



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**LIMITES TÉRMICOS COMO PREDITORES DO TEMPO DE GERMINAÇÃO E OS
RISCOS RELACIONADOS COM O AQUECIMENTO GLOBAL: UM ESTUDO DE
CASO UTILIZANDO SEMENTES DE *Polygonum ferrugineum***

ANA LETICIA BRAGANÇA RODRIGUES

BELO HORIZONTE

2015

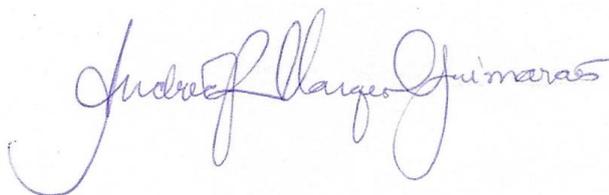
ANA LETICIA BRAGANÇA RODRIGUES

LIMITES TÉRMICOS COMO PREDITORES DO TEMPO DE GERMINAÇÃO E OS RISCOS RELACIONADOS COM O AQUECIMENTO GLOBAL: UM ESTUDO DE CASO UTILIZANDO SEMENTES DE *Polygonum ferrugineum*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Professora Dra. Andréa Rodrigues Marques Guimarães

Ana Letícia Bragança Rodrigues



Andréa Rodrigues Marques Guimarães

BELO HORIZONTE
2015

SUMÁRIO

1. Introdução.....	4
2. Objetivos.....	6
2.1 <i>Objetivos Específicos</i>	6
3. Referencial Teórico.....	7
3.1. Fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam a fisiologia da germinação.....	7
3.2. Modelos de dinâmica de banco de sementes.....	11
4. Metodologia.....	16
4.1. Testes de germinação.....	16
4.2. Modelagem e análises estatísticas.....	17
4.3. Riscos da variação no clima no tempo de germinação de sementes.....	20
5. Resultados Esperados.....	20
6. Conclusões.....	20
7. Referências.....	21

1. Introdução

O interesse no controle de plantas daninhas e invasoras vem crescendo atualmente junto com a pesquisa de técnicas mais modernas. O banco de sementes dessas plantas constitui um sério problema em um agrossistema por garantir infestações por longos períodos. Prever eventos futuros e planejar atividades de controle são importantes para um bom manejo, pois representam oportunidades na regulação de bancos no solo. Devido à complexidade dos sistemas de manejo e os riscos ambientais envolvidos, uma ferramenta que também se tornou valiosa foi a modelagem matemática que além de permitir a identificação da flora e sua evolução numa área, podem ter aplicação na predição de infestantes. A incorporação da dinâmica de populações de daninhas ao problema pode conduzir um aumento dos lucros de produção e melhor controle de plantas invasoras reduzindo a aplicação dos insumos e a agressão ao meio ambiente (VISMARA *et al.*, 2007).

O gênero *Polygonum* (Polygonaceae) tem sido extensivamente investigado. Segundo Barroso *et al.* (1978), são cerca de 40 gêneros e aproximadamente 800 espécies encontradas principalmente nas regiões tropicais, temperadas e subtropicais. As espécies de *Polygonum* são consideradas como invasoras e são muito combatidas por serem tidas como prejudiciais, no entanto, em alguns casos podem ser benéficas quando integram sistemas de manejo (MACEDO, 1995). Neste trabalho estudaremos a espécie *P. ferrugineum* pertencente ao grupo ecológico emergente das macrófitas aquáticas. Estas são importantes componentes dos recursos hídricos, contudo, a presença excessiva dessas plantas pode diminuir o potencial de usos múltiplos de reservatórios. A espécie é usada para curar feridas infectadas e como antisséptico, antibiótico ou antifúngico na medicina tradicional argentina (LÓPEZ *et al.*, 2011).

