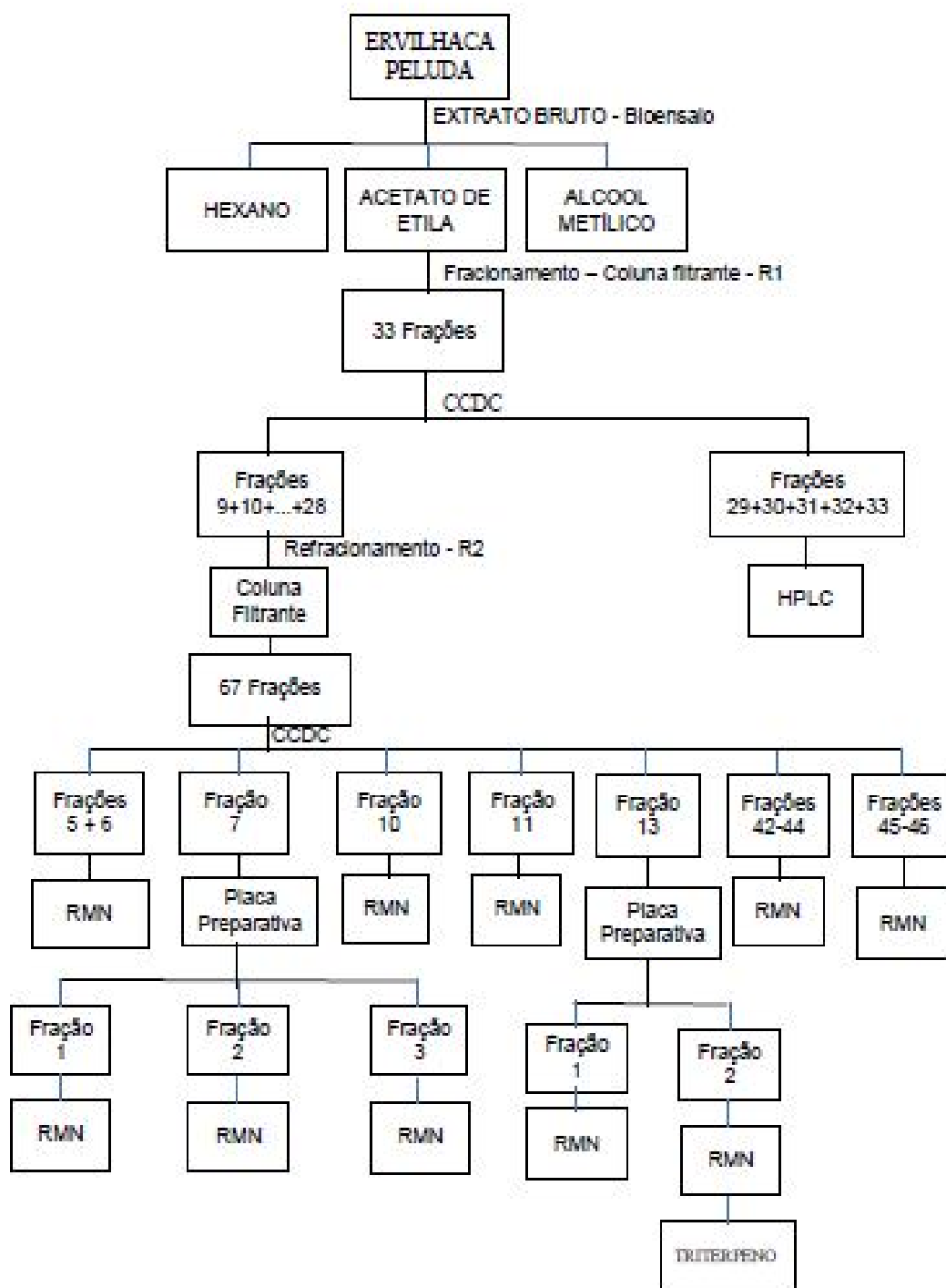
A germinação foi monitorada por período de 10 dias. Foram consideradas sementes germinadas aquelas que apresentaram extensão radicular igual ou superior a 2,00 mm (JUNTILA, 1976; DURAM & TORTOSA, 1985).

#### 4.3.4 Isolamento das substâncias químicas

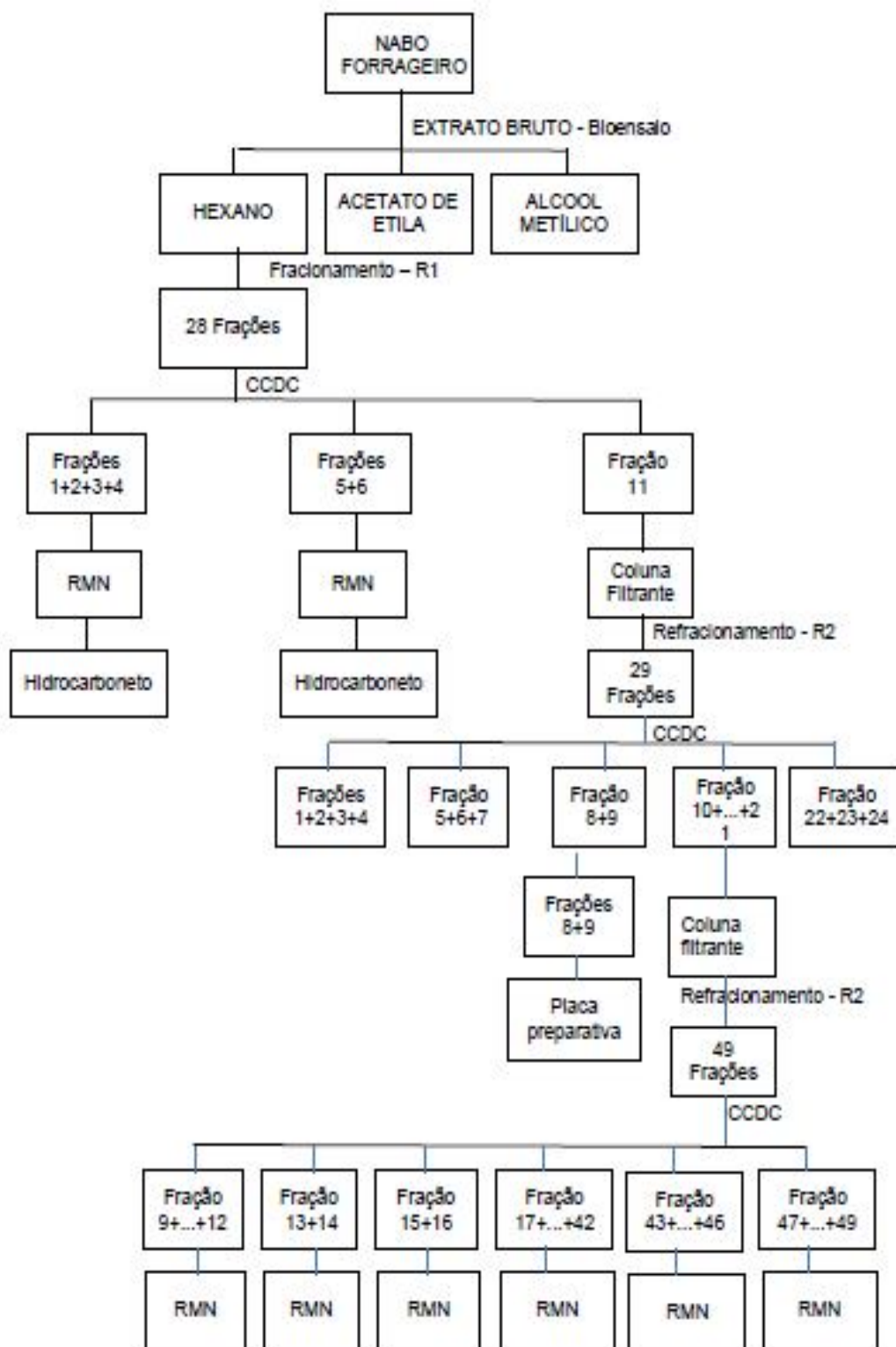
Os fluxogramas apresentados nas Figuras 10, 11 e 12 demonstram as etapas realizadas para extração, isolamento e purificação dos compostos com possível atividade alelopática, nas três plantas avaliadas.



**Figura 10** Procedimento para isolamento e purificação dos compostos contidos na parte aérea de aveia preta.



**Figura 11** Procedimento para isolamento e purificação dos compostos contidos na parte aérea de ervilhaca peluda.

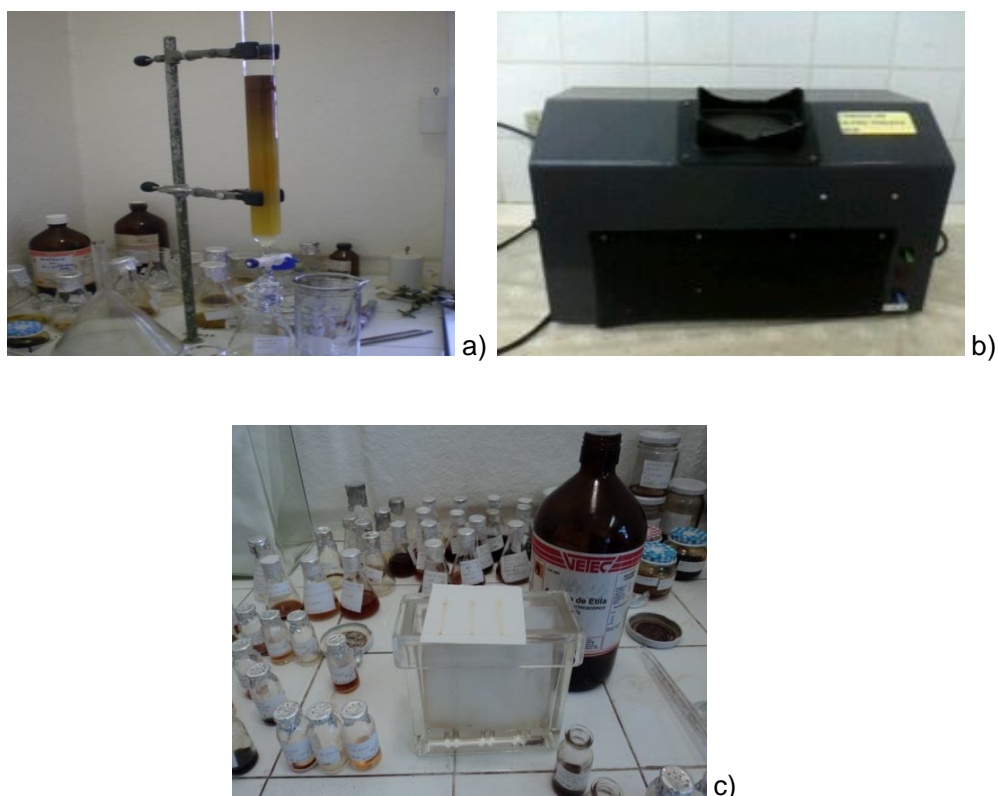


**Figura 12** Procedimento para isolamento e purificação dos compostos contidos na parte aérea de nabo forrageiro.

Do extrato que apresentou melhor resultado de porcentagem de inibição no bioensaio de germinação, com relação às três espécies estudadas nesta pesquisa, foram fracionados 10 g do extrato bruto pelo emprego de coluna cromatográfica por via úmida (CCVU), com sílica-gel como adsorvente e três solventes (hexano, acetato de etila e metanol) e suas misturas de polaridades crescentes, aplicados sucessivamente (Figura 13a) (MATOS, 2009).

Após esse procedimento, seguiu-se para a avaliação das frações obtidas em cromatografia de camada delgada CCD (Aluminum Backed TLC, Silica Gel, Hard Layer, F-254, SAI), usando diversos sistemas de solventes, ou seja, proporções de solventes de acordo com a polaridade da substância a ser analisada (Figura 13c).

Cromatoplasmas foram preparadas com as frações obtidas, as quais foram observadas sob luz ultravioleta (UV) com comprimento de onda de 254 nm, em câmara escura (Figura 13b). De acordo com as analogias e diferenças de composição, inferidas pelas semelhanças das manchas nas cromatoplasmas, foram realizados junções e/ou refractionamentos (MATOS, 2009). Sucessivas cromatografias foram realizadas em coluna e em placa preparativa até a purificação das substâncias químicas.



**Figura 13** a) Coluna cromatográfica por via úmida (CCVU) b) Câmara escura, com luz ultravioleta 254 nm c) Cromatografia de camada delgada comparativa (CCDC).

### 4.3.5 Identificação das substâncias químicas

As substâncias consideradas relativamente puras foram pesadas e acondicionadas em pequenos frascos, os quais foram encaminhados ao laboratório da Universidade Federal do Pará (UFPA) para obtenção da identificação estrutural por espectrometria de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), modelo Gemini 300-Varian, 75 MHz (RMN de  $^{13}\text{C}$ ) e 300 MHz (RMN de  $^1\text{H}$ ).

### 4.4 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com três repetições por tratamento. Os resultados de germinação e emergência de plântulas foram apresentados em porcentagem de inibição em relação à testemunha.

Os parâmetros avaliados foram: germinação de sementes e desenvolvimento inicial de planta sob solução do solo extraída em área cultivada com plantas de cobertura, coletadas aos 15, 30, 45 e 60 dias após corte das plantas de cobertura, testados solução pura e nas concentrações de 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, além da testemunha; porcentagem de inibição de emergência e desenvolvimento inicial de plantas invasoras em vaso, nas proporções de 10, 20, 30, 40 e 50 g, além da testemunha; influência da umidade do solo sobre emergência e desenvolvimento inicial de picão preto, com 70 e 50% da capacidade de campo, além da testemunha (100%); liberação de aleloquímicos pela permanência do material vegetal sobre o solo, analisados nos períodos de permanência de 0, 2, 4, 6 e 8 semanas.

Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância para verificação de significância e submetidos à análise de regressão a 5% de probabilidade, para identificar o modelo significativo de maior grau de regressão com ajuste aos dados. Os qualitativos foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Inicialmente, para avaliação da variabilidade dos dados, foi realizada a verificação da normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias, porém, as transformações, quando necessárias, foram realizadas de acordo com Pimentel Gomes (2000) e Banzatto e Kronka (2000) com auxílio do *software* Minitab® 14 e SISVAR (FERREIRA, 2008). Os dados em porcentagem foram transformados em  $\arcsen\sqrt{\frac{x}{100}}$  e os que não apresentaram distribuição normal foram submetidos à transformação de  $\sqrt{x}$ .

Para dados significativos, foram adicionadas a linha de tendência e a equação de regressão, conforme o modelo; para dados não significativos, foram apresentados apenas os valores médios plotados.

O coeficiente de variação (CV) foi classificado segundo critérios estabelecidos por Pimentel Gomes (2000), sendo estes considerados baixos até 10%, médios entre 10 e 20%, altos entre 20 e 30 % e muito altos acima de 30 %.

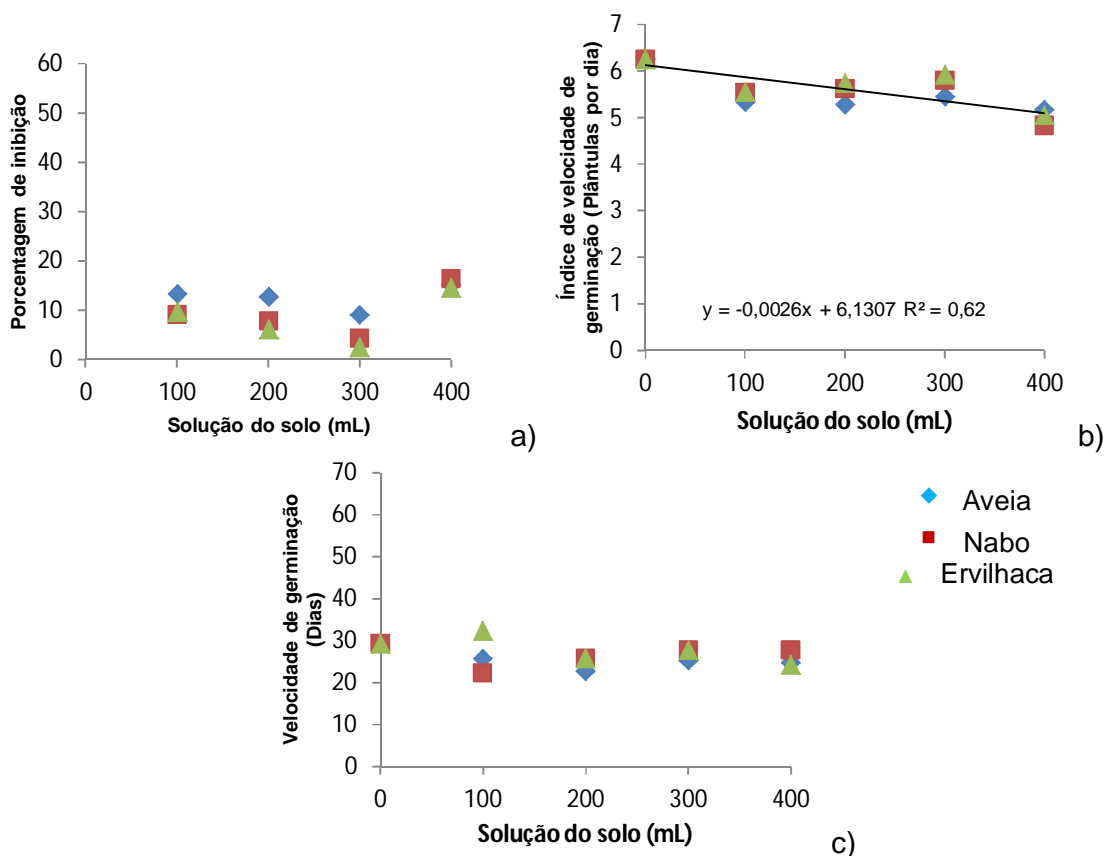


## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Manejo do resíduo vegetal de plantas de cobertura de inverno sobre picão preto

#### 5.1.1 Germinação e desenvolvimento de planta sob solução do solo extraída de área cultivada com plantas de cobertura

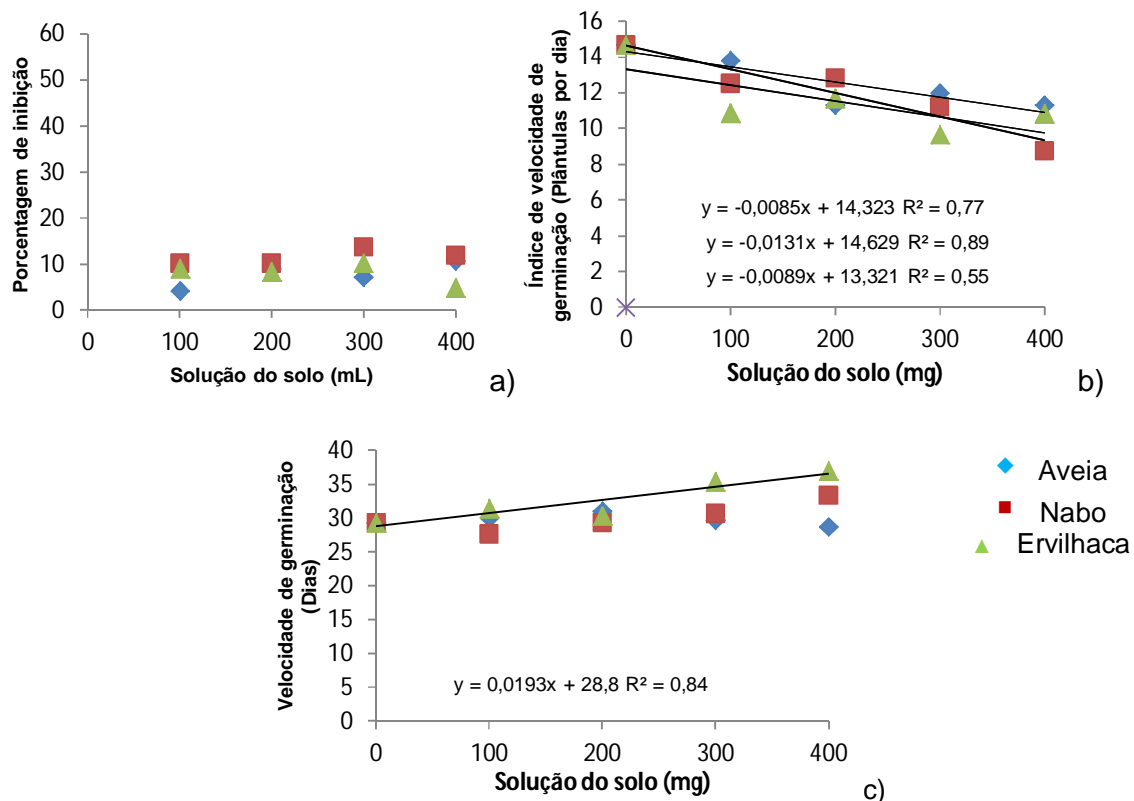
Na Figura 14, observa-se que, sob a solução do solo, coletada aos 15 dias após o corte das plantas de cobertura, apenas o IVG de sementes de picão preto sob solução de solo em área cultivada com nabo apresentou alteração significativa. Todavia, houve diminuição do número de sementes germinadas por dia conforme se aumentou a concentração da solução do solo. Porcentagem de inibição de germinação e VG não mostraram alterações sobre aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda.



**Figura 14** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

Como observado, muitas vezes, o efeito alelopático não ocorre sobre a germinabilidade, ou seja, o percentual final de germinação, mas sobre outros parâmetros do processo, como a velocidade de germinação (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Na Figura 15, ao se analisar a solução do solo coletada aos 30 dias após o corte das plantas de cobertura, pode-se verificar que, o IVG de sementes de picão preto diminuiu sob a solução de solo, extraída em áreas cultivadas com as três plantas analisadas, porém, o mesmo reduziu conforme se aumentou a concentração das soluções aplicadas.

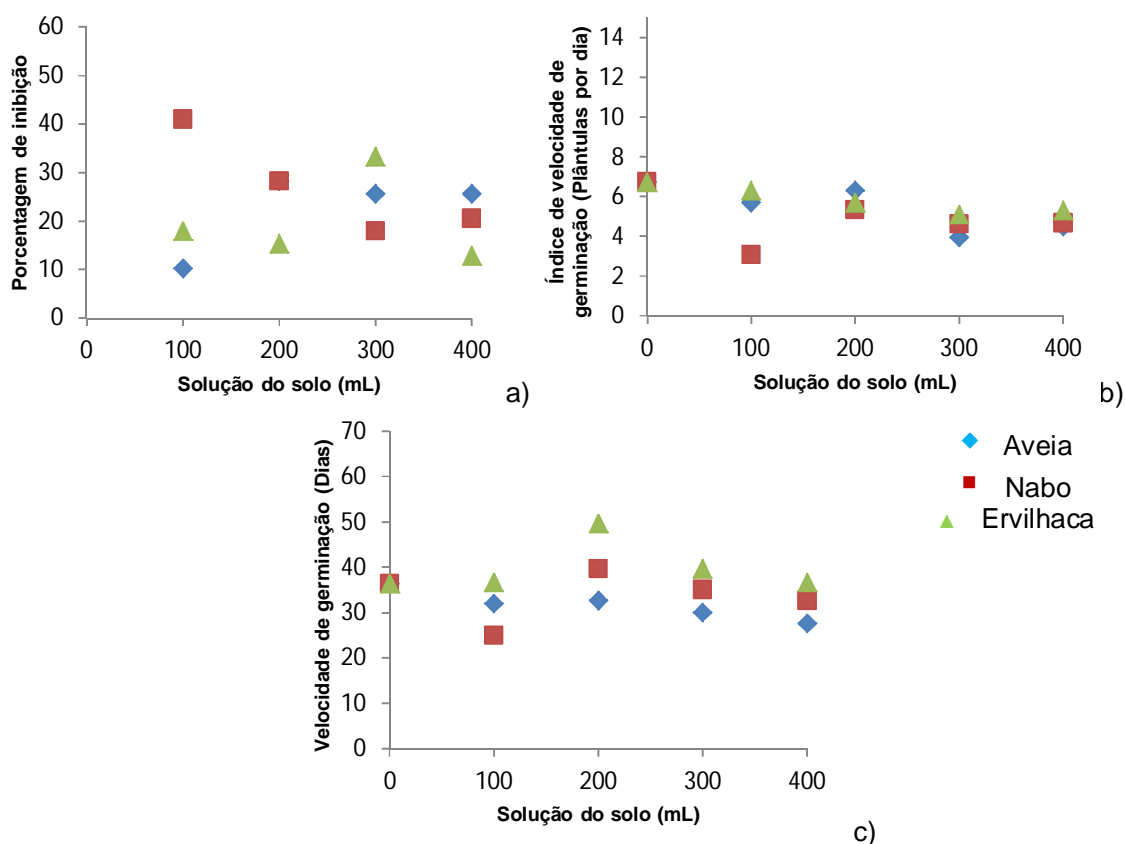


**Figura 15** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

A VG das sementes de picão preto foi influenciada sob solução de solo de ervilhaca, e assim, o número de dias que as sementes levaram para germinar foi aumentado conforme se aumentou a concentração da solução do solo. Já porcentagem de inibição de germinação não sofreu alterações significativas sobre aveia, nabo e ervilhaca.

Haja vista a alelopatia ser um mecanismo pelo qual determinadas plantas interferem no desenvolvimento de outras, pode se tornar fator de manejo de culturas, pelo uso de plantas que exercem controle sobre determinadas espécies indesejadas, obtendo-se sistemas de produção mais eficientes (GOLDFARB, PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

Como pode ser verificado na Figura 16, não houve alteração significativa nos parâmetros analisados porcentagem de inibição de germinação, IVG e VG quando utilizou-se solução de solo, extraída das áreas cultivadas com as três plantas de cobertura, na terceira coleta realizada, aos 45 dias após o corte das plantas de cobertura. Assim como resultados de Martins, Martins e Costa (2006), os quais estudaram a solução de solo em área com cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu por cinco anos e observaram que não houve influência da solução do solo sobre o IVG e porcentagem de plantas normais da planta invasora *Sida rhombifolia* (guanxuma)

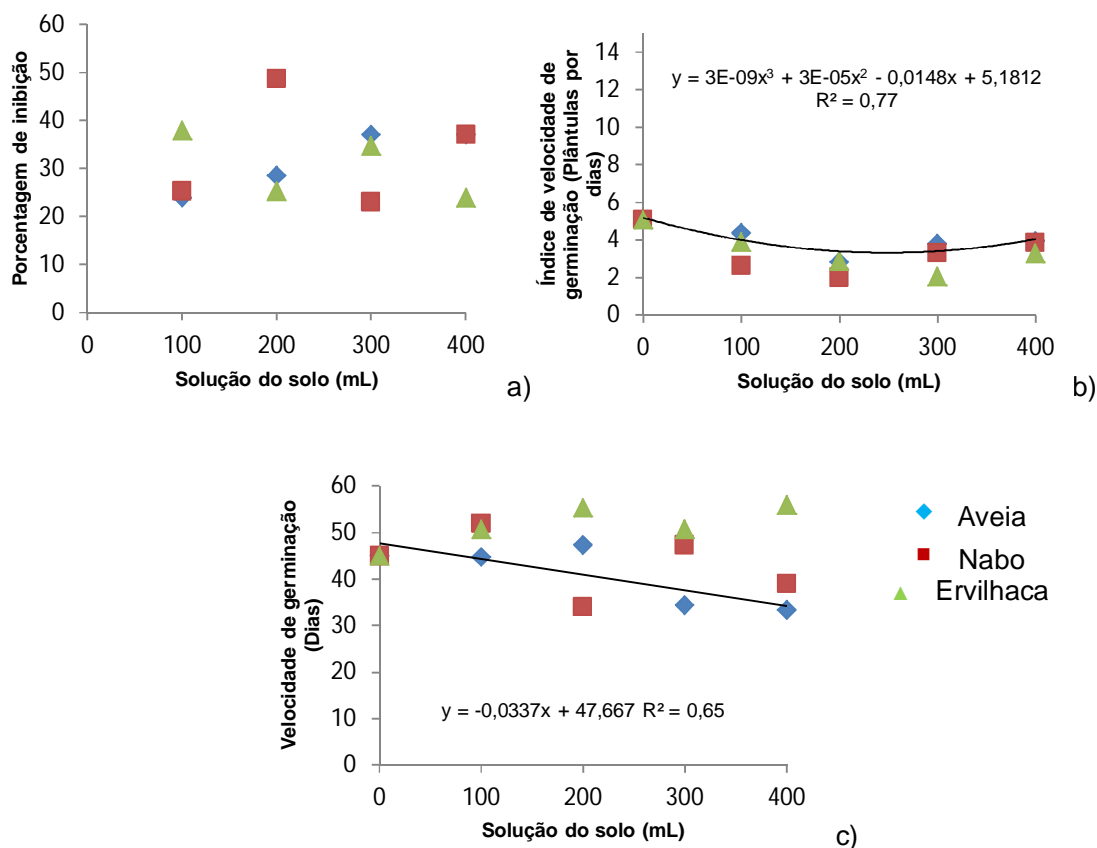


**Figura 16** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

Uma das possíveis causas da ausência de efeito é que as substâncias de origem vegetal, quando no solo, interagem fortemente com os coloides e podem também sofrer transformações microbianas responsáveis por sua desativação ou até mesmo degradação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O IVG das sementes submetidas à última coleta de solução do solo (Figura 17), aos 60 dias após o corte das plantas de cobertura, mostrou diferença estatística significativa sob

solução extraída em área cultivada com aveia preta; apresentou diminuição até a concentração de 200 mL e, acima desse valor, ocorreu novamente aumento do número de sementes germinadas por dia.



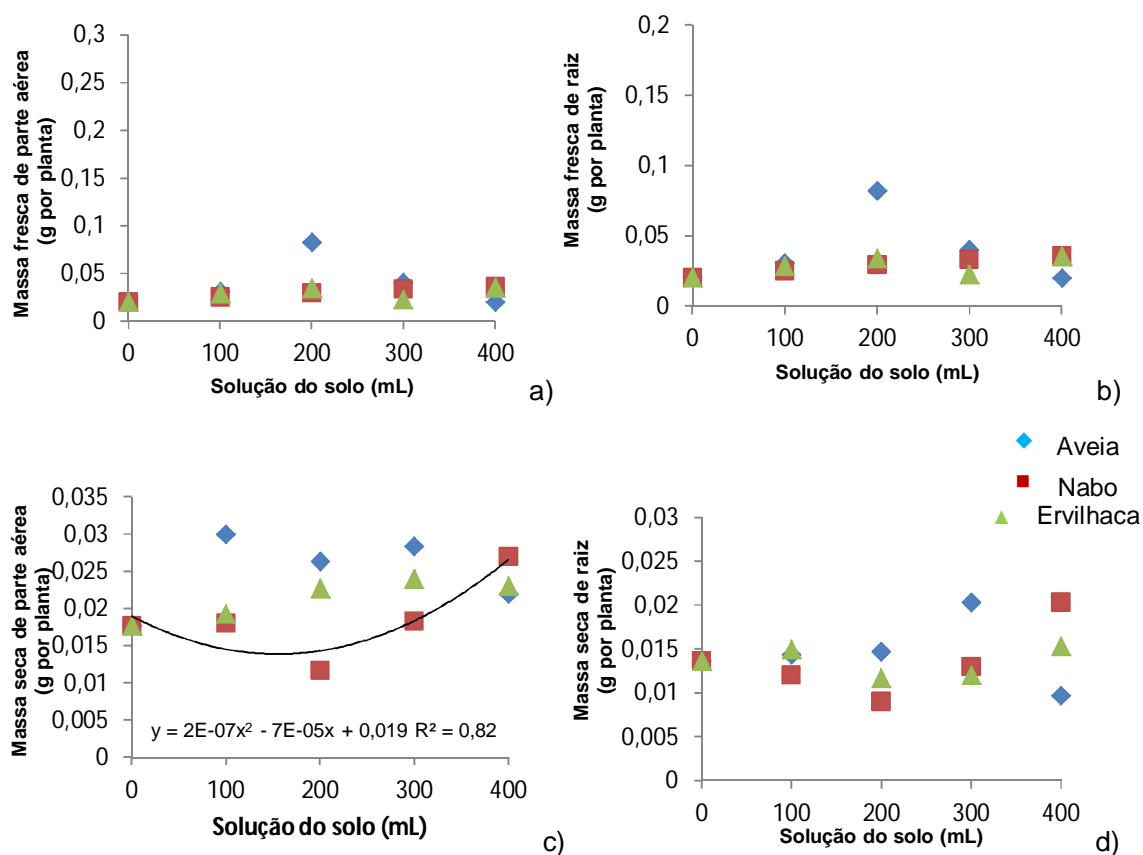
**Figura 17** a) Porcentagem de inibição de germinação, b) índice de velocidade de germinação e c) velocidade de germinação de sementes de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

Martins, Martins e Costa (2006) estudaram a solução de solo de uma área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (poácea), formada há mais de cinco anos, e observaram que, quando comparada à água destilada, a solução do solo diminuiu o IVG de *P. maximum* cv. Tanzânia, assim como ocorreu neste experimento com a aveia preta.

A VG também apresentou diferença estatística significativa sob a solução do solo extraída em área cultivada com aveia ao diminuir o número de dias que as sementes levaram para germinar, conforme se aumentou a concentração.

Na Figura 18, observa-se que a massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de picão preto, umedecidas com solução do solo extraída em área com nabo forrageiro, coletada aos 15 dias após o corte das plantas de cobertura, sofreu diminuição nas concentrações de 100 e 200 mL de solução de solo, entretanto, a mesma aumentou nas

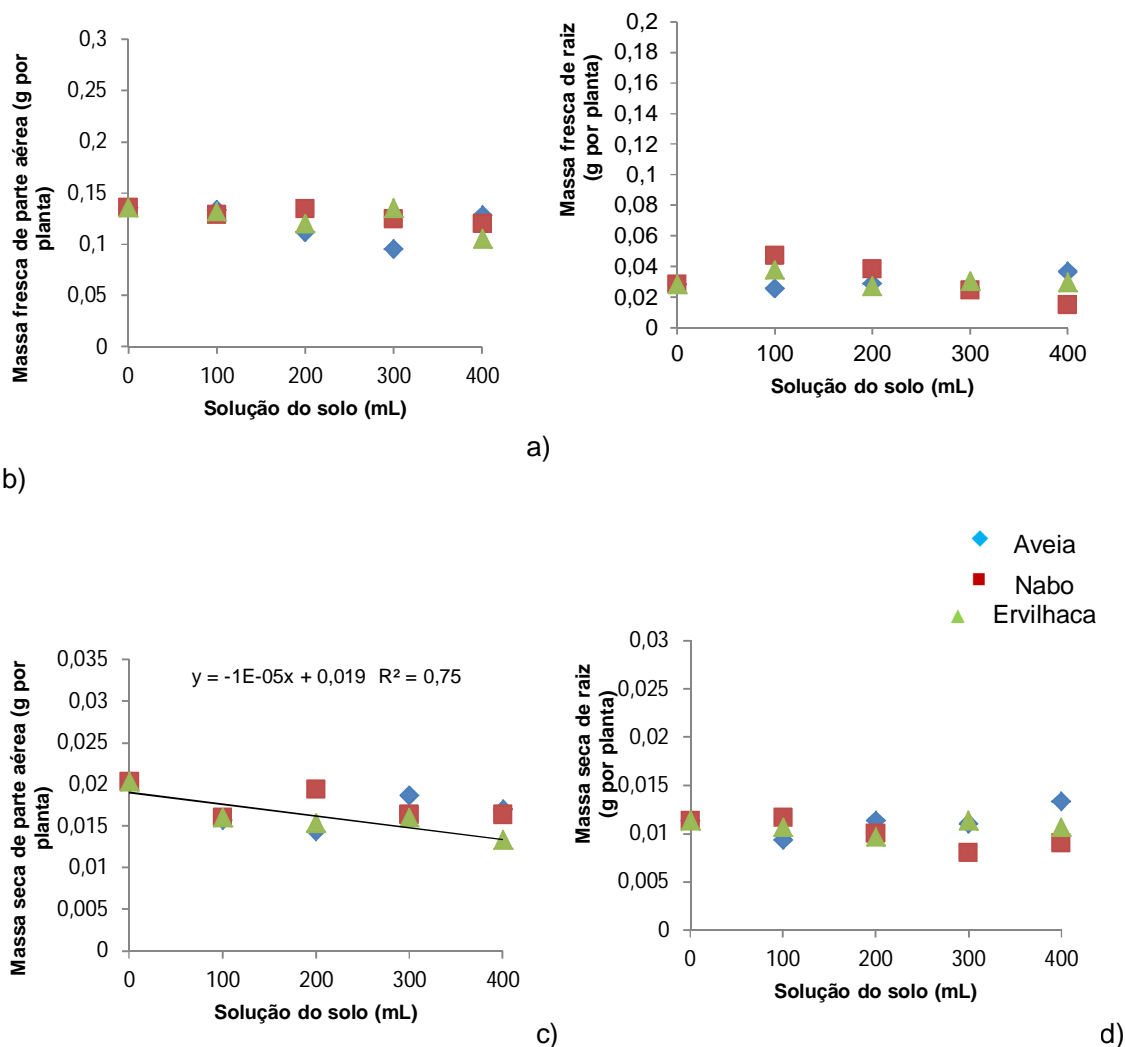
demais concentrações. Os demais parâmetros MFPA, MFR e MSR não sofreram alterações estatísticas significativas.



**Figura 18** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

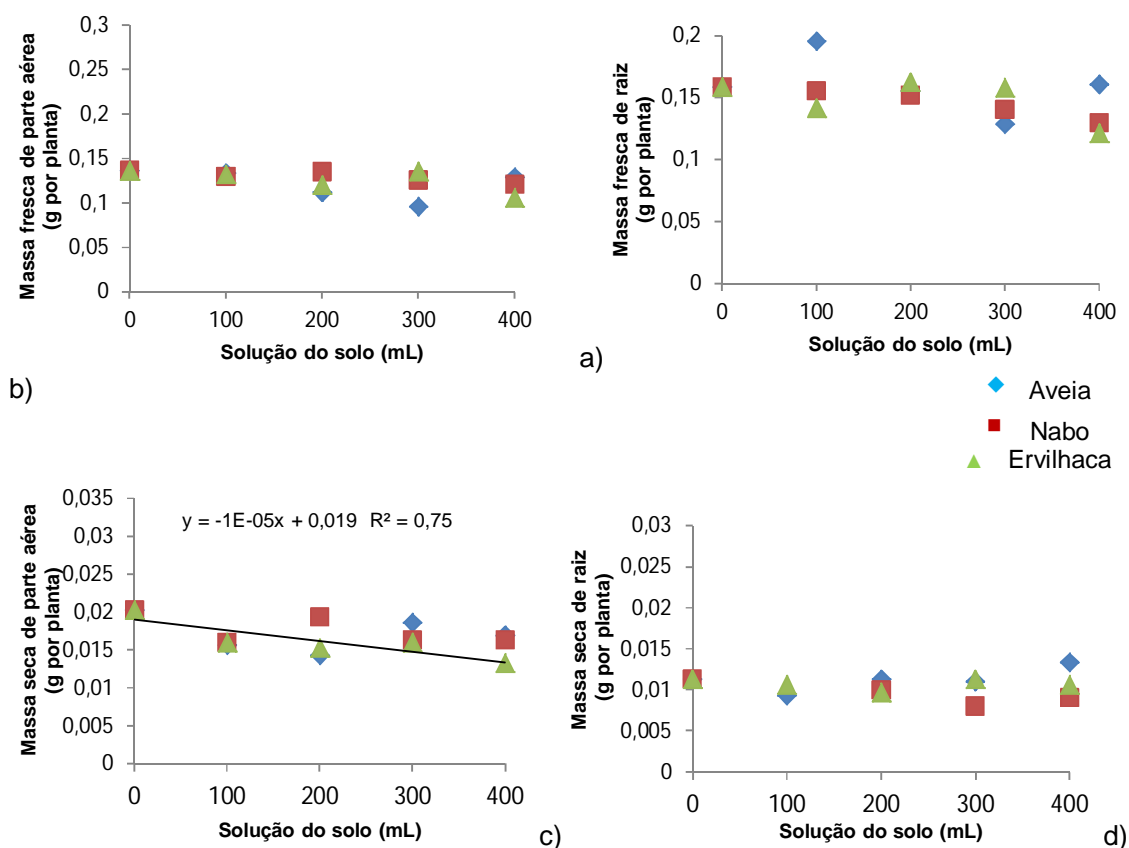
Quando trata-se de substâncias aleloquímicas, pode-se ter ausência de efeitos em concentrações baixas, efeitos positivos na medida em que se eleva a concentração, assim, é possível atingir efeitos que variam de negativos a letais para a planta. Portanto, sempre que se pensar no poder intrínseco da substância, deve-se considerar sua biodisponibilidade no solo, o qual pode ter influenciado neste caso (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Na Figura 19, verifica-se alteração na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de picão sob solução do solo coletada em área cultivada com ervilhaca, aos 30 dias após corte das plantas de cobertura. A mesma apresentou diminuição linear conforme se aumentou a concentração. Nos demais parâmetros, MFPA, MFR e MSR, não se verificou efeito significativo.



**Figura 19** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

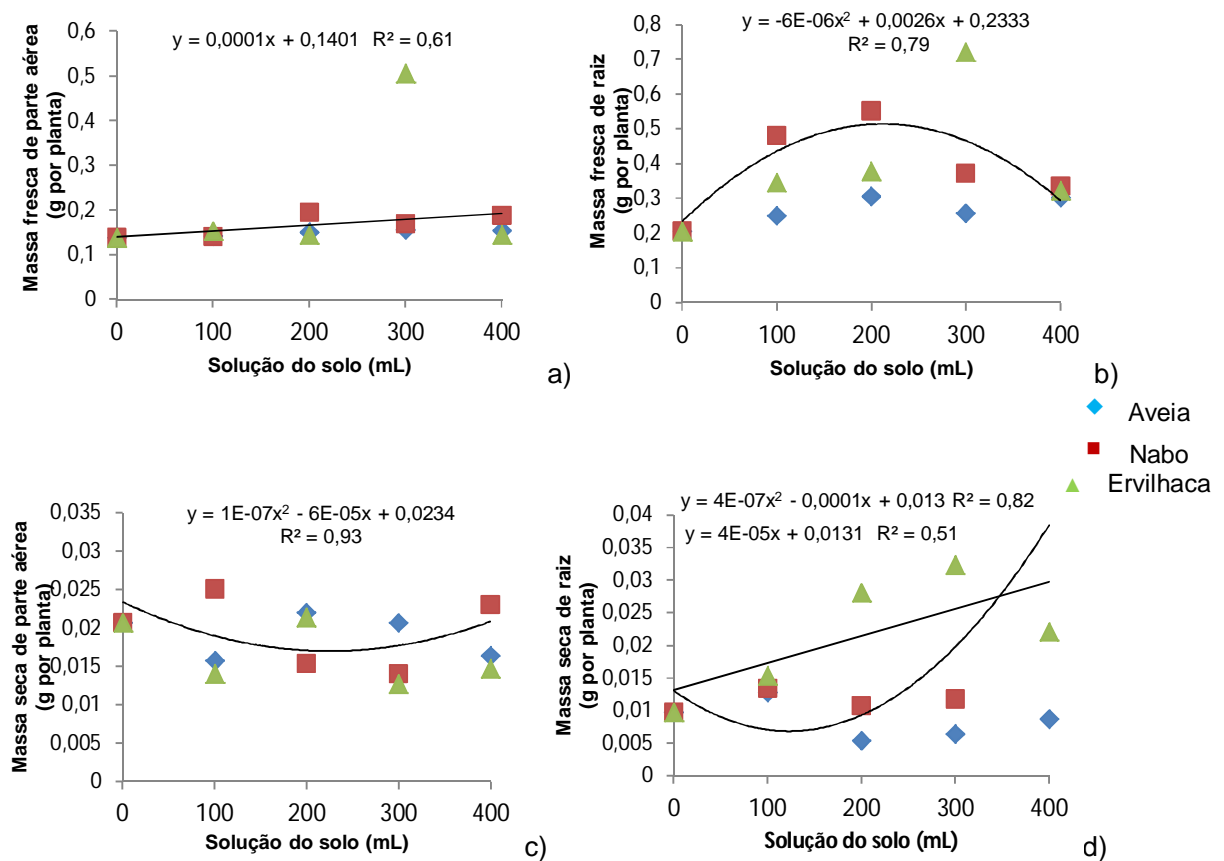
Na Figura 20, observa-se que os parâmetros massa fresca de parte aérea e raiz e massa seca de raiz de plantas de picão preto não apresentaram efeito significativo sob solução do solo, coletada 45 dias após corte das três plantas de cobertura. Apenas a massa seca da parte aérea sob solução do solo extraída em área cultivada com ervilhaca mostrou redução linear conforme se aumentou a concentração.