A temperatura é um dos principais fatores ambientais na germinação de sementes, determinando tanto a fração de sementes de uma população que germinam tanto a taxa à qual emergem (HEYDECKER, 1977). Alguns modelos predizem as mudanças dos parâmetros térmicos de uma população que caracterizam o estado de dormência das sementes como o modelo tempo-termal

(*thermal-time*), que ficou bem conhecido por prever o tempo de aparecimento das espécies daninhas *Polygonum aviculare* e *P. persicaria* no campo (BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2000). Esse modelo, também chamado de graus-dias, tem sido muito utilizado, pois relaciona o processo de desenvolvimento com a energia térmica recebida pelo sistema, no qual a velocidade de germinação que representa os inversos dos tempos necessários para a germinação de sementes apresenta uma relação linear com a temperatura.

A temperatura de base (T_b), ótima (T_o) e máxima (T_m) são muito importantes para o modelo graus-dias. No caso do processo de germinação, conhecendo-se a temperatura base ou mínima T_b , pode-se prever o tempo necessário para que uma população de sementes germine em um determinado regime térmico. Segundo Daws *et al.* (2004) a variação de T_b entre as populações de uma mesma espécie pode ser devido a diferentes condições ambientais durante o desenvolvimento da semente. Plotando-se à germinação contra graus-dias que é o produto da multiplicação de $T - T_b$ pelo tempo (t_g) necessário para a germinação da porcentagem G ou $\theta_g = (T - T_b) t_g$, as várias isotermas podem ser convergidas para uma única curva devido ao T_b ser praticamente o mesmo para todas as frações da população. Por exemplo, uma fração $G = 10\%$ representa as primeiras sementes a alcançarem a marca de 10% de germinação, qualquer que seja a temperatura (CARDOSO; PEREIRA, 2008).

De acordo com Walck *et al.* (2011), em espécies com dormência fisiológica, o aquecimento global poderá interferir de tal modo que as plântulas terão sua emergência adiada ou antecipadas, em casos de invernos mais curtos ou em caso de primavera prematura, respectivamente. Grandes aumentos de temperaturas foram relatados e previstos nas serras do Mediterrâneo, no Atlântico Norte, na península Antártica, entre outros. Nesse contexto, a importância dos limites térmicos na previsão do tempo de germinação sob as atuais condições ambientais com cenários de mudanças climáticas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) está sendo cada vez mais estudadas (ORRÙ *et al.*, 2012). O IPCC define a mudança climática como uma variação estatisticamente significativa em um parâmetro climático médio ou sua variabilidade, persistindo um período extenso (tipicamente décadas ou por mais tempo). Ele previu aumentos de temperatura de aprox. 2-4 °C em 2090- 2099 de acordo com diferentes cenários de emissão. As

previsões foram agrupadas em quatro cenários futuros de mudanças climáticas (A1, A2, B1 e B2), também são conhecidos como Cenários SRES (Special Report Emission Scenarios), que exploram caminhos alternativos de desenvolvimento, levando em consideração dados demográficos, econômicos e tecnológicos e resultados das emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2007). Em resumo estes cenários apresentam as seguintes características: A1 é o cenário que descreve um mundo futuro onde a globalização é dominante; A2 é o cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante; B1 é o cenário que descreve uma rápida mudança na estrutura econômica mundial, onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas; B2 é o cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A característica de cada cenário, em relação às concentrações de gases de efeito estufa (SO_2 , CO_2 , N_2O e CH_4), mostrando as diferentes concentrações dos cenários SRES e suas variações no período de 1980 até 2100. Os cenários escolhidos foi o maior aquecimento na América do Sul e é simulado pelo modelo CCSR/NEIS, chegando a $+3^\circ\text{C}$ e $+4^\circ\text{C}$ na região tropical nos cenários A2 e B2, em 2050 (MARENGO, 2007).

2. Objetivos

(1) caracterizar os limites térmicos para o tempo de germinação da espécie *Polygonum ferrugineum*; (2) modelar a germinação das sementes utilizando o modelo tempo-termal (graus-dia); (3) prever o impacto de dois cenários do IPCC de temperaturas crescentes na germinação de sementes.