**Figura 20** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo nas proporções de 0, 100, 200, 300 e 400 mL L<sup>-1</sup>, coletada aos 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

Na Figura 21, verifica-se que a massa fresca de parte aérea de plantas de picão preto sob solução do solo, extraídas em área cultivada com nabo, aos 60 dias após corte das plantas de cobertura, mostrou-se sensível e apresentou aumento de massa conforme se aumentou a concentração da solução do solo. A massa fresca de raiz de plantas de picão preto também foi sensível à solução do solo de nabo e apresentou aumento significativo até a concentração de 200 mL com posterior diminuição.

A massa seca da parte aérea (Figura 21) de plantas de picão preto sob solução do solo extraída em área com nabo apresentou diminuição de massa até 200 mL com posterior aumento. A massa seca de raiz mostrou-se sensível à solução do solo de nabo e ervilhaca e apresentou diminuição inicial (100 mL) com posterior aumento no primeiro caso e aumento linear conforme aumentou-se a concentração de solução do solo, no segundo caso (sob ervilhaca).



**Figura 21** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto umedecidas com solução de solo coletada aos 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012).

Na Tabela 2, encontram-se os valores referentes à porcentagem de germinação, ao IVG e à VG de sementes de picão preto sob a solução do solo, extraída aos 15 dias após corte das plantas de cobertura, para testes que utilizaram areia como substrato.

A solução do solo da primeira coleta, extraída em área cultivada com as três plantas analisadas (aveia, nabo e ervilhaca), aplicadas concentradas sobre sementes de picão preto em substrato areia, não influenciou os parâmetros analisados.

Os aleloquímicos interagem no ambiente assim como os herbicidas e estão sujeitos aos processos de degradação por decomposição microbiana, fotólise, oxidação e processos de remoção ou transferência, tais como volatilização e adsorção (VIDAL; BAUMAN, 1997), possíveis causas da ausência de efeitos, observadas nas coletas de solução do solo deste experimento.



**Tabela 2** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de germinação (VG) de sementes de picão preto em substrato areia umedecidas com solução do solo, coletada aos 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

	Aveia	Nabo	Ervilhaca
% germinação			
Testemunha	90,66	90,66	90,66
Solução solo	70,66	90,33	90,20
Média Geral	80,66	90,49	90,43
CV	19,30	7,72	7,70
Valor F	0,59 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
IVG (Plântulas por dia)			
Testemunha	3,73	3,84	3,86
Solução solo	2,82	3,73	3,71
Média Geral	3,28	3,78	10,68
CV	18,10	10,84	10,68
Valor F	0,89 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
VG (Dias)			
Testemunha	31,33	31,30	31,33
Solução solo	26,00	27,66	27,00
Média Geral	28,66	29,50	22,53
CV	17,79	17,99	11,19
Valor F	0,45 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação

Na Tabela 3, encontram-se os valores de porcentagem de germinação, IVG e VG de sementes de picão preto sob a solução do solo, extraída aos 30 dias após corte das plantas de cobertura.

**Tabela 3** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de emergência (VG) de sementes de picão preto, em substrato areia umedecidas, com solução do solo, coletada 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

	Aveia	Nabo	Ervilhaca
% germinação			
Testemunha	100,00	100,00	100,00
Solução solo	90,00	90,67	90,66
Média Geral	95,00	95,33	95,34
CV	14,22	7,48	7,20
Valor F	2,46 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
IVG (Plântulas por dia)			
Testemunha	7,41	7,41	7,47
Solução solo	5,36	7,22	7,41
Média Geral	6,38	7,31	7,44
CV	21,25	14,11	19,14
Valor F	0,85 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
VG (Dias)			
Testemunha	26,66	26,66	28,66
Solução solo	19,33	25,66	26,66
Média Geral	23,00	26,16	27,66
CV	15,78	14,04	11,71
Valor F	6,12 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

Ao se analisar a solução do solo, coletada aos 30 dias após corte das plantas de cobertura, segunda coleta, não se observou alteração nos parâmetros avaliados.

Os valores referentes à porcentagem de germinação, ao IVG e à VG de sementes de picão preto umedecidas com solução do solo extraída na terceira coleta, aos 45 dias após corte das plantas de cobertura, estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de germinação (VG) de sementes de picão preto, em substrato areia, umedecidas com solução do solo, coletada 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

	% germinação		
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Testemunha	100,00	100,00	100,00
Solução solo	90,00	91,66	91,33
Média Geral	95,00	95,83	95,66
CV	7,72	5,44	6,60
Valor F	4,00 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
	IVG (Plântulas por dia)		
Testemunha	5,39	6,77	5,39
Solução solo	4,52	5,38	5,11
Média Geral	4,95	6,08	5,25
CV	14,58	14,39	9,19
Valor F	2,13 <sup>ns</sup>	3,74 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
	VG (Dias)		
Testemunha	34,66	34,66	34,66
Solução solo	26,33	31,00	33,33
Média Geral	30,50	32,83	34,00
CV	17,06	10,77	18,10
Valor F	1,08 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

Sob a solução do solo da terceira coleta, extraída em área cultivada com as três espécies de planta de cobertura, assim como nas anteriores, não se observou alteração nos parâmetros analisados.

Na Tabela 5, são apresentados os valores de porcentagem de germinação, IVG e VG de sementes de picão preto sob a última coleta de solução de solo, aos 60 dias após corte das plantas de cobertura.

A solução do solo não causou alteração na porcentagem de germinação de sementes de picão preto. Entretanto, observa-se que as sementes sob solução do solo extraída em área com ervilhaca sofreram alteração em outros processos da germinação, como IVG e VG. Tais dados corroboram com Ferreira e Borghetti (2004), os quais afirmaram

que o efeito alelopático pode ocorrer sobre outros parâmetros do processo, como a velocidade de germinação.

**Tabela 5** Porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade de germinação (VG) de sementes de picão preto, em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

% germinação			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Testemunha	100,00	100,00	100,00
Solução solo	90,00	90,66	90,33
Média Geral	95,00	95,33	95,16
CV	25,67	12,46	2,09
Valor F	1,47 <sup>ns</sup>	3,94 <sup>ns</sup>	64,00 <sup>ns</sup>
IVG (Plântulas por dia)			
Testemunha	5,83	5,83	5,83 a
Solução solo	4,17	4,84	3,83 b
Média Geral	5,00	5,33	4,83
CV	15,28	12,32	7,40
Valor F	1,61 <sup>ns</sup>	16,70 <sup>ns</sup>	47,25*
VG (Dias)			
Testemunha	69,66	69,66	69,66 a
Solução solo	38,00	41,33	38,66 b
Média Geral	53,83	55,50	54,16
CV	27,42	20,78	5,02
Valor F	1,53 <sup>ns</sup>	2,05 <sup>ns</sup>	47,26*

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

Tal fato pode ter ocorrido devido a ervilhaca ter decomposição mais rápida em comparação com as demais e disponibilizar então, mais rapidamente, substâncias alelopáticas na solução do solo.

De acordo com Crusciol et al. (2008), 53 dias após o manejo da cobertura vegetal aveia preta, 33,6% da quantidade de massa seca inicial ainda persistiam no solo, dado que evidencia a baixa decomposição dos resíduos das gramíneas. Talvez o tempo de coleta para este experimento tenha sido curto para avaliar a disponibilidade dessas substâncias, pois as alterações começaram a aparecer nos parâmetros mais sensíveis aos 60 dias após o corte das coberturas, o que também foi observado na Figura 21.

Na Tabela 6, são apresentados os valores referentes à massa fresca e seca da parte aérea e raiz de plantas de picão preto sob solução do solo extraída na primeira coleta.

**Tabela 6** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 15 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

MFPA (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Testemunha	0,11	0,11 b	0,12
Solução solo	0,16	0,18 a	0,10
Média Geral	0,14	0,15	0,12
CV	29,16	9,98	5,93
Valor F	1,96 <sup>ns</sup>	18,75 <sup>*</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
MFR (g por planta)			
Testemunha	0,13	0,13	0,12
Solução solo	0,06	0,07	0,09
Média Geral	0,09	0,10	0,09
CV	7,61	8,14	5,71
Valor F	1,03 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>
MSPA (g por planta)			
Testemunha	0,01	0,02	0,02
Solução solo	0,02	0,03	0,02
Média Geral	0,02	0,03	0,02
CV	1,03	0,79	0,40
Valor F	0,14 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>
MSR (g por planta)			
Testemunha	0,02	0,04	0,01
Solução solo	0,04	0,05	0,04
Média Geral	0,03	0,04	0,03
CV	2,65	4,08	2,50
Valor F	0,33 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação

Como pode ser observado, apenas MFPA de plantas de picão preto sob a solução do solo de nabo forrageiro mostrou diferença significativa e foi maior quando aplicada a solução do solo do que na ausência da mesma. Todavia, não houve alteração nos demais parâmetros.

Diferente do ocorrido neste experimento, Martins, Martins e Costa (2006) observaram que a solução do solo, coletada em área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Poácea), formada há mais de cinco anos, aumentou o comprimento da parte aérea e da raiz da planta invasora *Sida rhombifolia* (Guanxuma).

A solução do solo coletada aos 30 dias após o corte das plantas de cobertura, aplicada sob plantas de picão preto, não causou alteração significativa, considerando as três plantas analisadas (Tabela 7).

**Tabela 7** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 30 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

MFPA (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Testemunha	0,11	0,12	0,12
Solução solo	0,14	0,14	0,09
Média Geral	0,13	0,12	0,11
CV	25,58	28,27	35,08
Valor F	0,57 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
MFR (g por planta)			
Testemunha	0,14	0,13	0,14
Solução solo	0,07	0,08	0,03
Média Geral	0,10	0,11	0,08
CV	8,43	8,16	5,84
Valor F	0,63 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	3,16 <sup>ns</sup>
MSPA (g por planta)			
Testemunha	0,03	0,02	0,01
Solução solo	0,02	0,05	0,02
Média Geral	0,02	0,03	0,02
CV	1,04	1,75	0,39
Valor F	0,14 <sup>ns</sup>	3,85 <sup>ns</sup>	4,00 <sup>ns</sup>
MSR (g por planta)			
Testemunha	0,04	0,03	0,04
Solução solo	0,02	0,04	0,01
Média Geral	0,03	0,04	0,03
CV	2,65	4,08	2,50
Valor F	0,33 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

Martins, Martins e Costa (2006) também constataram que a solução do solo, coletada em área cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu há mais de cinco anos, não influenciou no comprimento da parte aérea e da raiz de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, assim como ocorreu com a solução do solo extraída em área cultivada com aveia preta neste experimento.

Na Tabela 8, encontram-se os valores referentes à terceira coleta de solução do solo, aos 45 dias após corte das três plantas de cobertura. Verifica-se que apenas a massa fresca de parte aérea de plantas de picão preto sob a solução do solo extraída em área cultivada com aveia foi significativa. A massa das plantas aumentou com a presença da solução de solo quando comparada à testemunha, na qual se adicionou apenas água. Os demais parâmetros não foram afetados significativamente.

**Tabela 8** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 45 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

MFPA (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Testemunha	0,11 b	0,12	0,12
Solução solo	0,17 a	0,10	0,09
Média Geral	0,14	0,11	0,10
CV	4,99	2,97	3,25
Valor F	75,00*	0,20 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
MFR (g por planta)			
Testemunha	0,14	0,13	0,14
Solução solo	0,07	0,03	0,10
Média Geral	0,10	0,08	0,12
CV	4,81	5,52	4,79
Valor F	1,66 <sup>ns</sup>	3,98 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
MSPA (g por planta)			
Testemunha	0,03	0,02	0,02
Solução solo	0,02	0,04	0,03
Média Geral	0,02	0,03	0,02
CV	0,39	0,66	0,79
Valor F	4,00 <sup>ns</sup>	12,00 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
MSR (g por planta)			
Testemunha	0,04	0,04	0,04
Solução solo	0,02	0,02	0,03
Média Geral	0,03	0,03	0,04
CV	2,65	2,11	1,00
Valor F	0,32 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

Na Tabela 9, encontram-se os valores referentes à última coleta de solução do solo, aos 60 dias após o corte das plantas de cobertura.

Verifica-se que, a massa fresca de raiz sob a solução do solo extraída em área cultivada com ervilhaca apresentou alteração significativa e aumentou com a presença da solução do solo quando comparada à testemunha. Nos demais parâmetros não foram verificadas alterações significativas.

Uma das principais variáveis analisadas nos testes alelopáticos é a germinação, entretanto, essa é menos sensível aos aleloquímicos do que o desenvolvimento de planta (SOUZA FILHO et al., 2010). Contudo, não foi o que ocorreu nestes testes, em que as soluções do solo, extraídas em área com nabo e ervilhaca, alteraram os padrões de germinação de sementes picão preto e não afetaram o desenvolvimento inicial de planta.

**Tabela 9** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas de picão preto (g por planta), em substrato areia, umedecidas com solução do solo coletada 60 dias após corte das plantas de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Catanduvas, PR (2012)

MFPA (g planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Testemunha	0,12	0,12	0,13
Solução solo	0,18	0,11	0,12
Média Geral	0,15	0,11	0,12
CV	4,48	2,87	4,65
Valor F	1,81 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
MFR (g por planta)			
Testemunha	0,15	0,14	0,15 b
Solução solo	0,66	0,28	0,52 a
Média Geral	0,41	0,22	0,33
CV	10,77	12,48	6,08
Valor F	9,57 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	17,56 <sup>ns</sup>
MSPA (g por planta)			
Testemunha	0,02	0,02	0,02
Solução solo	0,04	0,03	0,03
Média Geral	0,03	0,02	0,02
CV	1,02	1,17	0,39
Valor F	9,14 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	16,00 <sup>ns</sup>
MSR (g por planta)			
Testemunha	0,04	0,04	0,04
Solução solo	0,10	0,03	0,08
Média Geral	0,07	0,03	0,06
CV	2,27	3,62	5,49
Valor F	8,30 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

Outro fator observado foi que, em areia, mesmo com a solução do solo concentrada, os efeitos foram menores do que quando foi utilizado papel germiteste como substrato.

Em solos, os aleloquímicos podem ter atividade limitada no espaço e no tempo. As limitações de espaço ocorrem porque, mesmo se todos os presentes nos resíduos vegetais fossem liberados de uma só vez e a degradação microbiana e adsorção fossem impedidas, o desempenho desses produtos químicos naturais seriam limitados, especialmente, as sementes próximas à planta doadora ou dos resíduos em decomposição. A limitação de tempo ocorre porque os aleloquímicos não são liberados de uma só vez a partir dos resíduos em decomposição, e também porque os processos de degradação e remoção podem reduzir a concentração disponível na solução do solo (VIDAL; BAUMAN, 1997) e isso pode ter ocorrido nestes experimentos.

Uchino *et al.* (2012) estudaram o efeito de plantas de cobertura sobre plantas invasoras da soja e concluíram que a ervilhaca e o centeio podem suprimir, de forma eficaz,

essas plantas, sem reduções de produtividade das culturas principais em sistemas de cultivo orgânico.

Entretanto, deve-se considerar também o efeito nutricional proporcionado pela solução do solo, visto que na solução do solo podem estar presentes alguns íons como Ca, Mg, K, Na, Fe, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> e Si(OH)<sub>4</sub> e as raízes das plantas absorvem um íon por fluxo de massa ou difusão se ele se encontrar na solução do solo (MEURER, 2010). Isso explicaria os maiores valores encontrados para desenvolvimento inicial de picão preto, em alguns casos, quando na presença de solução do solo.

### **5.1.2 Porcentagem de inibição de emergência e desenvolvimento inicial de plantas invasoras em vaso**

Nas Figuras 22 e 23 são apresentados os valores referentes à emergência de plântulas (% de inibição de emergência, IVE, VE) e desenvolvimento inicial de plantas (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de picão preto sob as quantidades de resíduos vegetais de plantas de cobertura.

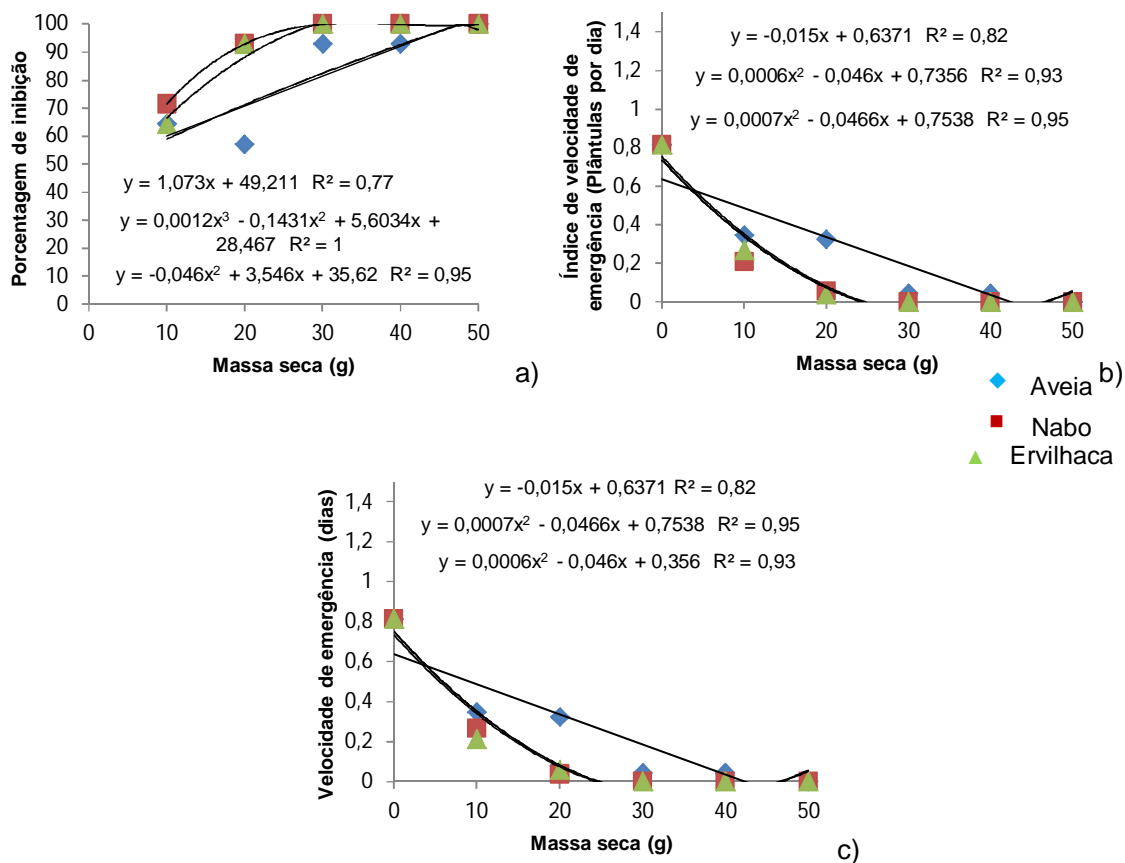
Na Figura 22, verifica-se que a porcentagem de inibição de picão preto sob a aveia apresentou comportamento linear e a inibição aumentou conforme se aumentou a quantidade de massa vegetal sobre o solo.

Já na porcentagem de inibição sob nabo e ervilhaca, houve aumento até 30 g de massa vegetal. Em seguida, ocorreu estabilização, logo, não surgiram maiores alterações com aumento da massa vegetal. Mas, em todos os casos, ocorreu alguma inibição na presença de massa sobre o solo quando comparado com a testemunha, sem massa. Isso indica que, com a presença de resíduo sobre o solo, mesmo que em pequenas quantidades, pode-se reduzir substancialmente o número de plantas invasoras emergidas, permitindo também à cultura melhor desenvolvimento inicial pela redução da interferência causada por elas (RIZZARDI; SILVA; VARGAS, 2006).

Corroborando com esses resultados, Mauli et al. (2011) estudaram as mesmas espécies e concluíram que quanto maior a quantidade de resíduos vegetais sobre o solo menor a incidência de plantas invasoras.

Em estudos que comparavam as plantas de cobertura aveia preta e nabo forrageiro e épocas de controle, Rizzardi e Silva (2006) concluíram que, dentre todas as épocas avaliadas, a aveia preta apresentou maior supressão de plantas invasoras. Entretanto, neste experimento, o nabo forrageiro atingiu maior supressão de invasoras em menores quantidades de massa vegetal quando comparado à aveia preta.





**Figura 22** a) Percentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob quantidades de resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Cascavel, PR, 2011.

Balbinot Junior et al. (2003) pesquisaram os efeitos de resíduos de ervilhaca sobre plantas invasoras e verificaram que  $9,4 \text{ t ha}^{-1}$  reduziram cerca de 12 vezes a densidade de plantas não poaceas, quando comparada com ausência de resíduo sobre o solo.

Assim como Rosa et al. (2011), ao estudarem o efeito de fabáceas (*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr, *Cajanus cajan* L. e *Stylosanthes capitata e macrocephala*), concluíram que todas apresentaram menores valores de incidência de plantas invasoras quando comparadas à testemunha. No mesmo trabalho, em testes com extratos das plantas, os autores observaram que a espécie *Mucuna deeringiana* afetou negativamente a germinação de sementes de guanxuma (ROSA et al., 2011). Ainda, utilizando as mesmas plantas, em experimento com consórcio de milho, os autores observaram maior número de invasoras nas parcelas cultivadas em pousio e encontraram porcentagens de redução de invasoras de 52, 43 e 29% para as plantas de cobertura *Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr, *Canus cajan* L. e *Stylosanthes capitata e macrocephala*, respectivamente (ROSA et al., 2012).

Tais alterações observadas nos padrões de germinação podem ser resultado de efeitos sobre a permeabilidade de membranas, a transcrição e tradução do DNA; do funcionamento dos mensageiros secundários; da respiração, por sequestro de oxigênio (fenóis); da conformação das enzimas e de receptores ou, ainda, da combinação desses fatores (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Ao se analisar o IVE (Figura 22), observa-se redução do número de plântulas emersas por dia conforme se aumentou a quantidade de massa vegetal das três plantas analisadas.

Os níveis de resíduo vegetal das coberturas no solo são importantes na redução do IVE, como verificado por Trezzi et al. (2006), em que o IVE da planta invasora leiteiro foi reduzido conforme o aumento do nível de resíduo de aveia na superfície do solo. Os autores relataram ainda que essa redução pode ser explicada pelo sombreamento do solo e pela manutenção de menor amplitude térmica nestas condições. O atraso na emergência associado a outras reduções de variáveis analisadas poderia aumentar o período de tempo para realização do controle químico, assim a operação se tornaria mais eficiente.

Os mesmos autores observaram que a aveia e o sorgo foram capazes de reduzir o índice de velocidade de emergência, quando os níveis de palha foram aumentados na superfície do solo, assim como verificado neste experimento.

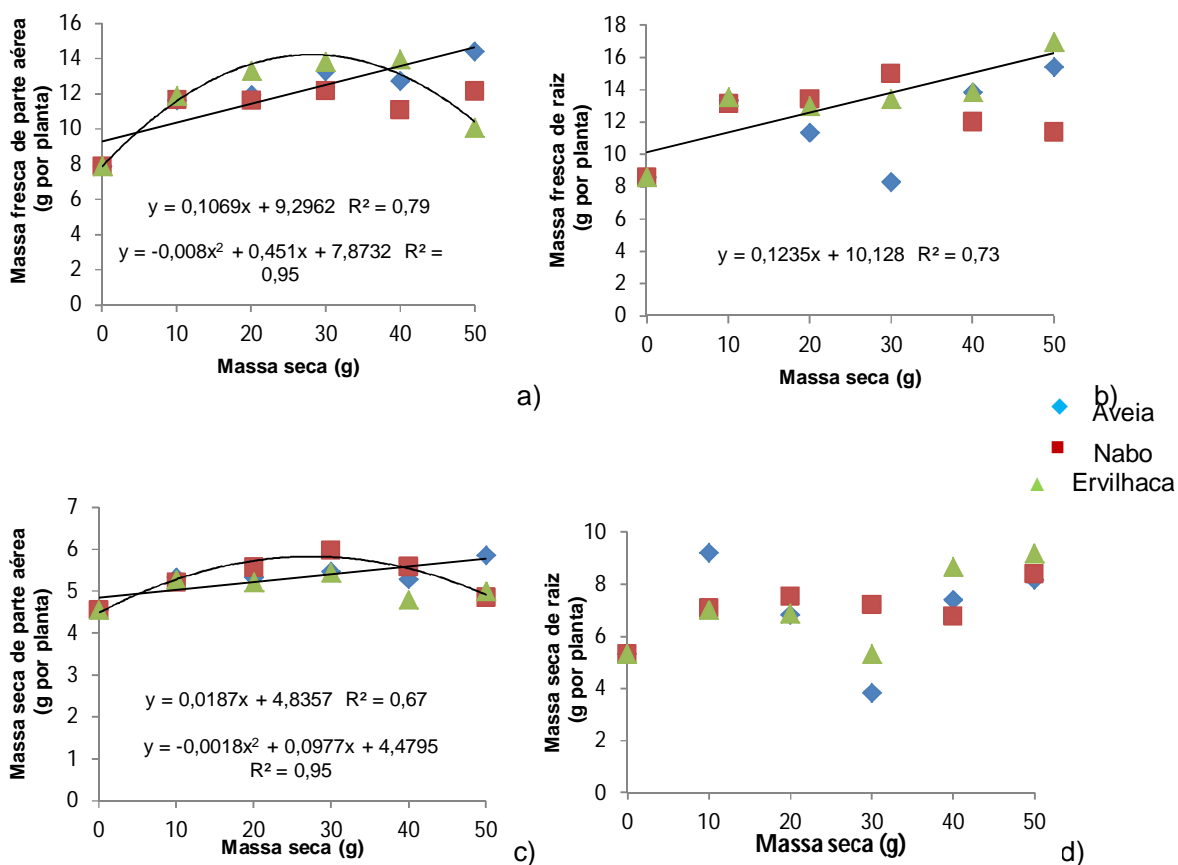
A VE apresentada na Figura 22 também mostrou diminuição conforme se aumentou a deposição de massa vegetal sobre o solo, ou seja, o número de dias que as plântulas levaram para emergir aumentou conforme o aumento da massa vegetal.

Diferente do observado neste experimento, Moraes et al. (2011b) verificaram que o aumento nos níveis de resíduos de nabo forrageiro sobre o solo aumentou a VE da planta invasora *Digitaria* spp.

Observou-se que 30 g de massa (22,5 t ha<sup>-1</sup>) foram suficientes para inibir o picão preto e 20 g (15 t ha<sup>-1</sup>) para diminuir consideravelmente o número de plântulas emersas por dia para nabo e ervilhaca, as quais foram acompanhadas pela aveia que talvez, por sua decomposição mais lenta, tenha efeitos menos pronunciados.

Entretanto, as três espécies também diminuíram o número de dias que o picão preto levou para emergir. De maneira geral, as três plantas foram eficientes no controle de picão preto já a partir de 20 g de resíduo sobre o solo, visto que não há necessidade de erradicação da invasora e sim, apenas seu controle.

Na Figura 23, é possível observar o comportamento linear da massa fresca de parte aérea de picão preto sob aveia, o qual aumentou à medida que se aumentou a massa de aveia sobre o solo. Já sob a ervilhaca, a massa de parte aérea aumentou até 30 g de resíduo vegetal e depois apresentou redução nos 40 e 50 g.



**Figura 23** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob quantidades de resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Cascavel, PR, 2011.

Norsworthy (2003), em estudo com nabo forrageiro incorporado ao solo, verificou que a massa fresca da planta invasora guaxuma foi reduzida com o aumento da porcentagem de resíduos incorporados ao solo. Logo, há discordância de dados observados neste trabalho com picão preto.

Na massa fresca de raiz, houve apenas alteração significativa sob ervilhaca com aumento linear conforme se aumentou a deposição de resíduo vegetal sobre o solo.

Norsworthy (2003) também observou que resíduos de nabo forrageiro inibiram severamente as raízes de guaxuma e mata-pasto na medida em que se aumentou a quantidade de resíduos incorporados ao solo. O que não ocorreu neste experimento sobre picão preto.

No caso de massa seca de parte aérea de picão preto, houve aumento linear conforme se aumentou o resíduo de aveia preta. Sob o nabo, houve aumento de massa seca até 30 g e diminuição aos 40 e 50 g (Figura 23).

Em estudos com nabo forrageiro, Rizzardi et al. (2006) concluíram que 9 t ha<sup>-1</sup> foram suficientes para diminuir a massa seca de plantas invasoras, diferindo de 6 t ha<sup>-1</sup> e do pousio. Todavia, neste experimento, foram necessárias 22,5 t ha<sup>-1</sup> para iniciar a diminuição da MSPA de picão preto.

Severino e Christoffoleti (2001) observaram que os adubos verdes amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-guandu-anão (*Cajanus cajan*) também reduziram a produção de fitomassa das plantas invasoras picão preto, capim-braquiária e capim-colonião.

Diferente dos resultados observados nesse experimento, Balbinot Júnior et al. (2003) observaram redução de aproximadamente oito vezes da MSPA de plantas invasoras submetidas a 9,4 t ha<sup>-1</sup> de ervilhaca, quando comparada a 4,7 t ha<sup>-1</sup> e ao solo sem cobertura. Isso evidencia que o aumento de resíduos dessa fabácea influenciou, de maneira intensa, o acúmulo de massa das plantas invasoras.

O desenvolvimento inicial de picão preto não se mostrou sensível negativamente aos resíduos em questão, exceto para parte aérea sob ervilhaca e nabo, os quais provocaram diminuição a partir de 30 g. Os demais parâmetros, quando significativos, melhoraram o desenvolvimento de picão preto.

As diferentes respostas dos resíduos vegetais sobre a planta invasora podem ser justificadas pela sua constituição química, associada ou não às propriedades alelopáticas, e até mesmo pela geometria (forma e tamanho) do resíduo vegetal, que condicionará uma cobertura mais eficiente do solo (CORREIA et al., 2006).

Chikoye et al. (2008) ressaltaram que o uso de plantas de cobertura, seja qual for, pode suprimir plantas invasoras mais rapidamente que em solos deixados em pousio.

No entanto, deve-se levar em consideração também o efeito físico de supressão promovido pela presença dos resíduos das plantas de cobertura sobre o solo, devido à proteção que proporcionam ao solo contra a incidência direta dos raios infravermelhos, os quais são responsáveis pela quebra de dormência de algumas sementes e pela redução da temperatura do solo, que inibe a germinação da maioria das espécies (SALTON et al., 1998).

De acordo com Monquero et al. (2009), o efeito físico da cobertura vegetal sobre o solo também reduz as chances de sobrevivência das plântulas de espécies que contenham pequena quantidade de reservas nos diásporos. Essas reservas podem não ser suficientes para garantir a sobrevivência da plântula até que tenha acesso à luz e inicie-se o processo fotossintético.

### 5.1.3 Influência da umidade do solo sobre emergência e desenvolvimento inicial de picão preto

Na Tabela 10, são apresentados os valores referentes à emergência de plântulas de picão preto sob 50 e 70% da capacidade de campo, em solo esterilizado. A porcentagem de inibição de emergência de picão preto foi significativa sob a aveia e a ervilhaca. Em ambos os casos, a inibição em 70% da capacidade de campo foi maior do que em 50%, porém, sob a aveia este resultado chegou a mais que 85%, mas sob o nabo não houve diferença significativa.

**Tabela 10** Porcentagem de inibição de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE) de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo esterilizado. Cascavel, PR (2013)

% de inibição de emergência			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
50%	49,92 b	64,23	55,41 b
70%	85,69 a	67,00	57,08 a
Média Geral	67,91	65,61	56,24
CV	7,11	11,57	1,73
Valor F	25,00*	0,33 <sup>ns</sup>	26,00*
IVE (Plântulas por dia)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,81 a	0,80 a	0,82 a
50%	0,36 b	0,22 b	0,37 b
70%	0,11 b	0,24 b	0,29 b
Média Geral	0,42	0,43	0,48
CV	5,63	19,86	18,31
Valor F	41,87*	48,82*	28,96*
VE (Dias)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,80 a	0,81	0,81 a
50%	0,55 a	0,45	0,41 b
70%	0,16 b	0,44	0,50 b
Média Geral	0,50	0,54	0,58
CV	27,48	9,46	10,98
Valor F	16,69*	3,61 <sup>ns</sup>	32,95*

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

Quando se observa o IVE, percebe-se que esse foi significativo sob as três espécies analisadas. E quando comparado ao controle, o IVE foi menor em 50 e 70%, entretanto, não diferiram entre si. Isto quer dizer que, o número de plântulas que emergiram por dia foi menor quando o solo encontrava-se com 100% da capacidade de campo.

A VE foi significativa apenas sob a aveia e a ervilhaca. Sob a aveia, a VE foi menor em 70%, porém, em 50% da amostra e para as plantas controle não houve diferença as mesmas. Sob a ervilhaca, 50 e 70% apresentaram VE menor do que as plantas controle,

mas não diferiram entre si. Logo, as plântulas sob a aveia a 70% e a ervilhaca a 50 e 70% levaram mais dias para emergir do que 100% da capacidade de campo (Tabela 13).

Uma das vantagens deste atraso na emergência das plantas invasoras é o aumento do tempo para realização do controle adequado, o que tornaria mais eficiente a operação em condições de campo (MORAES et al., 2011a).

Na Tabela 11, encontram-se os valores de emergência de plântulas de picão preto sob 50 e 70% da capacidade de campo, em solo não esterilizado.

**Tabela 11** Porcentagem de inibição de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE) de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo não esterilizado. Cascavel, PR (2013)

% Inibição de emergência			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
50%	57,08 b	58,00 b	49,92 b
70%	85,69 a	78,54 a	71,37 a
Média Geral	71,39	67,81	60,66
CV	12,27	22,38	25,02
Valor F	16,00*	13,00*	13,99 *
IVE (Plântulas por dia)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,89 a	0,88 a	0,89 a
50%	0,27 b	0,37 b	0,25 b
70%	0,11 c	0,16 c	0,23 b
Média Geral	0,43	0,47	0,42
CV	15,04	24,02	28,37
Valor F	124,08*	32,72*	24,82*
VE (Dias)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,89 a	0,89 a	0,89 a
50%	0,51 b	0,53 b	0,50 b
70%	0,17 c	0,24 c	0,29 c
Média Geral	0,52	0,55	0,57
CV	9,84	15,46	12,30
Valor F	10,82*	42,42*	4,35*

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns=não significativo; \*=significativo; cv= coeficiente de variação.

A inibição de picão preto foi significativa apenas sob a aveia e apresentou dados com dispersão média, mas, a 70% de água disponível, houve inibição de 85,69%, diferindo de 50%. Sob o nabo e a ervilhaca, não houve diferença significativa.

O IVE foi significativo em solo não esterilizado sob as três plantas analisadas. O número de plântulas emersas por dia apresentou comportamento similar sob a aveia e o nabo, porém, 50 e 70% diferiram do controle e também entre si. Com 70% de água disponível, foi observado menor IVE. Sob a ervilhaca, houve diferença significativa entre o controle e 50 e 70% de água disponível, assim, esses últimos apresentaram menores

valores de IVE, mas sem diferença entre si.

A VE de plântulas de picão preto em solo não esterilizado foi significativa sob aveia, nabo e ervilhaca. As três plantas proporcionaram comportamento semelhante sob a VE de picão preto, porém, 50 e 70% diferiram do controle e diferiram entre si, mas a VE foi ainda menor em 70% de água disponível.

Baseados nos resultados acima, é possível considerar que 70% de água disponível no solo ocasionaram maior inibição de picão preto. Isso pode estar relacionado à presença e atividade dos organismos, os quais são condicionados por componentes físicos do solo (mineralogia, umidade, aeração e temperatura) e químicos (pH e fertilidade). Por exemplo, quando o solo está seco, as bactérias iniciam um período de atividade menor ou temporariamente entram em dormência (COLOZZI FILHO; ANDRADE, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O fator esterilidade do solo (solo esterilizado) não mostrou grandes diferenças neste caso, exceto para o nabo forrageiro, com maiores efeitos em solo não esterilizado, o qual pode ser mais sensível à presença de microrganismos no solo.

Na Tabela 12, são apresentados os valores referentes ao desenvolvimento inicial de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca a 50 e 70% de água disponível em solo esterilizado.

A MFPA sofreu influência significativa sob as três plantas de cobertura analisadas. Nos três casos, 50 e 70% de água disponível diferiram do controle e apresentaram menor massa vegetal. Entretanto, não diferiram entre si.

A MFR foi significativa apenas sob nabo e ervilhaca. Sob nabo, 50 e 70% diferiram significativamente do controle, mas não diferiram entre si. Sob ervilhaca, 50% diferiu do controle, entretanto, 70% não diferiram nem do controle nem de 50%.

A MSPA apresentou alterações significativas. Sob a aveia e o nabo, os resultados apresentaram comportamento semelhança e ocorreu diferença significativa de 50 e 70% com o controle, entretanto, não diferiram entre si. Sob a ervilhaca, todos diferiram entre si, todavia, 50% foi o tratamento que apresentou a menor massa vegetal.

A MSR sofreu alterações significativas sob aveia, nabo e ervilhaca. Sob a aveia, o tratamento 70% diferiu do tratamento controle e foi o que apresentou menor massa. Entretanto, não diferiu do tratamento 50%, o qual também não diferiu do tratamento controle. Sob o nabo, 50 e 70% diferiram do controle e apresentaram menor massa, mas não diferiram significativamente entre si. Sob a ervilhaca, a MSR a 50% diferiu do controle e apresentou a menor massa, mas não diferiu de 70% e esse não diferiu significativamente do controle.

A possibilidade de utilizar a atividade alelopática, destaca-se como alternativa para complementar o controle químico na supressão de plantas invasoras no agroecossistema (WEIH et al., 2008).

**Tabela 12** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo esterilizado. Cascavel, PR (2013)

MFPA (g por planta)			
Disponibilidade de água	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,77 a	0,77 a	0,77 a
50%	0,60 b	0,47 b	0,20 b
70%	0,47 b	0,33 b	0,45 b
Média Geral	0,61	0,52	0,47
CV	14,20	13,25	22,27
Valor F	8,85*	30,54*	21,92*
MFR (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,24	0,24 a	0,24 a
50%	0,13	0,06 b	0,04 b
70%	0,11	0,07 b	0,13 ab
Média Geral	0,16	0,12	0,13
CV	33,58	25,64	38,85
Valor F	5,29 <sup>ns</sup>	32,40*	10,67*
MSPA (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,20 a	0,20 a	0,20 a
50%	0,12 b	0,10 b	0,06 c
70%	0,10 b	0,06 b	0,10 b
Média Geral	0,14	0,12	0,12
CV	17,76	9,83	3,31
Valor F	13,08*	100,00*	78,00*
MSR (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,16 a	0,16 a	0,16 a
50%	0,08 ab	0,06 b	0,03 b
70%	0,05 b	0,04 b	0,08 ab
Média Geral	0,10	0,08	0,09
CV	35,35	38,27	35,27
Valor F	8,09*	14,59*	13,13*

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns= não significativo; \*= significativo; cv=coeficiente de variação.

Na Tabela 13, são apresentados os valores referentes ao desenvolvimento inicial de plantas de picão preto a 50 e 70% da capacidade de campo, em solo não esterilizado.

Para a MFPA de plantas de picão preto em solo não esterilizado, sob aveia, os tratamentos 50 e 70% diferiram significativamente do controle, apresentaram menor massa, mas não diferiram entre si. Sob o nabo, os três tratamentos diferiram entre si, mas a 50%, pôde se observar a menor massa. Sob a ervilhaca, 50% diferiu do controle e apresentou menor massa fresca, entretanto, não diferiu de 70% e esse, por sua vez, não diferiu dos demais.



**Tabela 13** Massa fresca e massa seca de parte aérea e raiz (MFPA; MFR; MSPA; MSR) de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, a 50 e 70% de capacidade de campo, em solo não esterilizado. Cascavel, PR (2013)

MFPA (g por planta)			
Disponibilidade de água	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,77 a	0,77 a	0,77 a
50%	0,34 b	0,07 c	0,13 b
70%	0,26 b	0,40 b	0,32 ab
Média Geral	0,45	0,41	0,41
CV	24,37	16,86	37,90
Valor F	17,97*	73,83 *	13,05*
MFR (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,24 a	0,24 a	0,24 a
50%	0,08 b	0,07 b	0,13 b
70%	0,09 b	0,10 b	0,06 ab
Média Geral	0,13	0,14	0,14
CV	20,88	17,50	33,86
Valor F	30,29*	41,16*	10,31*
MSPA (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,20 a	0,20 a	0,20 a
50%	0,07 b	0,05 b	0,05 b
70%	0,05 b	0,09 b	0,06 b
Média Geral	0,10	0,11	0,10
CV	9,37	13,09	19,14
Valor F	99,00*	71,28*	47,36*
MSR (g por planta)			
	Aveia	Nabo	Ervilhaca
Controle	0,16 a	0,16	0,16
50%	0,06 b	0,08	0,09
70%	0,04 b	0,07	0,08
Média Geral	0,09	0,10	0,10
CV	35,35	37,69	38,45
Valor F	8,94*	5,95 <sup>ns</sup>	6,39 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo ns= não significativo; \*= significativo; cv= coeficiente de variação.

A MFR diferiu sob aveia, nabo e ervilhaca. Sob a aveia e o nabo, 50 e 70% diferiram do controle, mostrando menores valores de massa, mas não diferiram entre si. Sob a ervilhaca, o tratamento 50% diferiu do controle e apresentou a menor massa, entretanto, não diferiu de 70% e esse não diferiu também do controle.

A MSPA foi significativa sob as três plantas analisadas. Os resultados mostraram semelhança sob a aveia, o nabo e a ervilhaca, já que os tratamentos 50 e 70% apresentaram menores valores de massa do que o tratamento controle, entretanto, não diferiram entre si.

A MSR apresentou alterações significativas apenas sob a aveia e dados com baixa homogeneidade. Sob a aveia, 50 e 70% mostraram menor massa do que o controle, mas não diferiram entre si.

O conhecimento dos prováveis efeitos ocasionados pela liberação dos aleloquímicos permite seu aproveitamento em sistemas de rotação ou consorciação com culturas, no contexto do manejo integrado de plantas invasoras (ERASMO et al., 2004).