2.1 Objetivos Específicos

Foram definidos os seguintes objetivos:

- Realizar testes de germinação das sementes de *P. ferrugineum* após estratificação em solo úmido e frio (10°C) por sete dias;
- Definir as temperaturas cardinais e elaborar um modelo tempo-termal (θ);
- Avaliar o impacto das condições climáticas de dois cenários simulados do IPCC para América do Sul, para os cenários extremos “pessimista” A2 e “otimista” B2: A2($+3^\circ\text{C}$) e B2($+4^\circ\text{C}$) no tempo de germinação.

3. Referencial Teórico

3.1. Fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam a fisiologia da germinação

As sementes são um meio de sobrevivência das espécies vegetais, pois resistem a condições adversas, elas são o principal tipo de reprodução das plantas. Apresentam importância econômica como alimento e são utilizadas pela agroindústria sendo transformadas em uma variedade de produtos (WALTER, 2008). No final da maturação da semente, o embrião entra numa fase quiescente, ou seja, inicia e completa o processo germinativo quando os fatores ambientais são favoráveis e não há presença de elementos tóxicos capazes de impedir a germinação. Uma vez que a semente foi dispersa da planta-mãe, ela representa um organismo autônomo, sendo que o desenvolvimento do embrião depende de vários fatores, seja da própria semente, ou do ambiente (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). Entre os fatores do ambiente (externos) existe uma ampla variação nas respostas germinativas, ou seja, cada espécie responde de maneira diferente. Conhecer os fatores ambientais permite otimizar a quantidade e a velocidade da germinação. Os principais são: disponibilidade de água e oxigênio, luz, temperatura, nutrientes (HOPPE *et al.*, 2004).

A disponibilidade de água é o fator mais importante no processo de germinação, devido à absorção da água ocorre reidratação dos tecidos e, conseqüentemente, intensificação da respiração e todas as outras atividades metabólicas, que fornecem energia e nutrientes para o desenvolvimento embrionário. A quantidade de água necessária para o crescimento do embrião e a velocidade de absorção varia entre as espécies, o excesso de umidade em muitas, pode provocar o decréscimo na germinação. A entrada de água na semente é controlada pela permeabilidade do tegumento, pela disponibilidade de água e pela composição química das reservas de sementes, a água é responsável pelo intumescimento da semente, o que facilita o rompimento do tegumento, que é importante para o desenvolvimento do embrião (HOPPE *et al.*, 2004). O nível de hidratação da semente tem importância na quebra e indução da dormência (BASKIN; BASKIN, 2001).

Os gases que mais influenciam a germinação são o oxigênio (O₂) e dióxido de carbono (CO₂). A necessidade de O₂ para a respiração do embrião está relacionada

com a obtenção de energia, um solo bem areado com boa disponibilidade de oxigênio é necessário para a quebra e indução da dormência em muitas espécies de sementes (BASKIN; BASKIN, 2001; HOPPE *et al.*, 2001).

As sementes também respondem de diversas maneiras em ambientes com diferentes intensidades luminosas, a germinação de algumas espécies é inibida pela luz, denominada fotoblásticas negativas, outras são estimuladas, fotoblásticas positivas. Algumas germinam com extensa exposição à luz, outras com breve exposição e outras se apresentam indiferentes à luminosidade; algumas germinam somente no escuro, outras necessitam de um longo, ou curto fotoperíodo diário. A germinação está relacionada também com a qualidade de luz (HOPPE *et al.*, 2004).

A matéria orgânica existente no solo é importante na disponibilidade de nutrientes. Na ausência de elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, ela não completa seu ciclo de vida. Os principais nutrientes utilizados pelas plantas são: nitrogênio (atua em todas as fases desta, tais como crescimento, floração, frutificação das plantas), fósforo (age na produção de energia, na respiração, divisão celular), potássio (favorece a formação de raízes, amadurecimento do fruto, etc.), cálcio, magnésio, enxofre, manganês, ferro, entre outros nutrientes (FAQUIN, 2005).