O fator esterilização do solo não apresentou grandes influências neste experimento, porém, o que causou variação foi a quantidade de água disponível no solo. Isto pode ter ocorrido pelo fato do vaso com o material vegetal permanecer por quatro semanas para decomposição. Esse foi escolhido por ser um tempo médio já determinado para outras avaliações. O período pode ter proporcionado ambiente favorável para desenvolvimento de microrganismos e, quando sementes ou plântulas de picão preto foram adicionadas, os microrganismos já poderiam estar presentes nos dois casos igualmente, solo esterilizado e não esterilizado, ocasionando resultados semelhantes.

#### **5.1.4 Liberação de aleloquímicos pela permanência do material vegetal sobre o solo**

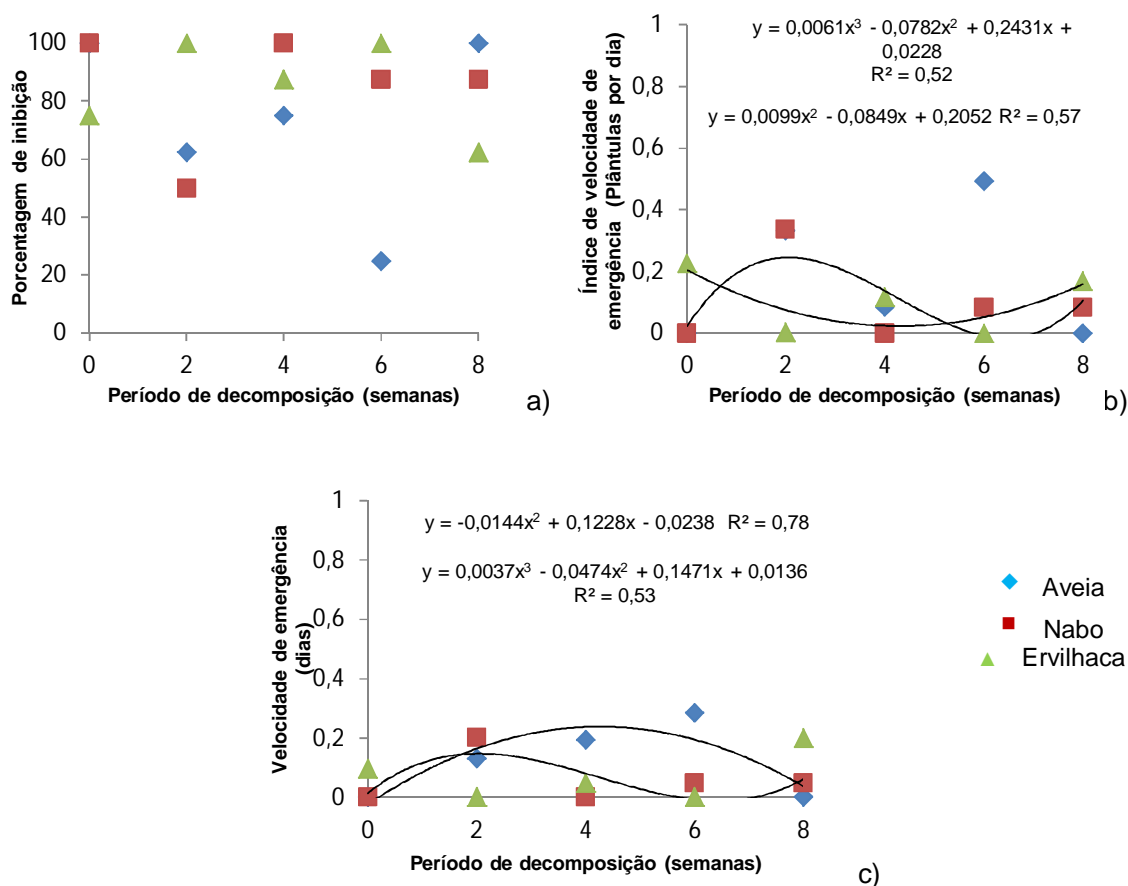
Nas Figuras 24 e 25, são apresentados os valores referentes à emergência e desenvolvimento inicial de picão preto sob os resíduos de plantas de cobertura incorporados ao solo não esterilizado.

Na Figura 24, observa-se que o IVE de picão preto sob o nabo apresentou oscilações durante os períodos de decomposição e exibiu o menor número de plantas por dia com seis semanas de decomposição do resíduo.

Sob a ervilhaca, observam-se os menores valores em quatro e seis semanas de decomposição. Com oito semanas já se observa aumento no número de plântulas emergidas por dia, assim como na primeira semana (período 0). Isso pode estar relacionado à liberação de aleloquímicos pela decomposição dos resíduos que, na primeira semana ainda não ocorreu e na última (oitava semana) já pode ter diminuído.

Moraes et al. (2010) observaram resultados em experimentos com plantas de cobertura e concluíram que o curto período de tempo para a liberação de aleloquímicos no solo pela incorporação favoreceu a cobertura das brássicas, pela baixa relação C/N, e assim houve a liberação dos compostos alelopáticos mais rapidamente, afetando a variável IVE. Já, na superfície do solo, o azevém, que é poácea, não afetou negativamente a variável, mas pode decorrer em função do maior período de tempo para se decompor ou pela alta relação C/N. Assim como ocorreu neste experimento.

A VE sob a aveia e o nabo mostrou leve alteração; aumentou com duas e quatro semanas e diminuiu novamente com seis e oito semanas de decomposição (Figura 24).



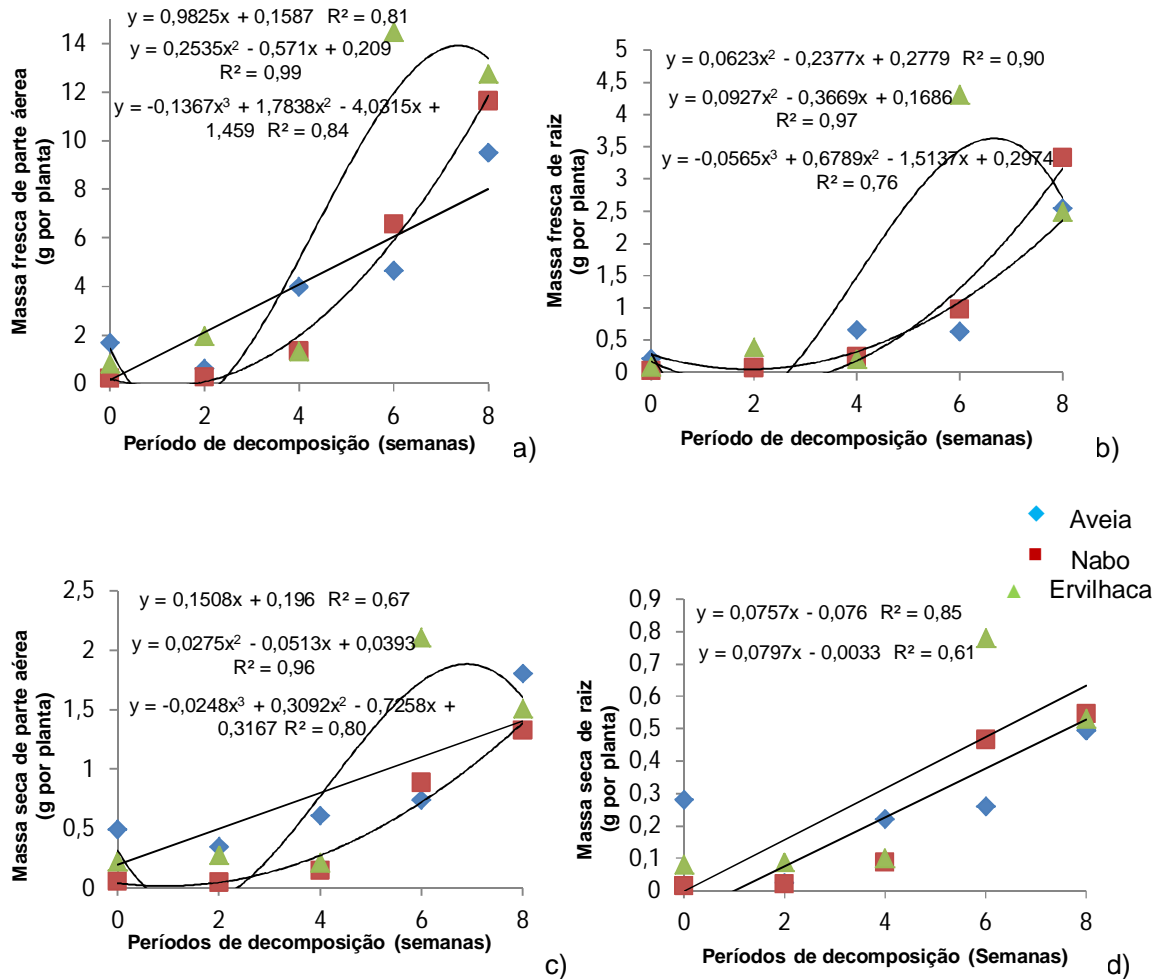
**Figura 24** a) Percentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, incorporados ao solo não esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

Theisen et al. (2000) verificaram que  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de resíduo de aveia preta não foram suficientes para impedir totalmente o estabelecimento de *Brachiaria plantaginea*, o que também ocorreu neste experimento, com  $22,5 \text{ t ha}^{-1}$  sobre picão preto.

Entretanto, Trezzi e Vidal (2004) avaliaram o efeito de sorgo e milho (poáceas) e verificaram que essas culturas inibiram 59% da população total de picão preto.

Em estudos com nabo forrageiro, Moraes et al. (2011b) observaram que os resíduos incorporados diminuíram a VE de *Digitaria* spp quando comparados à deposição sobre o solo. Esse atraso na emergência poderia aumentar o período de tempo para realização do controle químico, logo, as operações no campo se tornariam mais vantajosas e eficientes (TREZZI et al., 2006)

Na Figura 25, observa-se que a MFPA de plantas de picão preto sob a aveia apresentou comportamento linear e aumentou com o aumento do período de decomposição. Sob o nabo, a MFPA manteve-se igual até duas semanas, depois aumentou conforme se aumentou o período de decomposição. Sob a ervilhaca, a MFPA aumentou até aproximadamente a sexta semana, depois começou a diminuir.



**Figura 25** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, incorporados ao solo não esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

Moraes et al. (2011a) observaram que os resíduos de nabo forrageiro, quando incorporados ao solo, também aumentaram a massa da invasora milhã (*Digitaria sanguinalis*), outra poácea.

A MFR sob aveia e nabo mostrou comportamento semelhante, cujos resultados quais se mantiveram baixos até quatro semanas e com seis e oito semanas aumentaram

significativamente. Sob a ervilhaca, houve aumento a partir de duas semanas, entretanto, a massa diminuiu a partir de seis semanas de decomposição.

A MSPA de plantas de picão preto sob o resíduo de aveia incorporado ao solo não esterilizado apresentou comportamento linear, cuja massa aumentou conforme se aumentou o período de decomposição. Sob o resíduo de nabo, verifica-se que a massa de picão preto apresentou aumento gradativo a partir de duas semanas de decomposição. Sob a ervilhaca, observa-se aumento de duas a seis semanas e depois ocorreu diminuição significativa de massa.

Assim como neste experimento, Moraes et al. (2010) observaram que a incorporação do resíduo de nabo forrageiro aumentou a MSPA de picão preto.

De acordo com Rice (1984), quando as substâncias alelopáticas encontram-se em baixas concentrações podem não ser inibitórias para determinadas espécies ou até mesmo apresentar efeitos estimulatórios.

Moraes et al. (2011a) estudaram o efeito de plantas de cobertura incorporadas ou não ao solo e observaram que o azevém (poácea) foi a planta de cobertura que, na superfície do solo ou quando incorporada, apresentou maior redução na massa seca de parte aérea da planta invasora milhã, quando comparada às demais ou à testemunha (sem cobertura), diferente dos resultados para a aveia preta utilizada neste experimento.

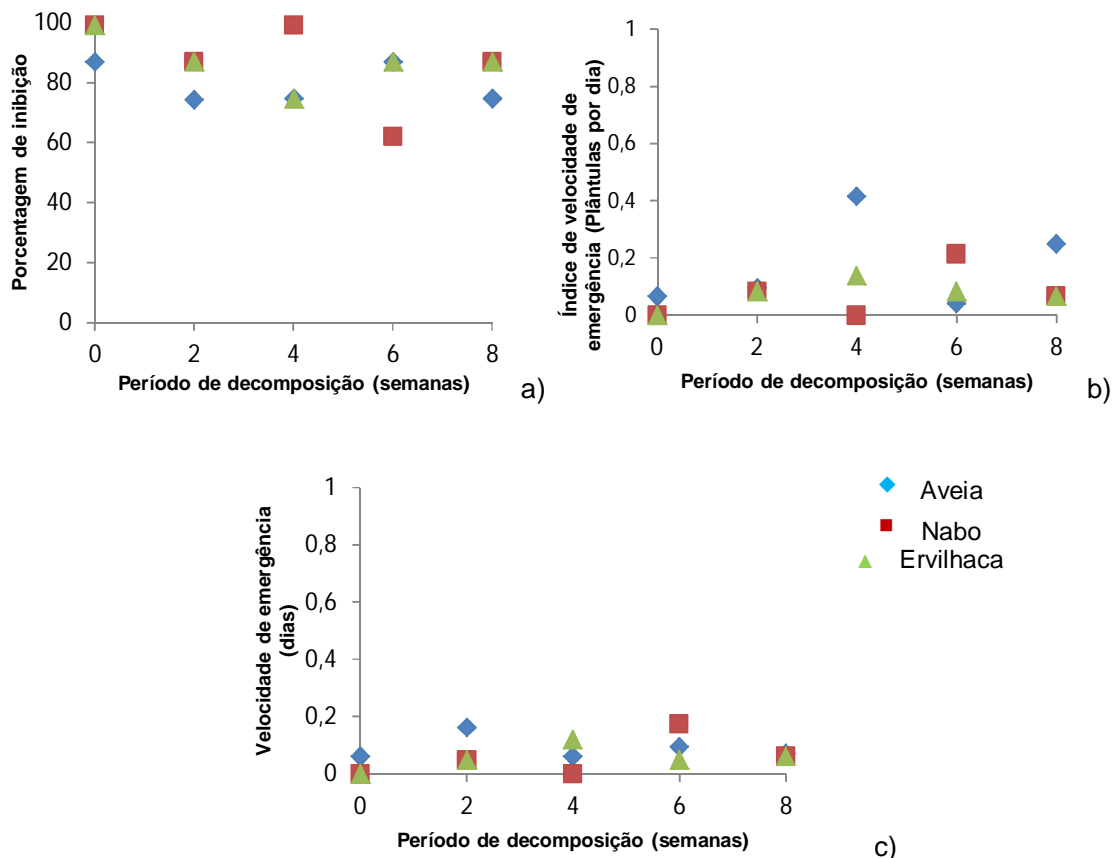
A MSR de plantas de picão preto sob o nabo e a ervilhaca mostrou comportamento linear, já que aquela aumentou conforme o aumento dos períodos de decomposição. Da mesma maneira, Moraes et al. (2010) verificaram que a incorporação resíduos de nabo forrageiro proporcionaram aumento na MSR de plantas de picão preto.

Rizzardi e Silva (2006) avaliaram plantas de cobertura e épocas de controle de plantas invasoras e observaram que a época de controle não influenciou a quantidade total de matéria seca de plantas invasoras sob a aveia preta. Já sob o nabo, a quantidade de matéria seca diminuiu à medida que atrasou o controle das plantas invasoras.

Os autores observaram ainda que os resíduos de aveia preta foram mais duradouros do que os do nabo forrageiro e mantiveram o solo coberto por período maior em função da alta relação C/N. Os resíduos de nabo forrageiro, de decomposição mais rápida, inibiram a emergência das plantas invasoras nos períodos iniciais de desenvolvimento do milho. Essas relações de decomposição também foram observadas neste experimento.

Nas Figuras 26 e 27, observam-se os valores referentes à emergência e ao desenvolvimento inicial de picão preto sob o resíduo não incorporado de plantas de cobertura em solo não esterilizado.

Na Figura 26, estão os gráficos referentes aos parâmetros de emergência de picão preto (% inibição de emergência, IVE e VE) e não foram apresentadas as linhas de tendência porque não houve significância no teste para regressão a 5% de probabilidade.



**Figura 26** a) Porcentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo não esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

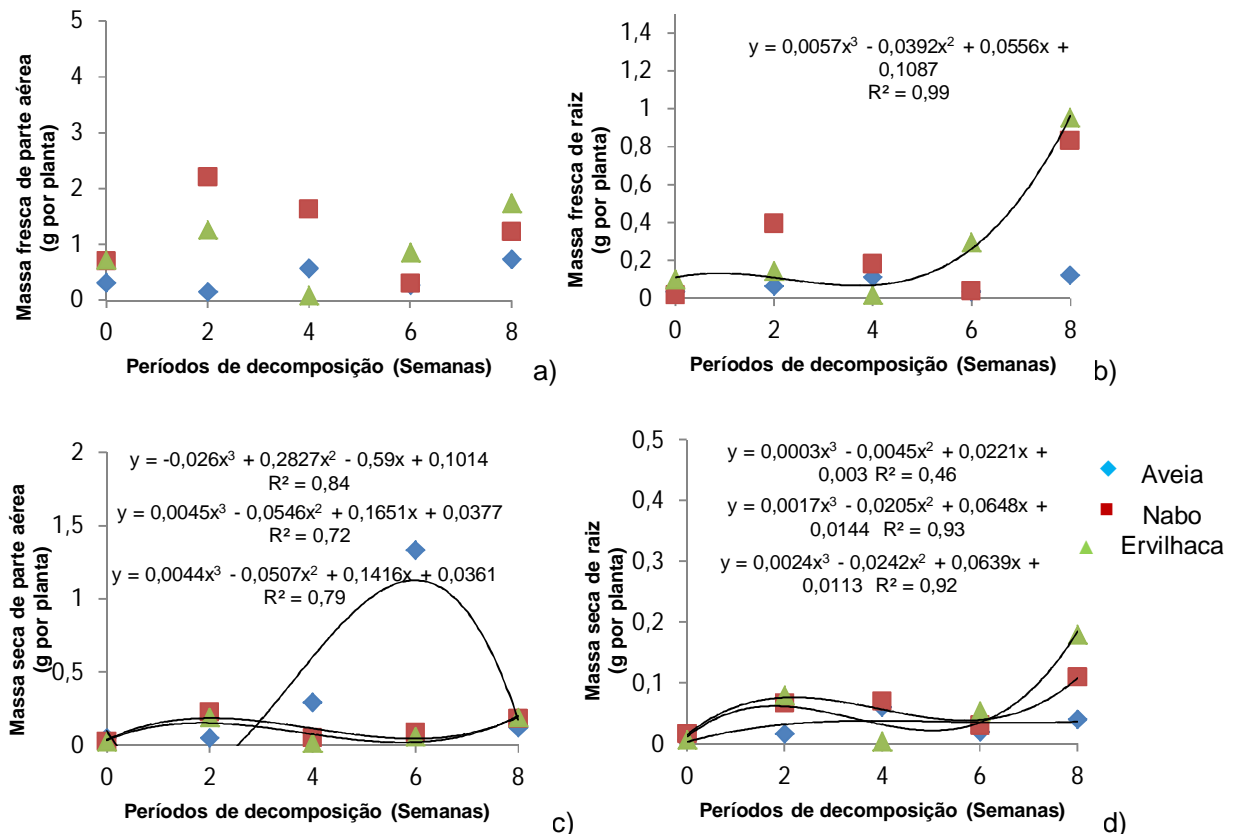
Em casa de vegetação, utilizando-se vasos como unidade de análise, não se observaram as mesmas interferências, ou nas mesmas intensidades as quais ocorrem no campo. Por isso, talvez o período analisado tenha sido curto para visualização de efeitos consideráveis.

Segundo Moraes et al. (2011b), os resíduos de nabo forrageiro incorporados ao solo proporcionaram maior inibição de *Digitaria* spp quando comparados à deposição sobre solo. De acordo com os mesmos autores, em curto período de tempo, a cobertura da superfície do solo não apresentou atividade alelopática suficiente para inibir a incidência da planta invasora. E mesmo quando incorporados, observaram-se elevados valores na primeira contagem de emergência, devido, provavelmente, às melhores condições encontradas pelas sementes para germinar, quando comparados à testemunha. Fato este que também pode ter ocorrido neste experimento.

Oliveira, Carvalho e Moraes (2000) verificaram maior índice de velocidade de emergência sob plantio direto (resíduo sobre o solo), em relação ao convencional (resíduo incorporado), diferente do que ocorreu neste experimento, em que, sob manejo semelhante

ao plantio direto, não foram verificadas diferenças significativas do IVE. Já no sistema com incorporação, verificaram-se alterações durante os períodos de decomposição.

Em experimento com plantas de cobertura, Moraes et al. (2010) concluíram que, quando incorporadas, apresentam de modo geral a redução da emergência de picão-preto, comparativamente a não incorporação das coberturas ao solo. A MFR de plantas de picão preto sob ervilhaca (Figura 27) manteve os valores até a quarta semana de decomposição e, a partir desta, observa-se aumento considerável.



**Figura 27** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo não esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

As MSPAs de plantas de picão preto sob o nabo e a ervilhaca apresentaram comportamento semelhante, com oscilações durante os períodos de decomposição, nas quais foram observadas menores massas na sexta semana, com posterior aumento. Sob a aveia, a MSPA aumentou entre duas e quatro semanas e na oitava diminuiu consideravelmente.

A comparação dos resíduos de plantas de cobertura tais como canola, nabo-forrageiro, trevo-vesiculoso e azevém na superfície do solo feita por Moraes et al. (2010),

demonstrou diferença entre si somente quando utilizadas  $6 \text{ t ha}^{-1}$ , porém, todas as plantas apresentaram potencial alelopático expressivo na redução da MSPA de plantas de *Bidens* sp.

As brássicas, como o nabo forrageiro, contêm glucosinolatos e quando hidrolisados podem formar compostos tóxicos para grande variedade de microrganismos e plantas invasoras (NORSWORTH, 2003).

Ainda na Figura 27 observa-se que a MSR de plantas de picão preto sob as três plantas de cobertura apresentou comportamento semelhante e manteve praticamente os mesmos valores até a sexta semana, os quais aumentaram na oitava semana.

Moraes et al. (2010) verificaram, assim como neste experimento, que resíduos de nabo forrageiro mantidos na superfície do solo reduziram a MSR de plantas de picão preto. Moraes et al. (2011a) analisaram culturas de cobertura e verificaram que a cobertura de azevém (poácea), mantida na superfície do solo, proporcionou maior redução na massa seca de raiz da invasora milhã a partir de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de palha. Os mesmos autores perceberam que as coberturas de solo, quando mantidas na superfície, promoveram, de modo geral, menor aumento da variável massa seca de raiz quando comparada à incorporação ao solo. Assim como ocorreu neste experimento e isso pode ser comprovado de acordo com a análise das Figuras 24 e 26.

Também Trezzi e Vidal (2004) observaram que as gramíneas sorgo e milheto reduziram, em média, 62% da massa total de plantas invasoras pelo efeito do resíduo vegetal sobre o solo.

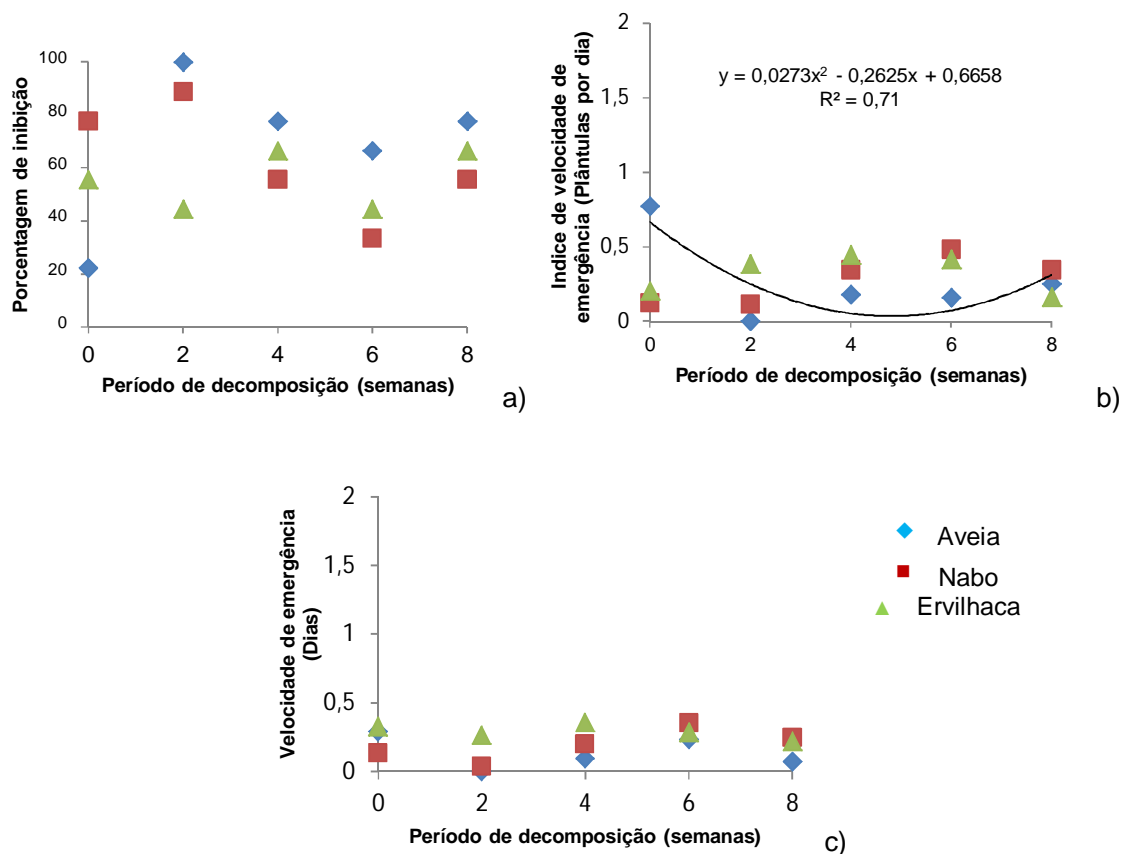
As maiores alterações observadas em emergência e desenvolvimento inicial de picão preto em resíduo incorporado em solo não esterilizado (Figuras 25 e 26) podem ser devido ao maior contato do resíduo com o solo e microrganismos presentes nele, o que acelera o processo de decomposição e conseqüentemente, a liberação de aleloquímicos.

A diferença entre a cobertura morta sobre o solo e incorporada está na velocidade de decomposição do material, porém, a decomposição sobre o solo é mais lenta. A incorporação dilui os aleloquímicos e, como a ação desses produtos depende da concentração, pode-se esperar que o fato de deixar os resíduos na superfície do solo torne-se a forma mais indicada para manejá-los, visando à ação alelopática das plantas de cobertura (ALMEIDA, 1988).

Nas Figuras 28 e 29 são apresentados os valores referentes à emergência e ao desenvolvimento inicial de picão preto sob resíduo não incorporado de aveia, nabo e ervilhaca em solo esterilizado.

Na Figura 28, observa-se que o IVE de picão preto sob aveia diminuiu até a quarta semana e a partir da sexta semana voltou a aumentar.





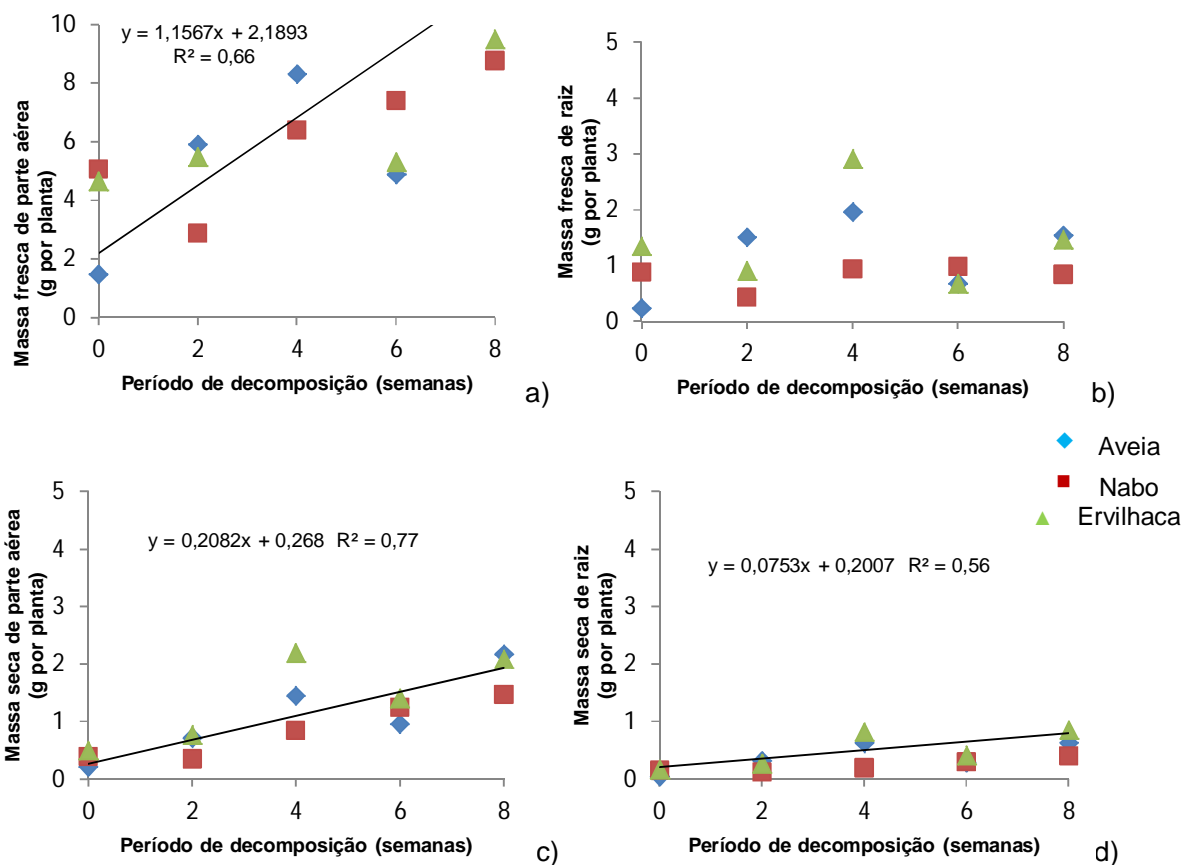
**Figura 28** a) Percentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peldua, incorporados ao solo esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

Esse resultado corrobora com Almeida (1990) que concluiu que o uso de cobertura morta de aveia preta apresentou sucesso em manter o solo livre de invasoras em algumas regiões brasileiras, pelo menos por algum tempo.

Rizzardi e Silva (2006), em estudos com plantas de cobertura e épocas de controle de plantas invasoras (6, 14, 20, 27, 35 e 41 dias após emergência do milho), observaram que sob o nabo e a aveia, houve redução das invasoras com o passar do tempo, diferente do ocorrido neste experimento, em que não houve alteração na porcentagem de inibição de emergência.

Na Figura 29, a MFPA de plantas de picão preto sob a aveia apresentou comportamento linear, cuja massa aumentou conforme se aumentou o tempo de decomposição.

A MSPA de picão preto sob a aveia também mostrou comportamento linear, a qual aumentou conforme se aumentou o tempo de decomposição.



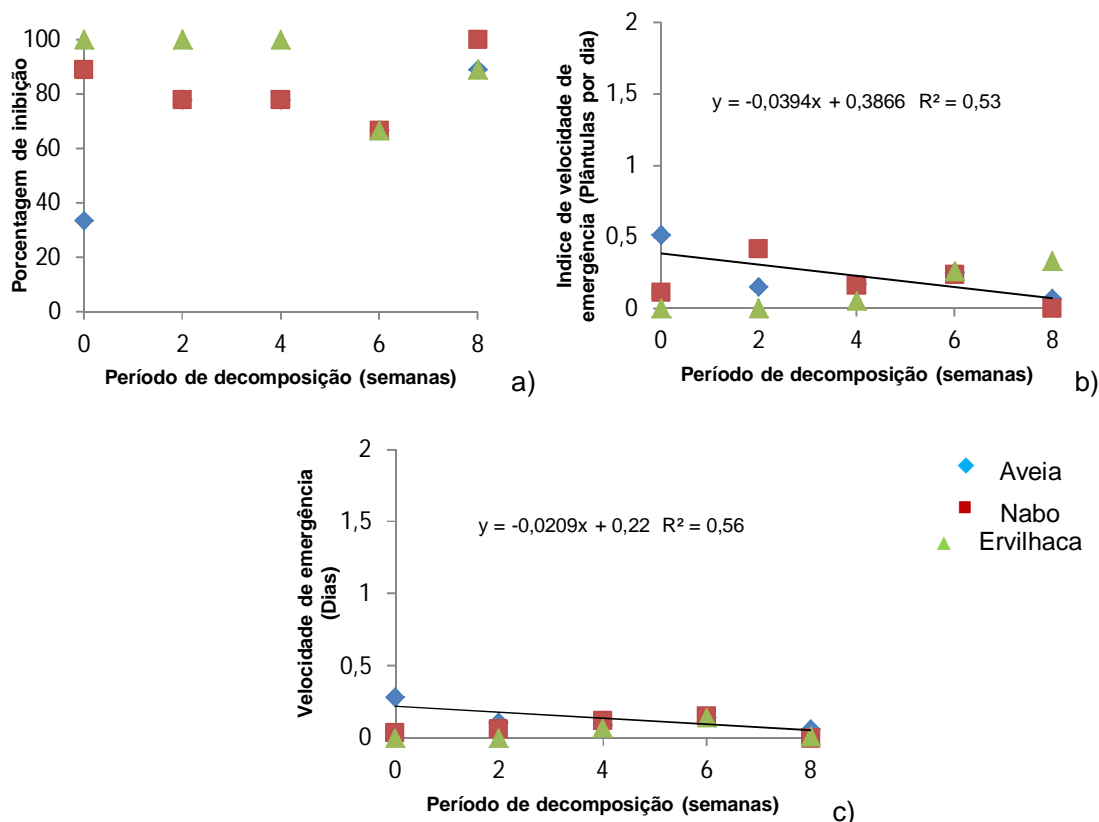
**Figura 29** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, incorporados ao solo esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

Ainda na Figura 29 observa-se que a MSR de plantas de picão preto sob a ervilhaca apresentou comportamento linear, pois houve aumento de massa conforme se aumentou o tempo de decomposição.

Nas Figuras 30 e 31, estão os dados referentes à emergência de plântulas e ao desenvolvimento inicial de plantas de picão preto sob resíduo vegetal não incorporado em solo esterilizado.

Na Figura 30, pode-se verificar que o IVE de picão preto sob a aveia mostrou comportamento linear, pois houve diminuição conforme se aumentou o tempo de decomposição. A VE sob a aveia mostrou comportamento semelhante ao IVE, pois diminuiu conforme se diminuiu o tempo de decomposição.

Castagnara et al. (2012) observaram em estudos com extratos aquosos que a aveia preta reduziu o IVG de sementes de pepino (*Cucumis sativus* L. cv. Calypso), sem significância para porcentagem de germinação, assim como ocorreu neste experimento para emergência de picão preto, em vasos, em casa de vegetação.

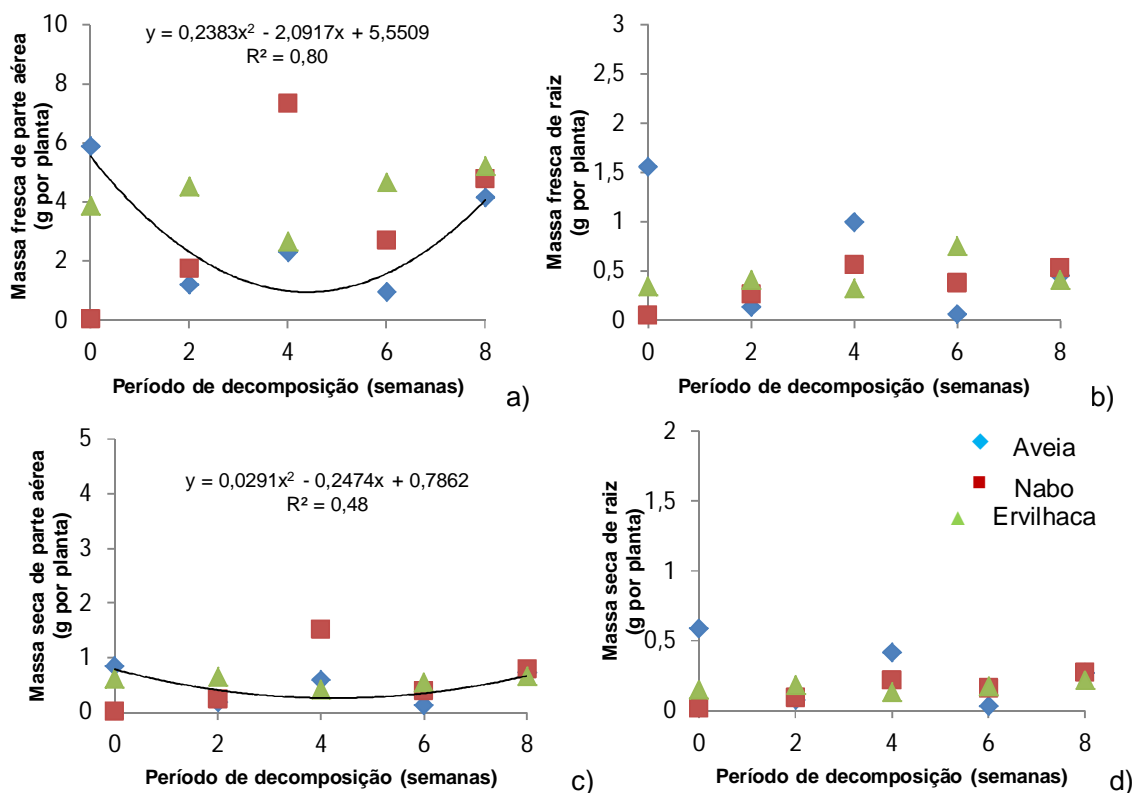


**Figura 30** a) Percentagem de inibição de emergência, b) índice de velocidade de emergência e c) velocidade de emergência de plântulas de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

Os resíduos vegetais de brássicas, como o nabo forrageiro, quando incorporados ou mantidos na superfície do solo podem afetar a germinação, reduzir o estabelecimento e crescimento de plantas invasoras. Diferente do que ocorreu neste experimento, com solo esterilizado, o que pode estar relacionado à ausência de microrganismos no solo, responsáveis pela liberação dos possíveis aleloquímicos ou mesmo na sua ativação (NORSWORTH, 2003).

A MFPA sob aveia (Figura 31) apresentou diminuição até a quarta semana de decomposição e a partir desta voltou a aumentar. A MSPA também apresentou seus menores valores na quarta semana, entretanto, com menores variações entre os períodos.

A presença de resíduos culturais de canola, nabo-forrageiro, trevo-vesiculososo e azevém na superfície do solo reduziu o crescimento de picão preto, comparativamente à incorporação, assim, foi necessária a presença de pelo menos  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de resíduo vegetal. A incorporação dos resíduos das plantas de coberturas, em geral, estimula o crescimento de picão-preto (MORAES et al., 2010).



**Figura 31** a) Massa fresca de parte aérea b) Massa fresca de raiz c) Massa seca de parte aérea e d) Massa seca de raiz de plantas (g por planta) de picão preto sob resíduo vegetal de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, sobre o solo esterilizado, avaliados em cinco períodos de decomposição. Cascavel, PR (2012/2013).

As substâncias químicas liberadas pelos resíduos vegetais deixados sobre a superfície do solo, como o que ocorre no sistema plantio direto, têm comportamento diferenciado em relação ao que ocorre quando incorporado. Na incorporação, essas substâncias ficam diluídas no volume do solo correspondente à profundidade em que foram enterradas. Já na semeadura direta elas se concentram na camada superficial. Dessa forma, como a intensidade dos efeitos alelopáticos depende da concentração dos aleloquímicos, sua ação é mais pronunciada na semeadura direta. Entretanto, no caso do solo esterilizado, neste experimento, isso não foi observado, todavia, os dois manejos apresentaram comportamentos semelhantes (OLIBONE et al., 2006).

Supostamente, esses resultados podem evidenciar o envolvimento de microrganismos no processo de decomposição e liberação das substâncias químicas, mas, em solo esterilizado, inicialmente, não há permanência dos mesmos. De acordo com Moreira e Siqueira (2006), o potencial fitotóxico é controlado pela atividade microbiana, responsável pelas transformações nos seus precursores e a degradação de formas ativas no solo, ou mesmo sua ativação. Embora algumas etapas das transformações sejam abióticas, a participação dos microrganismos é evidente e essencial para a dinâmica e

atividade das substâncias no solo. Algumas substâncias precisam ser transformadas para se tornar aleloquímicas.

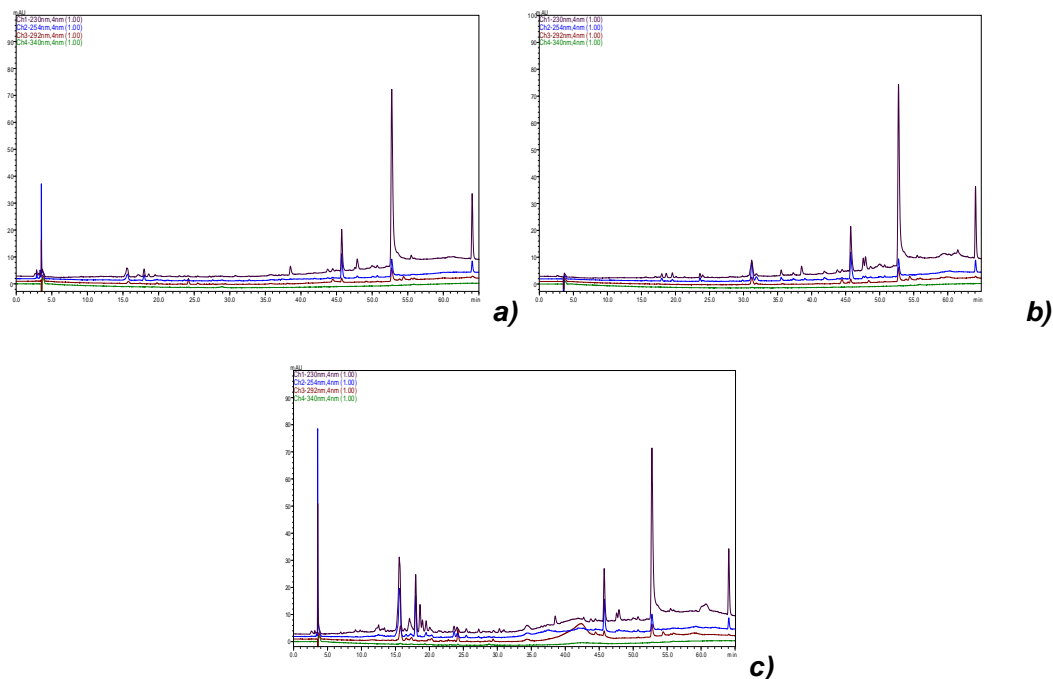
Um dos futuros potenciais usos da alelopatia é a utilização da biotecnologia transgênica para transferir compostos químicos alelopáticos de uma planta para outra (CHOU, 1999).