A temperatura tem uma influência direta sobre dormência e germinação, afetando tanto a capacidade de germinação, através da regulação da dormência, quanto à taxa e velocidade de germinação de sementes não-dormentes. Ela pode afetar as reações bioquímicas que determinam todo o processo germinativo. Desde 1860, foram reconhecidas pelo menos três temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) que descrevem uma faixa de temperatura onde as sementes de uma determinada espécie podem germinar (BEWLEY; BLACK, 1994). A temperatura mínima ou base (T_b) é a menor na qual pode ocorrer a germinação, ela reduz a velocidade de germinação e a uniformidade de emergência. A temperatura ótima (T_o) é a que a germinação é mais rápida e propicia uma porcentagem de germinação máxima. A temperatura máxima ou teto máximo (T_m) é a maior em que as sementes possam germinar, aumentam a velocidade de germinação, mas somente as sementes mais vigorosas conseguem germinar, determinando assim uma redução na porcentagem de germinação (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Há espécies que respondem bem tanto à temperatura constante como à alternada. A alternância de

temperatura corresponde, provavelmente, à uma adaptação natural do ambiente (HOPPE *et al.*, 2004).

Sabe-se que a temperatura é muito importante para quebra de dormência. Estudos de laboratório mostram que a dormência é quebrada por temperaturas alternadas, mas essa resposta ocorre apenas após exposição prévia a temperaturas de refrigeração (FENNER; THOMPSON, 2005). A temperatura tem uma influência direta sobre dormência e germinação, afetando tanto a capacidade de germinação, através da regulação da dormência, quanto à taxa e velocidade de germinação de sementes não-dormentes. O intervalo de temperatura entre T_b e T_m é sensível ao status de dormência das sementes, sendo muitas vezes estreita em sementes dormentes e ampliadas quando a dormência é perdida. Em particular, os valores baixos T_m são frequentemente associados com a dormência das sementes, como a dormência relativa ou a termo-inibição, exibida por sementes cuja germinação é impedida em temperaturas mais quentes (BRADFORD; SOMASCO, 1994). As temperaturas cardinais para a germinação geralmente estão relacionados à faixa de adaptação ambiental de uma dada espécie e servem para calcular o tempo de germinação em condições favoráveis para o crescimento das mudas e, posterior, desenvolvimento.

Dentre os fatores internos que afetam a germinação temos: impermeabilidade da casca da semente, impedindo a penetração de água e oxigênio; presença de inibidores bioquímicos na semente ou tegumento, longevidade das sementes (viabilidade) e imaturidade do embrião (FERNANDEZ-QUINTANILLA *et al.*, 1991). Porém nem todas as sementes germinam mesmo em condições favoráveis, a dessecação é como uma estratégia de adaptação que permite a sobrevivência da semente durante o armazenamento assegurando a disseminação das espécies. Segundo Roberts (1973) as sementes podem ser classificadas em ortodoxas, ou seja, podem sofrer secagem até atingir baixo grau de umidade sem a ocorrência de danos ao metabolismo ou, recalcitrantes, as quais são incapazes de sobreviver ao armazenamento em ambientes relativamente secos.

Quando as sementes estão em condições estressantes no ambiente, existe outro fator que pode ser limitante denominado dormência e que é capaz de não permitir que ocorra o processo de germinação. Geralmente esse fator é classificado

pela origem e pelos prováveis mecanismos envolvidos (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Reconhecendo-se o caráter indutivo da dormência, ou seja, ela surge (é induzida) em uma determinada etapa do desenvolvimento e condições ambientais, essa pode ser inicialmente classificada em: primária, que se instala durante o desenvolvimento da semente na planta-mãe e; secundária, que se estabelece na semente após sua liberação (CARDOSO, 2009).

A dormência primária instala-se durante a fase de desenvolvimento e/ou maturação, de modo que a semente é dispersa da planta-mãe já em estado de dormente, exigindo, portanto, tratamento ou condições específicas para se tornar quiescente. A dormência secundária instala-se em uma semente quiescente, após a dispersão quando esta se encontra em um ambiente desfavorável ou estressante para a germinação, principalmente quanto aos fatores água, temperatura, luz e oxigênio. Não apenas ambientes desfavoráveis, mas também condições de toxidade podem induzir dormência secundária (FERREIRA *et al.*, 2004).