## 5.2 Prospecção preliminar dos grupos químicos

### 5.2.1 Fingerprint

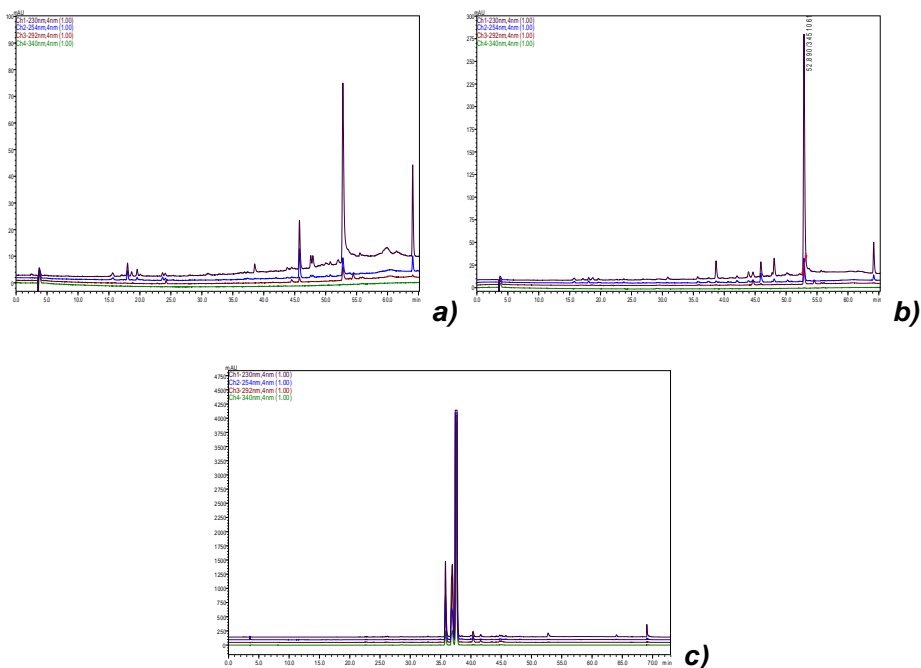
Na Figura 32, estão apresentados os gráficos referentes ao perfil cromatográfico dos extratos brutos hexânico, acetato de etila e metanólico de ervilhaca peluda por HPLC.

Todos os extratos de ervilhaca peluda (metanólico, hexânico e acetato de etila) apresentaram baixa absorção, como pode ser observado na Figura 32. Isto pode estar relacionado à faixa do espectro utilizada, pois não foram evidenciados sinais majoritários.



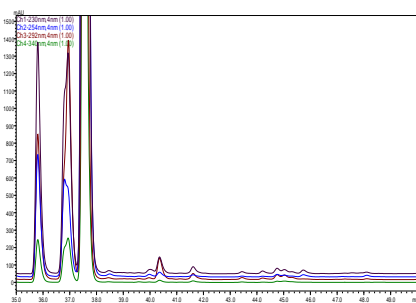
**Figura 32** Extrato hexânico (a), acetato de etila (b) e metanólico (c) de ervilhaca peluda. Belém, PA (2012).

Os gráficos mostrados na Figura 33 representam a análise do perfil cromatográfico por HPLC, dos extratos brutos hexânico, acetato de etila e metanólico de aveia preta.



**Figura 33** Extrato hexânico (a), acetato de etila (b) e metanólico (c) de aveia preta. Belém, PA (2012).

Os extratos hexânico e acetato de etila de aveia preta apresentaram baixa absorção na região do UV entre 200 a 400 nm, com base nas análises por HPLC-DAD (Figura 33). Já o extrato metanólico de aveia preta apresentou melhor rendimento e foram evidenciados quatro sinais majoritários próximos à região de compostos de média polaridade, como pode ser observado na Figura 34.



**Figura 34** Extrato metanólico de aveia preta (detalhe aproximado do pico de absorção). Belém, PA (2012).

### 5.2.2 Screen fitoquímico

Na Tabela 14, são apresentados os resultados de presença ou ausência de grupos

de compostos secundários nos extratos brutos hexânico, acetato de etila e metanólico de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda.

**Tabela 14** *Screen* fitoquímico de alguns grupos de compostos secundários em extratos hexânico, acetato de etila e metanólico de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Belém, PA (2012)

Compostos secundários	Aveia preta			Nabo forrageiro			Ervilhaca peluda		
	Hex.	Ac. etila	Met.	Hex.	Ac. etila	Met.	Hex.	Ac. etila	Met.
Taninos	P	P	P	N	N	N	P	P	P
Catequinas	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Esteroides e triterpenóides	P	P	N	P	N	P	P	P	P
Flavonoides	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Derivados de cumarina	N	P	P	N	N	P	N	P	P
Saponina espumídica	N	P	P	N	N	P	P	N	P
Alcaloides 1	P	P	N	N	N	N	N	P	N
Alcaloides 2	P	P	N	N	N	N	N	P	N

\* Hex = hexano; Ac. etila = acetato de etila; Met.= metanol; P = presente; N = ausente

Os resultados para aveia preta comprovam a presença de taninos, esteroides e triterpenóides, derivados de cumarina, saponina espumídica e alcaloides, corroborando com alguns resultados de Sánchez-Moreiras et al. (2004), Jacobi e Fleck (2000); Putnam (1978) e Bratt (2000), os quais também analisaram extratos de aveia.

Nos extratos de nabo forrageiro foram encontrados esteroides e triterpenóides, derivados de cumarina e saponina espumídica, assim como encontrado por Sánchez-Moreiras et al. (2004) e Borges et al. (2012). Entretanto, Borges et al. (2012) detectaram ainda a presença de flavonoides nos seus extratos, o que não ocorreu neste experimento.

O *screen* da ervilhaca peluda revela a presença de taninos, esteroides e triterpenóides, derivados de cumarina, saponina espumídica e alcaloides, assim como encontrados por Kamo et al. (2003).

Os taninos encontrados nas amostras analisadas de aveia e nabo são componentes polifenólicos distribuídos em plantas, alimentos e bebidas. Encontram-se em plantas superiores e ocorreram em aproximadamente 30% das famílias. Eles são solúveis em água e em solventes orgânicos polares, além de serem capazes de precipitar proteínas. Tais compostos são responsáveis pela adstringência de muitos frutos e plantas (SANTOS; REIS, 2003). As fabáceas estão entre as famílias ricas em taninos, os quais são encontrados principalmente no vacúolo das plantas, onde não interferem no seu metabolismo, pois, somente após lesão ou morte das plantas eles agem e têm metabolismo eficiente. Os

taninos previnem a degradação rápida da planta no solo e causam aumento de nutrientes, o que servirá como reserva no solo (CANNAS, 2013).

Nas três plantas analisadas, foram encontrados triterpenos, entre os quais está uma importante classe de substâncias tanto para vegetais quanto para animais, os esteroides. Estes são componentes dos lipídios de membrana e precursores de hormônios esteroides em mamíferos (testosterona, progesterona), plantas (brassinosteroides) e insetos (ecdisteroides) (CANNAS, 2013).

Outra classe importante de triterpenos são as saponinas, também presentes nas três plantas analisadas. Como o próprio nome indica, as saponinas são prontamente reconhecidas pela formação de espuma em certos extratos vegetais. Essas substâncias são semelhantes ao sabão porque possuem uma parte solúvel (glicose) e outra lipossolúvel (triterpeno). Nas plantas, as saponinas desempenham importante papel na defesa contra insetos e microorganismos. Algumas saponinas que merecem destaque são a azadiractina, uma saponina do tipo limonóide presente no neem (*Azadirachta indica*), a tomatidina (um alcalóide esteroidal), a glicirrizina presente no alcaçuz (*Glycyrrhiza blabra*) e o protopanaxodiol extraído do ginseng (*Panax ginseng*). Embora as saponinas tenham sido desenvolvidas pelas plantas para sua proteção, elas são utilizadas pelo homem em diferentes aplicações, como inseticidas e herbicidas naturais e remédios (PERES, 2004).

Também, corroborando com relatos de Kuster e Rocha (2003), em que a família das fabáceas está entre as mais citadas na bibliografia pelo conteúdo em cumarinas. Em plantas, as cumarinas inibem a absorção de água, turgescência do tegumento e endosperma e alongamento celular da radícula (SEIGLER, 2006).

Santos e Rezende (2008) avaliaram algumas classes de compostos secundários na inibição da germinação de sementes de plantas invasoras e observaram que a maioria dos compostos apresentaram atividade herbicida. Entretanto, os alcaloides (encontrados nesse experimento em aveia preta e ervilhaca peluda) e as poliaminas apresentaram a maior porcentagem de inibição. Também constataram aumento no grau de inibição das misturas dos compostos quando comparados aos bioensaios realizados com os mesmos em separado para todas as sementes de invasoras, sugerindo a possibilidade de efeito sinérgico entre os compostos.

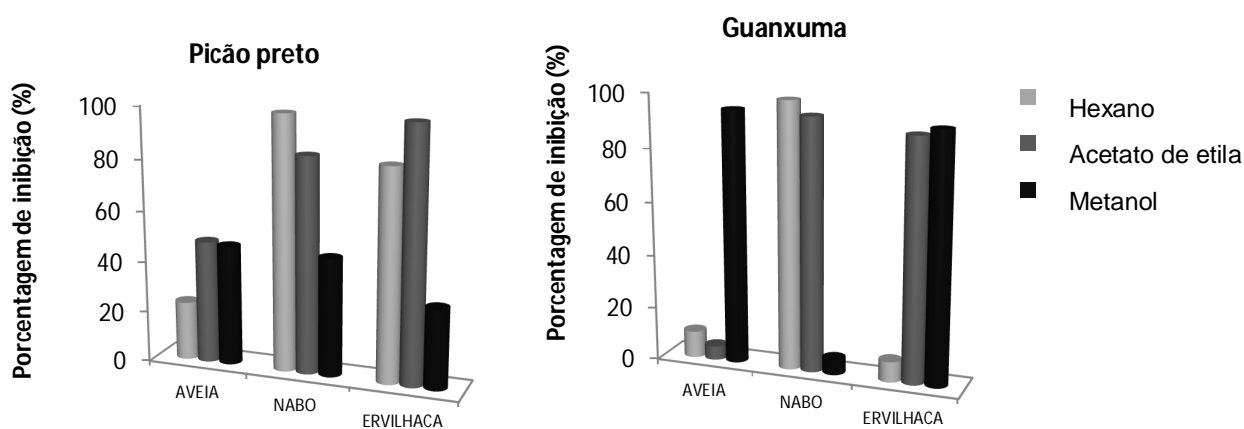
Barros et al. (2005) verificaram que, em *B. humidicola* e *B. brizantha* (poáceas), os padrões de produção de aleloquímicos podem variar em função da classe do aleloquímico e da idade da planta. Se a produção de aleloquímicos pode ser maior em alguns estágios de crescimento da planta, existe a possibilidade de que sejam estabelecidas estratégias de manejo das plantas de cobertura visando potencializar os benefícios da alelopatia.



### 5.3 Prospecção fitoquímica de compostos produzidos por plantas de cobertura de inverno com potencial alelopático

#### 5.3.1 Bioensaio de germinação

A maior porcentagem de inibição de plantas invasoras, considerando as duas espécies analisadas, foi ocasionada por aveia preta, pelo extrato metanólico (Figura 35). No caso do nabo forrageiro, o mesmo ocorreu com o extrato hexânico. Já para ervilhaca peluda, observou-se maior inibição sob o extrato de acetato de etila.



**Figura 35** Porcentagem de inibição de germinação de sementes de picão preto e guanxuma sob extratos de hexano, acetato de etila e metanol das espécies de cobertura aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda. Cascavel, PR (2012).

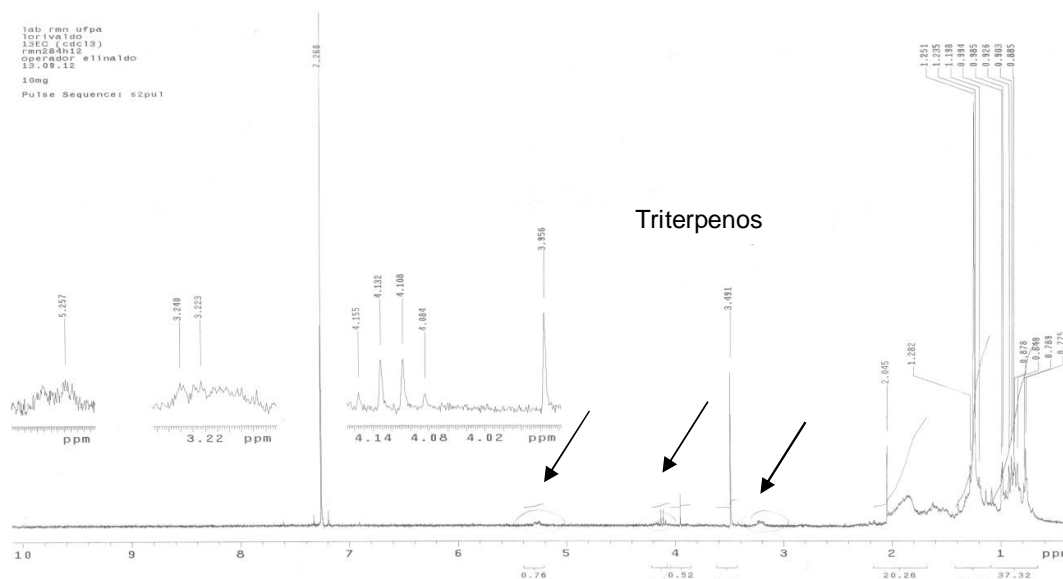
De acordo com esses resultados, optou-se pelos extratos metanólico de aveia preta, hexânico de nabo forrageiro e de acetato de etila para ervilhaca peluda para continuação da prospecção fitoquímica, seguindo apenas com os mesmos para cromatografia por via úmida (CCVU). Após esse procedimento, avaliaram-se as frações obtidas em cromatografia de camada delgada (CCD).

Nos fluxogramas apresentados, foram expostas as sucessivas cromatografias em coluna, em placa preparativa e CCDCs, na tentativa de isolamento e purificação das substâncias químicas com atividade alelopática, para identificação em Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

Como observado nos fluxogramas (Figura 10, 11 e 12), principalmente no referente à aveia preta, algumas etapas ainda não foram concluídas. Isso se deve aos imprevistos ocorridos durante a execução do experimento e à necessidade de antecipação do término do mesmo. Entretanto, assim que possível, será dado prosseguimento ao experimento.

### 5.3.2 Identificação das substâncias químicas

No fluxograma referente ao nabo forrageiro (Figura 11), é mostrado o procedimento de isolamento e purificação que possibilitou a identificação dos triterpenos. Partindo-se do extrato acetato de etila de ervilhaca selecionado, fracionou-se o extrato bruto em 33 frações. Dessas, reuniram-se 20 (9 + 10 +... 28) para um refracionamento (R2), no qual foram obtidas 67 frações. Uma dessas frações (13) seguiu para separação em placa preparativa, resultando em mais duas frações. Portanto, foi possível, em uma dessas, a identificação da classe triterpenos, como pode ser observado no espectro de RMN abaixo (Figura 36).



**Figura 36** Espectros de RMN C ou H de triterpenos em amostras de extrato de acetato de etila de ervilhaca peluda. Belém, PA (2013).

Embora não tenham sido isolados, as características apontam para a classe dos triterpenos, os quais são listados como compostos de atividade alelopática conforme já reportado na bibliografia (SANTOS, REZENDE, 2008; BITTNER; SILVA, 1992; FERREIRA; ÁQUILA, 2000; OOTANI et al., 2013).

Os triterpenos ocorrem significativamente no reino vegetal. Apresentam grande diversidade quanto ao esqueleto e à funcionalização que é predominantemente oxigenada. Consistem de compostos cuja estrutura é policíclica; podem ser tetracíclicos ou pentacíclicos, contendo, no máximo, uma ou duas ligações duplas, respectivamente. Exemplos dessas substâncias são o lupeol, a  $\alpha$ -amirina, a  $\beta$ -amirina e a fridolina (OLEA; ROQUE, 1990). Certos terpenos têm funções bem caracterizadas no crescimento ou

desenvolvimento vegetal. Por exemplo, as giberelinas, um grupo importante de hormônios vegetais, são diterpenos (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Os triterpenos são compostos derivados do metabolismo do ácido mevalônico e constituídos pela reunião de unidades do isopreno, também chamadas de unidades pentacarbonadas ou unidades isoprênicas (BITTNER e SILVA, 1992).

Quando vários triterpenos estão presentes no mesmo extrato vegetal, o fracionamento por técnicas cromatográficas convencionais dificilmente leva ao isolamento de substâncias puras, a fim de que se obtenha normalmente uma mistura contendo esses triterpenos. Se o interesse é isolar, são necessárias técnicas de cromatografia especiais que disponham de padrões para comparação (OLEA; ROQUE, 1990), o que ainda não foi possível neste caso.

## 5 CONCLUSÃO

Ao término do experimento foi possível ampliar os conhecimentos sobre o manejo dos resíduos vegetais, mostrando quais práticas são mais indicadas quando o objetivo é inibição de picão preto. Quanto à quantidade de massa sobre o solo, indicam-se 30 g de resíduo vegetal, equivalentes a 22,5 t ha<sup>-1</sup>, aproximadamente, onde foram encontrados os melhores resultados. E ainda, quando esse resíduo foi incorporado ao solo, observou-se a aceleração do aparecimento dos efeitos. A decomposição dos resíduos mostrou que o tempo de permanência dos mesmos no solo é importante, todavia, os efeitos mais pronunciados foram observados em torno da sexta semana de decomposição. Assim como o solo com 70% da capacidade de campo causou as maiores inibições de picão preto.

As três plantas de cobertura analisadas: aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda foram eficientes no controle da invasora em questão e podem ser indicadas para rotação de culturas com a soja a fim de viabilizar o sistema plantio direto.

Alguns grupos químicos com potenciais alelopáticos foram identificados nas três plantas de cobertura, como taninos, esteroides e triterpenóides, derivados de cumarina, saponina espumídica e alcaloides. E na ervilhaca peluda, identificou-se a presença de triterpenos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema plantio direto com rotação de culturas associadas às plantas de cobertura, com variedades competitivas e propriedades alelopáticas, como aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca peluda, pode se tornar uma eficiente prática de controle no manejo integrado de plantas invasoras.

Essa prática certamente não levará ao controle total das plantas invasoras nas culturas comerciais como a soja, no entanto, se a inibição ajudar a manter o equilíbrio biológico entre as espécies, sem causar danos à cultura comercial nem ao meio ambiente, atingirá seus objetivos (ALMEIDA, 1990).

Os conhecimentos dos efeitos da alelopatia e suas interações são de suma importância no contexto de qualquer ecossistema. Tais informações possibilitam ao agricultor identificar possíveis causas do insucesso no estabelecimento do sistema de rotação de culturas, as quais propiciam a adoção de práticas de manejo que auxiliem na seleção de espécies promissoras.

A alelopatia pode se tornar, portanto, importante fator de manejo de culturas, pelo uso de plantas que exercem controle sobre determinadas espécies invasoras; assim, são obtidos sistemas de culturas mais produtivos. Além disso, a produção agrícola fica menos dependente de outros segmentos e proporciona menor emissão de CO<sub>2</sub>, gasto menor de energia e aproveitamento racional de recursos naturais (GOLDFARB, PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

Pesquisas como esta, que visa entender mais amplamente o papel dos aleloquímicos na natureza e no agroecossistema, estabelece manejos práticos para as plantas com potencialidades alelopáticas nas produções agrícolas, conseqüentemente, são necessárias para a agricultura e a ciência.

Entretanto, em se tratando de manejo de plantas de cobertura, faz-se necessário também maior tempo para análises, visto que, os benefícios advindos dessa prática demoram para serem detectados, como pode ser observado nas coletas de solução do solo, por exemplo.

Outro quesito que também deve ser levado em consideração é o uso de mais de uma espécie em análises alelopáticas (SOUZA FILHO, GUILHON; SANTOS 2010), como as espécies bioindicadoras alface e tomate, as quais são altamente sensíveis e poderiam indicar melhor a presença de aleloquímicos nas soluções do solo testadas. Embora o intuito, neste caso, fosse o potencial herbicida sobre invasoras, o uso de uma espécie bioindicadora poderia ter sido eficiente para acusar ou não aleloquímicos nos testes analisados.

De maneira geral, as plantas de cobertura analisadas apresentaram influência

significativa negativa sobre picão preto, mas, foram observadas diferenças nessa inibição em se tratando do manejo aplicado, como a quantidade de resíduo no solo, a incorporação acelerando o aparecimento dos efeitos, 70% da capacidade de campo melhorando a liberação de aleloquímicos, e a decomposição dos resíduos, ao mostrar que o tempo de permanência desse resíduo no solo é importante, porém, os efeitos mais pronunciados foram observados em torno da sexta semana de decomposição.

Embora não tenha sido feita comparação estatística, considerando o comportamento das três plantas estudadas, tanto o nabo forrageiro como a ervilhaca peluda apresentaram semelhanças, por outro lado, a aveia preta foi a espécie com resultados mais tardios, o que possivelmente se deve à decomposição mais lenta dos seus resíduos. Um bom uso das espécies em questão seria o consórcio, a fim de usufruir dos benefícios de todas e viabilizar o sistema plantio direto.

Alguns grupos químicos presentes nas plantas foram identificados, entretanto, em vista de imprevistos ocorridos, o objetivo total deste trabalho não foi atingido e algumas substâncias ainda precisam ser isoladas e/ou identificadas em cada espécie e futuramente, testados os seus potenciais herbicidas.