De acordo com Baskin e Baskin (2001) existem seis tipos de dormência com base nos mecanismos das sementes: dormência fisiológica, morfológica, morfo-fisiológica, física, física e fisiológica, e química. A dormência fisiológica (DF) é causada por um mecanismo fisiológico da inibição do embrião, que impede a emergência da radícula. No entanto, as estruturas que cobrem o embrião, incluindo endosperma, tegumentos podem prevenir a germinação (BASKIN; BASKIN, 2001). Pode ser dividida em diferentes níveis que se referem basicamente aos diferentes tratamentos de quebra de dormência, por exemplo, o tempo de estratificação (CARDOSO, 2009). O segundo tipo é impedido no momento da maturidade devido às características morfológicas do embrião, daí o termo dormência morfológica (DM), o embrião pode ser diferenciado (subdesenvolvido), é necessário o crescimento do embrião, e não diferenciado que precisa que ocorra a diferenciação e crescimento. A DM não responde a tratamentos de quebra de dormência, seguindo apenas seu próprio ritmo de crescimento (BASKIN; BASKIN, 2001). A dormência morfo-fisiológica (DMF) é a combinação da DM e DF. Em geral duas coisas devem acontecer antes de sementes com DMF germinem: o embrião deve ter um tamanho específico da espécie crítica, pois possui embrião subdesenvolvido, e a dormência fisiológica do embrião deve ser quebrada (BASKIN; BASKIN, 2001). Os tipos de

DMF estão relacionados aos diferentes métodos utilizados para a quebra da dormência, que são baseados ou em tratamentos térmicos (estratificação) ou tratamentos com ácido giberélico. Os tratamentos térmicos de são basicamente estratificação a quente e frio, sendo que pode ser seguida de outra estratificação, por exemplo, quente + frio, frio + quente + frio. Dependendo o ácido giberélico pode substituir os tratamentos de estratificação quente ou fria (CARDOSO, 2009). Na dormência física, a principal razão para a falta de germinação é a impermeabilidade do tegumento à água. Em alguns casos a quebra da dormência física ocorre pela formação de uma lacuna ou abertura em determinadas regiões do tegumento. A dormência física pode combinar com a fisiológica, de modo que a semente só germina quando os dois tipos podem ser quebrados. Quimicamente sementes dormentes não germinam devido à presença de inibidores no pericarpo. Além disso, a dormência química é quebrada por remoção do pericarpo ou lixiviação dos frutos (BASKIN; BASKIN, 2001).

Além dos tratamentos de estratificação, abertura de lacuna no tegumento, remoção do pericarpo, entre outras, Baskin e Baskin (2001) fizeram um levantamento sobre a quebra de dormência física sob condições naturais. Entre eles se encontram altas temperaturas, secagem a altas temperaturas, fogo, baixas temperaturas de inverno, ação microbiana e efeitos dos animais sobre as sementes com e sem dormência física.

3.2. Modelos de dinâmica de banco de sementes

De acordo Cousens e Mortimer (1995) as plantas anuais possuem um ciclo completo em um ano, começando com a germinação no solo, seguida por crescimento vegetativo, floração, produção e disseminação de sementes, sobrevivência ou mortalidade no solo e germinação no ciclo seguinte. No entanto não são todas que germinam, pois existe uma quantidade de sementes que permanecem dormentes no solo. Assim a população fica determinada não só pelas sementes do ano anterior, mas também pelas do banco de sementes daquele ano (VISMARA *et al.*, 2007).

Segundo Roberts (1981) o termo banco de sementes foi definido como sendo a reserva de sementes viáveis no solo. Esse reservatório desempenha um papel importante para as comunidades vegetativas, pois asseguram o retorno e

manutenção de todas as espécies em sua estação favorável (HARPER, 1977). A importância do banco de sementes é crucial na substituição de plantas eliminadas de causa natural ou não.

Segundo Baskin e Baskin (2001) existem dois tipos de bancos de sementes: o transitório e o persistente. O banco de sementes transitório foi definido como aquele em que nenhuma das sementes produzidas em um determinado ano permanecem viáveis no habitat por mais de um ano, enquanto as sementes em um banco de sementes persistente são de um ou mais anos de idade.

A dormência é um dos principais mecanismos de preservação de espécies em bancos de sementes, distribuindo a germinação ao longo do tempo. O período de tempo que as sementes permanecem no banco é determinado por diversos fatores fisiológicos como germinação, dormência, viabilidade, e ambientais como umidade, temperatura, luz, entre outros (RIBEIRO *et al.*, 2007).

A entrada de sementes é determinada pela chuva de sementes provenientes da comunidade local, da vizinhança e de áreas distantes, quando as sementes são dispersas após os distintos processos de dispersão (anemocoria, endozoocoria, epizoocoria, hidrocoria e autocoria) (PEREIRA *et al.*, 2010). Os agentes de transporte tais como maquinários, animais, água, vento e o próprio homem participam contribuindo tanto no enriquecimento como no empobrecimento do banco de sementes.

Em um agrossistema o resultado de desequilíbrio causado pela intervenção do homem é o surgimento de plantas daninhas e outras pragas. Um dos principais mecanismos de sobrevivência das plantas daninhas é a alta produção de sementes, essa alta produção com ajuda de outros mecanismos como, dormência, longevidade, capacidade de sobrevivência em condições adversas pode garantir um grande reservatório de sementes. Muitos processos estão envolvidos na geração e regulação do banco de sementes no solo, por exemplo, práticas de manejo possuem maior impacto nesses processos e representam oportunidades para regulação das características do banco de sementes nos sistemas de produção agrícola (CARMONA, 1992).

Nesse contexto, dada à complexidade dos sistemas de manejo e os riscos ambientais envolvidos, a modelagem matemática é uma ferramenta potencialmente valiosa (DOYLE, 1997). Segundo Voll *et al.* (1997) estudos e levantamentos de

populações de plantas daninhas em ambientes agrícolas, além de permitirem a identificação da flora infestante e sua evolução em uma área, podem ter aplicação na predição de infestantes em culturas agrícolas. Assim as emergências de espécies daninhas podem ser eliminadas por práticas de manejo, reduzindo as infestações e a sobrevivência da espécie.

No banco de sementes de espécies daninhas, a dormência é atenuada durante a época anterior ao período com condições favoráveis para o desenvolvimento de mudas e crescimento das plantas, enquanto que a indução de dormência ocorre no período que antecede a temporada com condições ambientais inadequadas para a sobrevivência da planta (BENECH-ARNOLD *et al.*, 2000). A redução da dormência pode ser associada com um aumento da amplitude térmica, que permite a germinação das sementes. Por outro lado, a indução de dormência estaria associada a um estreitamento da faixa térmica. Germinação em condições de campo é, portanto, restrita ao período quando a temperatura de campo e a faixa de temperatura para a germinação da espécie se sobrepõem (VLEESHOUWERS; BOUWMEESTER, 2001).

A dinâmica populacional de plantas daninhas é o resultado da influencia de fatores intrínsecos (interações intra-específicas) e extrínsecos (interações interespecíficas). A evolução intrínseca da população pode ser descrita, basicamente, em duas situações distintas: quando não há competição intra-específica e quando o nível populacional está alto tal que as plantas passam a competir por recursos vitais. O crescimento populacional é função das densidades de plantas daninhas (VISMARA *et al.*, 2007). Segundo Mistro *et al.* (2003), Edelstein-Keshet (1988) formulou um modelo para descrever a dinâmica de plantas anuais considerando um banco de sementes de dois anos, foi suposto que as sementes com mais de dois anos são inviáveis e morrem, nesse modelo considera apenas o número de indivíduos de cada geração.

A dormência é um atributo comum de muitas populações de plantas daninhas, o que dificulta a tarefa de prever a emergência de bancos de sementes dessas plantas em condições de campo (BENECH-ARNOLD; SÁNCHEZ, 1995). Conseqüentemente, as previsões precisas do tempo e proporção de emergência de plantas daninhas dependem em grande parte da compreensão da dinâmica de dormência das sementes em relação ao meio ambiente. Embora existam

abundantes informações relacionadas com este contexto, poucos esforços têm sido feitos para modelar os efeitos do ambiente sobre a dormência das sementes (FORCELLA *et al.*, 2000).