## REFERÊNCIAS

- AGROSOFT. **Brasil é referência mundial em plantio direto**. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/99939.htm>>. Acesso em 22 de agosto de 2013.
- ALMEIDA, F. S. A alelopatia e as plantas. Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina, 1988 (**Circular Técnica 53**), 60 p.
- ALMEIDA, F. S. A defesa das plantas. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, v. 11, n. 62, p. 38-45, 1990.
- ALMEIDA, F. S. Efeitos alelopáticos de resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 221-236, 1991.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ALVES, S. M.; MULLER, A. H.; SOUZA FILHO, A. P. S.; Alelopatia e a produção de biodefensivos agrícolas. Cap. 8. p. 205-260. *In*: SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M. **Alelopatia**. Princípios básicos e aspectos gerais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002, 260 p.
- ARANTES, E.; CREMON, C.; LUIZ, M. Alterações dos atributos químicos do solo cultivado no sistema orgânico com plantio direto sob diferentes coberturas vegetais. **Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 47-54, 2012.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FONSECA, J. A.; TÔRRES, A. N. L.; BAVARESCO, A. Palha de ervilhaca em cobertura morta do solo afeta a incidência de plantas daninhas e a produtividade do milho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, p. 42-49, 2003.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP. 4 ed., 2006, 237 p.
- BARROS, A. P. Q.; SOUZA FILHO, A. P.; MORAIS, R. C. Padrão de produção de compostos químicos com atividade alelopática em duas *Brachiaria*. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRA, 2, 2005, Belém, PA. **Anais...** Belém: CNPq, 2005. CD-ROM.
- BLAZJEVIC', I.; MASTELIC, J. Glucosinolate degradation products and other bound and free volatiles in the leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). **Food Chemistry**, v. 113, n. 1, p. 96-102, 2009.
- BLACKSHAW, R. E.; HARKER, N. K.; O'DONOVAN, J. T.; BECKIE, H. J.; SMITH, E. G. Ongoing development of integrated weed management systems on the Canadian prairies. **Weed Science**, Washington, v. 56, n. 1, p. 146-150, 2008.
- BITTENCOURT, H. V. H. **Culturas de cobertura de inverno na implantação de sistema de plantio direto sem uso de herbicidas**. Florianópolis, 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

BITTNER M., SILVA M. Estudio Químico de las especies de la Familia Podocarpaceae en Chile. *In: Química de la flora de Chile* (Ed. Munoz O.). Universidad de Chile, p. 243-261, 1992.

BONANOMI, G.; SICUREZZA, M. G.; CAPORASO, S.; ESPOSITO, S.; MOZZOLENI, S. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. **New Phytologist**, Lancaster, v. 169, n.3, p. 571-578, 2006.

BORGES, E. B.; ALVES, C. C. F.; ALVES, J. M.; FERREIRA, N. L. **Isolamento, purificação e caracterização de metabólitos especiais de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.)**. *In: I Congresso de Pesquisa e Pós-graduação do Campus Rio Verde do IF Goiano*, Rio Verde, 2012.

BORKERT, C. M.; AUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, R.; JUNIOR, A. O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília, Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRATT, K. **Secondary plant metabolites as defense against herbivores and oxidative stress**. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in Organic Chemistry - Uppsala University, 51 p., 2000.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto. *In: FANCELLI, A. L. Milho: Nutrição e Adubação*. Piracicaba, ESALQ/USP/LPV, 204 p., 2008.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULIZANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. Cap. 1. p. 1-119. *In: CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULIZANI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Adubação verde no sul do Brasil*. Rio de Janeiro: AS – PTA, 1992, 346 p.

CANNAS, A. **Tannins**: fascinating but sometimes dangerous molecules. Disponível em: <http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/tannin.htm>. Acesso em: 16 de julho de 2013.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O. SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

CARVALHO, J. C. T.; GOSMAN, G.; SCHENKEL, E. P. Compostos fenólicos simples e heterosídicos. Cap. 20. *In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. Farmacognosia: da planta ao medicamento*. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 2003, 1102 p.

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

CHIKOYE, D.; EKELEME, F.; LUM, A. F.; SCHULZ, S. Legume-maize rotation and nitrogen effects on weed performance in the humid and subhumid tropics of West África. **Crop Protection**, Oxford, v. 27, n. 3-5, p. 638-647, 2008.



CHOU, C. Introduction to allelopathy. Cap 1. *In*: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONZALEZ, L. (Eds). **Allelopathy: A physiological process with ecological implications**. Springer, Dordrecht, Holanda, 2006, 637 p.

CHOU, C. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 5, p. 609-636, 1999.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; HIDLAGO, E.; SILVA, J. E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: Implications on weed biology and management. **Crop Protection**, Oxford, v. 26, n. 3, p. 383-389, 2007.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S. Organismos do solo e atividade microbiana no plantio direto. Cap. 4. p. 39-53. *In*: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, ITAIPU Binacional, 2006. 212 p.

COOPAVEL – Coopavel Cooperativa Agroindustrial. **Paraná quer retomar técnicas corretas ao plantio direto**. Cascavel, n. 330, p. 8, 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, setembro 2013**. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2013.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CAVALIERI, S. D.; ARANTES, J. G. Z.; ALONSO, D. G.; ROSO, A. C. Estimativa do período que antecede a interferência de plantas daninhas na cultura da soja, var. coodetec 202, por meio de testemunhas duplas. **Planta Daninha**. Viçosa, v. 25, n. 2, p. 231-237, 2007.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C.; KLINK, U. P. Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais na emergência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 245-253, 2006.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxa de decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.

DOYLE, C. J. A review of the use the models of weed control in integrated crop protection. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 64, n. 2, p.165-172, 1997.

DUKE, S. O.; ROMAGNI, J. G.; DAYAN, F. E. Natural products as sources for new mechanisms of herbicidal action. **Crop Protection**, Oxford, v. 19, n. 8, p. 583-589, 2000.

DURAM, J. M.; TORTOSA, M. E. The effect of mechanical and chemical scarification on germination of charlock (*Sinapsis arvensis* L.) seeds. **Seed Science Technology**, Zürich, v. 13, n. 1, p. 155-163, 1985.

DURIGAN, J. C.; ALMEIDA, F. L. S. **Noções sobre alelopatia**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 28 p.

EDMOND, J. B.; DRAPALLA, W. J. The effects of temperature, sara and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v. 71, n. 2, p. 428-443, 1958.

EMBRAPA. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja. Paraná 2004. Exigência climáticas**. Disponível em:

<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosojaPR/exigencias.htm>. Acesso em: 06 de junho de 2013.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2. ed., 2006, 306 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia da produção de soja – Paraná 2005**. 1ª ed. Londrina: Embrapa soja, 2004, 239 p.

ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

FALKENBERG, M. B.; SANTOS, R. I.; SIMÕES, C. M. O. Introdução à análise fitoquímica. Cap. 10. *In*: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 2003, 1102 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análise e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, A.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Brasília, 12 (edição especial), p. 175-204, 2000.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: ARTMED, 2004, 323 p.

FERREIRA, T. N.; SCHWARTZ, R. A.; STRECK, E. V. **Solos: manejo integrado e ecológico – elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000, 95 p.

FILIZOLA, H. F. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169 p.

FORMENTINI, E. A.; LÓSS, F. R.; BAYERL, M. P.; LOVATI, R. D.; BAPTISTI, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória: Incaper, 2008, 27p.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011, 52 p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; LOLLATO, R. P.; PITELLI, R. A.; VOLL, E.; OLIVEIRA, E.; MORIYAMA, R. T. **Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja**. Embrapa Soja, Londrina, 2006. 115 p.

GAZONI, V. F. **Análise fitoquímica e avaliação do efeito anticolinesterásico do extrato e compostos isolados da *Rapanea ferruginea***. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, Santa Catarina, 2009.

GOLDFARB, M.; PIMENTEL, L. W.; PIMENTEL, N. W. Alelopatia: relações nos agroecossistemas. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 3, n. 1, p. 23-28, 2009.

GONÇALVES, S. L.; GAUDENCIO, C. A.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R.; -GARCIA, A. Rotação de culturas. **Circular Técnica 45**, Londrina, p. 1-10, 2007.

- HACHINOHE, M.; MATSUMOTO, H. Mechanism of selective phytotoxicity of L-3,4-dihydroxyphenylalanine (L-Dopa) in barnyardgrass and lettuce. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 10, n. 33, p. 1919–1926, 2007.
- HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S. M.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.
- IAPAR. INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1998.
- ISIK, C.; KAYA, E.; NGOUAJIO, M.; MENNAN, H. Weed suppression in organic pepper (*Capsicum annuum* L.) with winter cover crops. **Crop Protection**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 356–363, 2009.
- JACOBI, U. S.; FLECK, N. G. Avaliação do potencial alelopático de genótipos de aveia no final do ciclo. **Planta Daninha**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 187-207, 1998.
- JUNTILA, O. Seed and embryo germination in *S. vulgaris* and *S reflexa* as affected by temperature during seed development. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 29, n.2, p. 264-268, 1976.
- KAMO, T.; HIRADATE, S.; FUJII, Y. First isolation of natural cyanamide as a possible allelochemical from hair vetch *Vicia villosa*. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 29, n. 2, p. 275-283, 2003.
- KHALID, S.; AHMAD, T.; SHAD, R. A. Use of allelopathy in agriculture. **Asian Journal of Plant Sciences**, Faisalabad, v. 1, n. 3, 292-297, 2002.
- KICHEA, N. L.; MIRANDA, C. H. B. Uso da aveia como planta forrageira. **Embrapa gado de corte**, Campo Grande, n. 45, 2000.
- KUSTER, R. M.; ROCHA, L. M. Cumarinas, cromonas e xantonas. Cap. 21. *In*: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 2003, 1102 p.
- KUTCHAN, T. M. Ecological arsenal and developmental dispatcher. The paradigm of secondary metabolism. **Plant Physiology**, Maryland, v. 125, n. 1, p. 58–60, 2001.
- LOTINA-HENNSEN, B.; KING-DIAZ, B.; AGUILAR, M. I.; HERNANDEZ TERRONES, M. Plant secondary metabolites: targets and mechanisms of allelopathy. Cap. 11. *In*: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONZALEZ, L. (Eds.). **Allelopathy: A physiological process with ecological implications**. Springer, Dordrecht, Holanda, 2006, 637 p.
- MACEDO JUNIOR, F. C. Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de <sup>13</sup>C no estudo de rotas biossintéticas de produtos naturais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 116-124, 2007.
- MAGUIRE, J. D. Seeds of germination-aid selection and evaluation seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MARTINS, D.; MARTINS, C. C.; COSTA, N. V. Potencial alelopático de soluções de solo cultivado com *Brachiaria brizantha*: Efeitos sobre a germinação de gramíneas forrageiras e plantas daninhas de pastagens. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 61-67, 2006.

MATERA, R. GABBANINI, S.; NICOLA, G. R.; ORI, R.; PETRILLO, G.; VALGIMIGLI, L. Identification and analysis of isothiocyanates and new acylated anthocyanins in the juice of *Raphanus sativus* cv. Sango sprouts. **Food Chemistry**, v. 133, n. 2, p. 563-572, 2012.

MATOS, F. J. A. **Introdução à fitoquímica experimental**. Fortaleza: UFC, 2009. 150 p.

MAULI, M. M.; NÓBREGA, L. H. P.; ROSA, D. M.; LIMA, G. P.; RALISH, R. Variation on the Amount of Winter Cover Crops Residues on Weeds Incidence and Soil Seed Bank during an Agricultural Year. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 54, n. 4, p. 683-690, 2011.

MENDES, M. F. A. **Espectrofotometria**. Acesso em: 24 de junho de 2013. Disponível em: [http://www.ufrgs.br/leo/site\\_espec/bibliografia.html](http://www.ufrgs.br/leo/site_espec/bibliografia.html).

MEURER, E. J. **Fundamentos da química do solo**. 4 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 266 p.

MOLIN, R. **Sistemas de produção em plantio direto**. Explorando alternativas econômicas rentáveis para o inverno. Castro: Fundação ABC, 2008. 104 p.

MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; INÁCIO, E. M.; BRUNHARA, J. P.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 85-95, 2009.

MONTEIRO, C. A.; VIEIRA, E. L. Substâncias alelopáticas. Cap. VII. *In*: CASTRO, P. R. C.; SENA, J. O. A.; KLUGE, R. A. **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**. Maringá: Eduem, 2002, 255 p.

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; TIRONI, S. P.; GALON, L.; SANTOS, L. S. Alelopatia de plantas de cobertura na superfície ou incorporadas ao solo no controle de *Digitaria* spp. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, (número especial), p. 963-973, 2011 (a).

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; VIGNOLO, G. K.; SANTOS, L. S.; OLIVEIRA, E. Culturas de cobertura com potencial alelopático sobre emergência de *Digitaria* spp. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 6, n. 2, p. 292-299. 2011 (b).

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; BRANDOLT, R. R.; TIRONI, S. P.; OLIVEIRA, C.; MARKUS, C. Efeito alelopático de plantas de cobertura, na superfície ou incorporadas ao solo, no controle de picão preto. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 17, n. 1, p. 51-67, 2010.

MOREIRA F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 729 p., 2006.

MOURÃO JUNIOR, M.; SOUZA FILHO, A. P. S. Diferenças no padrão de atividade alelopática em espécies da família Leguminosae. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. esp., p. 939-951, 2010.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. *In*: **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006, 212 p.

NORSWORTHY, J. K. Allelopathic potencial of wild radish (*Raphanus raphanistrum*). **Weed Technology**, Fayetteville, v. 17, n. 2, p. 307-313, 2003.

OLEA, R. S. G.; ROQUE, N. F. Análise de misturas de triterpenos por RMN de <sup>13</sup>C. **Química Nova**, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 278-281, 1990.

OLIBONE, D.; CALONEGO, J. C.; PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial da soja sob o efeito de resíduos de sorgo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 255-261, 2006.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.

OOTANI, M. A.; AGUIAR, R. W.; RAMOS, A. C. C.; BRITO, D. R.; SILVA, B. J.; CAJAZEIRA, J. P. Use of essential oils in agriculture. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 4, n. 2, p. 162-174, 2013.

PARACAMPO, N. E. N. P. **Prospecção fitoquímica de plantas medicinais**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

PENTEADO, S. R. **Adubação verde e produção de biomassa**: melhoria e recuperação dos solos. Livros Via Orgânica – Campinas, 2007, 164 p.

PEDROL, N.; GONZÁLEZ, L.; REIGOSA, M. Allelopathy and abiotic stress. Cap. 9. *In*: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONZALEZ, L. (Eds). **Allelopathy: A physiological process with ecological implications**. Springer, Dordrecht, Holanda, 2006, 637 p.

PEREZ, F. J.; NUNEZ, J. O. Root exudates of wild oats. Allelopathic effect on spring wheat. **Phytochemistry**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 2199-2202, 1991.

PERES, L. E. P. Metabolismo secundário. **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, 26 p. 2004. Disponível em: <http://docentes.esalq.usp.br/lazaropp/FisioVegGradBio/MetSec.pdf>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2013.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

PIRES, N. M.; OLIVEIRA, V. R. Alelopatia. p. 145-185. Cap. 5. *In*: OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Agropecuária, Guaíba, 2001, 364 p.

PLATAFORMA PLANTIO DIRETO. **Histórico do sistema plantio direto**. Disponível em: <http://www22.sede.embrapa.br/plantiodireto/IntroducaoHistorico/index.htm>. Acesso em: 13 de março de 2013.

POPA, V. I.; DUMITRU, M.; VOLF, I.; ANGHEL, N. Lignin and polyphenols as allelochemicals. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 144-149, 2008.

PUTNAM, A. R.; DUKE, W. B. Allelopathy in agroecosystems. **Annual Reviews Phytopathol**, Palo Alto, n. 16, p. 431-51, 1978.

RABÊLO, G. O.; FERREIRA, A. L. S.; YAMAGUSHI, M. Q.; VESTENA, S. Potencial alelopático de *Bidens pilosa* L. na germinação e no desenvolvimento de espécies cultivadas. **Revista Científica da Faminas**, Muriaé, v. 4, n. 1, p. 33-43, 2008.

- RAINS, G. C.; OLSON, D. M.; LEWIS, W. J. Redirecting technology to support sustainable farm management practices. **Agricultural Systems**, v. 104, n. 1, p. 365-370, 2011.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**, 6<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001, 906 p.
- REZENDE, C. P.; CARDOSO PINTO, J.; EVANGELHISTA, A. R.; SANTOS, I. P. A. Alelopatia e suas interações na formação e manejo de pastagens. **Boletim Agropecuário**. Lavras, n. 54, p. 1-55, 2003.
- RICE, E. L. **Allelopathy**. Academic Press, Orlando, 1984. 2 ed. 424 p.
- RICE, E. L. Some roles of allelopathic compounds in plant communities. **Biochemical systematics and ecology**, England, v. 5, p. 201-206 1977.
- RICE, E. L. **Allelopathy**. New York: Academic Press, 1974, 333 p.
- RIZZARDI, M. A.; SILVA, L. F.; VARGAS, L. Controle de plantas daninhas em milho em função de quantidades de palha de nabo forrageiro. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 263-270, 2006.
- RIZZARDI, M. A.; SILVA, L. F. Influência das coberturas vegetais antecessoras de aveia preta e nabo forrageiro na época de controle de plantas daninhas em milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 669-675, 2006.
- ROCHA, W. X. **Nitrilas e isonitrilas**. Acesso em: 23 de julho de 2013. Disponível em: [http://www.oocities.org/vienna/choir/9201/nitrilas\\_e\\_isonitrilas.htm](http://www.oocities.org/vienna/choir/9201/nitrilas_e_isonitrilas.htm).
- ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; PICCOLO-LIMA, G. Comportamento da comunidade invasora na cultura do milho consorciado com leguminosas. **Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 2, n. 2, p. 99-106, 2012.
- ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M.; COELHO, S. R. M. Action of dwarf mucuna, pigeon pea and stylosanthes on weeds under Field and laboratory conditions. **Interciência**, Caracas, v. 36, n. 11, p. 841-847, 2011.
- RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade campo de latossolos e neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 389-393, 2003.
- SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto**. Brasília: Embrapa – SPI; Dourados: Embrapa-CPAO, 1998, 248 p.
- SÁNCHEZ-MOREIRAS; A. M.; WEISS, O. A.; REIGOSA-ROGER, M. J. Allelopathic Evidence in the Poaceae. **The Botanical Review**, Vigo, v. 69, n. 3, p. 300-319, 2004.
- SCALÉA, M. **Plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2007. 112 p.
- SANTOS, H. P. Espécies vegetais para sistema de produção no sul do Brasil. Cap. 2 p. 133-176. In: SANTOS, H. P.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa trigo, 2003. 212 p.
- SANTOS, H. P.; REIS, E. M. Rotação de culturas. Cap 1. p. 13-132. In: SANTOS, H. P.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2 ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003, 212 p.

SANTOS, S.; REZENDE, M. O. O. Avaliação do potencial herbicida de compostos secundários na germinação de sementes de plantas daninhas encontradas em pastagens. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 32, p. 72-78, 2008.

SEIGLER, D. S. Basic pathway for the origin of allelopathy compounds. Cap. 2. *In*: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONZALEZ, L. (Eds). **Allelopathy**: A physiological process with ecological implications. Springer, Dordrecht, Holanda, 2006, 637 p.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 223-228, 2001.

SILVA, P. S. S. Atuação dos aleloquímicos no organismo vegetal e formas de utilização da alelopatia na agronomia. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 65-74, 2012.

SOLTYS, D.; BOGATEK, R.; GNIAZDOWSKA, A. Phytotoxic effects of cyanamide on seed germination and seedling growth of weed and crop species. **Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica**, Cracow, v. 54, n. 2, p. 87-92, 2012.

SOUZA FILHO, A. P. S.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S. Metodologias empregadas em estudos de avaliação da atividade alelopática em condições de laboratório – Revisão crítica. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 689-697, 2010.

SOUZA FILHO, A. P. **Alelopatia e as plantas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 159 p.

SOUZA FILHO, A. P. S.; PEREIRA, A. A. G.; BAYMA, J. C. Aleloquímico produzido pela gramínea forrageira *Brachiaria humidicola*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 25-32, 2005.

SOUZA, F. M.; GANDOLFI, S.; PEREZ, S. C. J. G. A.; RODRIGUES, R. R. Allelopathic potential of bark and leaves of *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae). **Acta Botânica Brasileira**, Feira de Santana, v. 1, n. 24, p. 169-174, 2010.

SOUZA, C. M.; PIRES, F. B. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa: UFV, 72 p., 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Artmed, 5ª ed, Porto Alegre, 2013, 918 p.

THEISEN, G.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Redução da infestação de *Brachiaria plantaginea* em soja pela cobertura do solo com palha de aveia preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 753-756, 2000.

TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas infestantes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 379-384, 2006.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; MATTEI, D.; SILVA, H. L.; CARNIELETO, C. E.; GUSTMANN, M. S.; VIOLA, R.; MACHADO, A. Efeitos de resíduos da parte aérea de sorgo, milho e aveia na emergência e no desenvolvimento de plântulas de leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) resistentes a inibidores da ALS. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 443-450, 2006.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II – Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2004.

UCHINO, H.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y.; ICHIYAMA, K.; SUGIURA, E.; YUDATEA, T.; NAKAMURA, S.; GOPAL, J. Effect of interseeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system .1. Stability of weed suppression over years and main crops of potato, maize and soybean. **Field Crops Research**, v. 127, n. 8, p. 9–16, 2012.

UCHINO, H.; IWANA, K.; JITSUYAMA, Y.; YUDATE, T.; NAKAMURA, S. Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. **Field crops research**, v. 113, n. 3, p 342-351, 2009.

WEIH A, U. M. E.; DIDON A, A.C.; RÖNNBERG-WÄSTLJUNG B, C.; BJÖRKMAN, M. Integrated agricultural research and crop breeding: Allelopathic weed control in cereals and long-term productivity in perennial biomass crops. **Agricultural Systems**, v. 97, n. 3, p. 99–107, 2008.

VIDAL, R. A.; BAUMAN, T. T. Fate of allelochemicals in the soil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 351-357, 1997.

VIZZOTO, M.; KROLOW, A. C.; WEBER, G. E. B. Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, **Documento 316**, 2010, 16 p.

VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; SOUZA FILHO, A. P. S. Alelopatia e coberturas vegetais usados na Região Sul do Brasil. Cap. 6. p. 133-176. *In*: SOUZA FILHO, A. P. da S. (Ed.). **Ecologia química: a experiência brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 366 p.

ZUANAZZI, J. A. S.; MONTANHA, J. A. Flavonoides. Cap 23. *In*: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 2003, 1102 p.