De acordo com Vismara *et al.* (2007) os modelos dinâmicos de banco de sementes foram divididos em: modelos de único estágio para a produção de sementes e modelos de múltiplos estágios para produção de sementes. O primeiro avalia a densidade da população em intervalos de uma geração individual a cada ciclo, descrevendo mudanças de densidades, considera a população de sementes. O segundo considera não só a população de sementes, mas também de plantas, e considera ganhos e perdas de uma para a outra.

A resposta das populações à temperatura pode ser dividida em temperatura: mínima (ou de base), ótima e máxima (ou teto). As temperaturas base (T_b) e máxima (T_m), representam, respectivamente, os limites inferior e superior, além dos quais não ocorre a germinação. A temperatura ótima divide em dois segmentos a curva de resposta das sementes à temperatura, um intervalo infra-ótimo, situado entre T_b e T_o ; e um intervalo supra-ótimo, localizado entre T_o e T_m (VISMARA *et al.* 2007).

Segundo Cardoso (2008), os modelos matemáticos que descrevem os padrões de germinação em resposta a temperatura têm sido desenvolvidos, por exemplo, os modelos tempo-termal e hidro-termal. Modelos baseados no conceito graus dias (tempo-termal) e Ψ_w (potencial hídrico) dia (hidro-termal) podem ser usados para a elaboração de modelos mais gerais sobre a germinação e emergência de plântulas no campo, podendo ser uma importante ferramenta para estudos sobre a biologia de plantas daninhas e seu controle. Para temperaturas sub-ótimas (de T_b para T_m), o tempo de germinação pode ser descrito com base no modelo tempo-termal ou unidades de calor. Ou seja, a temperatura acima de T_b multiplicada pelo tempo para uma dada porcentagem de germinação (t_g), é uma constante para aquela porcentagem, a constante tempo-termal é $\theta(g)$:

$$\theta(g) = (T - T_b) * t_g \quad (1)$$

$$GRg = 1/ t_g = (T - T_b)/ \theta(g) \quad (2)$$

Para as temperaturas supra-ótimas, onde a velocidade decresce com o aumento da temperatura, observa-se que, em alguns casos, T_m varia com a

temperatura, enquanto graus-dia assume valor relativamente constante. Nesse caso, um segundo modelo pode ser apresentado:

$$\theta(g) = (T_m - T) * t_g \quad (3)$$

$$GRg = 1/ t_g = (T_m - T)/ \theta(g) \quad (4)$$

Este modelo prevê que a taxa de germinação de sementes de uma fração determinada percentagem ou g (GRg, ou $1/ t_g$) é uma função linear de T acima T_b , com uma inclinação de $1/\theta(g)$ e intercepção no eixo da T de T_b . Em muitos casos, T_b varia relativamente pouco entre as sementes de uma população dentro de uma determinada espécie, como previsto pela Eq. 1 (GARCIA-HUIDOBRO *et al.*, 1982; KEBREAB; MURDOCH, 2000), embora existam exceções, especialmente quando a dormência está presente (KEBREAB; MURDOCH, 2000). No entanto, o modelo tempo-termal (Equações 1 e 3) tem sido amplamente aplicado para descrever o tempo de germinação de sementes em função de diferentes temperaturas.

Os dois principais fatores ambientais determinantes da germinação são o potencial hídrico (Ψ_w) e a temperatura. A disponibilidade de água, representada pelo Ψ_w é um fator limitante da capacidade e da velocidade de germinação, já que o crescimento do embrião durante o processo germinativo não ocorre se não houver pressão de turgescência intracelular suficiente para a sua expansão (WELBAUM *et al.*, 1998). O modelo descrito por Gummerson (1986) permite tratar o efeito do Ψ_w sobre o decurso da germinação de modo similar àquele da temperatura, levando-se em conta que tanto a redução do Ψ_w do meio, como a redução da temperatura, afetam as curvas de germinação de maneira similar. Ele propôs que as respostas germinativas ao Ψ_w podem ser descritas em escala de “ Ψ_w dia” (hidro-termal) análoga à escala de graus dia (tempo-termal), de acordo com o modelo:

$$\theta H = (\Psi - \Psi_{wb}(g)) t_g \quad (5)$$

onde: θH é uma constante que indica a quantidade de “ Ψ_w dia” acumulada, necessária para a germinação; $\Psi_{wb}(g)$ é o potencial hídrico limite ou base, a partir do qual a germinação de uma fração porcentual g deixa de ocorrer e; t_g é o tempo real necessário para a germinação da fração g.

Em geral, modelos baseados no conceito de graus dia e Ψ_w dia podem ser usados para se prever a emergência de plântulas no campo o que, no caso de plantas daninhas ou invasoras, pode ser uma informação importante visando seu manejo e controle (CARDOSO; PEREIRA, 2008).

4. Metodologia

Para que os objetivos dessa pesquisa sejam atendidos, devemos iniciar nosso estudo com os testes de germinação das populações coletadas. Em seguida, após esses resultados serão feitas análises dos dados das sementes germinadas em questão.

4.1. Testes de germinação

Após a coleta, as sementes de *Polygonum ferrugineum* serão secadas ao ar e os periantos serão removidos manualmente no escuro e, finalmente, as sementes serão armazenadas (teor de água de 10% base úmida fresca) em frascos de vidro à temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$). Grupos de aproximadamente 100 sementes, determinados por pesagem, serão colocados dentro de sacos de nylon de malha e enterrado na profundidade de 5 cm em potes de plástico cobertos de alumínio de 12 cm de diâmetro, contendo areia estéril previamente seca em estufa a 70°C por 3 dias. Os potes serão irrigados até a saturação, selados no topo com a tampa cobertas por papel alumínio. Em cada pote será mantido um escoamento de 48 h para determinar, por peso, a capacidade de campo. Em intervalos regulares durante o período de armazenamento, os potes serão pesados novamente e, se necessário será adicionado água até chegar ao seu peso original, para manter o status da capacidade inicial de campo.

Para a espécie *Polygonum ferrugineum*, três repetições de 30 sementes serão submetidas ao teste de germinação em placa de Petri a 10°C para quantificar a sensibilidade inicial da população aos estímulos da temperatura em fotoperíodo de 12/12h. No intervalo de 7 dias quatro sacos de nylon de malha contendo 100 sementes serão exumados. O tratamento de estratificação será realizado a 10°C em areia umedecida. As sementes nos bags quando exumadas dos potes serão lavadas com água destilada para remover partículas de solo aderido. Posteriormente, três

repetições de 25 sementes cada, as sementes exumadas serão incubados em placas de Petri de 9 centímetros de diâmetro, umedecidas com 5 ml de água destilada em dois discos de papel de filtro Whatman n°. 3. Todas as placas serão incubadas a 10, 15, 20 e 25°C por 30 dias sob luz (12/12h). No final do período de incubação, a porcentagem de germinação será determinada para cada placa. O critério para a germinação das sementes será a radícula do embrião visível.

4.2. Modelagem e análises estatísticas

Os parâmetros térmicos para sementes exumados durante o período de armazenamento serão quantificados através de um modelo matemático de germinação descrito em detalhes por Washitani (1987) somente para a espécie *P. ferrugineum*. O modelo usado prevê a dinâmica da germinação de uma população de sementes em função do tempo e temperatura. Assim, as curvas de germinação ao longo do tempo obtidas para sementes armazenadas em diferentes temperaturas, utilizando o teste de germinação descrito anteriormente, serão reproduzidas por simulação para cada exumação. O modelo permitirá uma avaliação de dois tipos de parâmetros térmicos populacionais em relação aos dados observados: (1) aqueles que descrevem o status de dormência da população de sementes, e (2) os que descrevem a relação entre a taxa de germinação e a temperatura de sementes individuais.

Será calculado o tempo médio de germinação (TMG), segundo Labouriau (1983):

$$TMG = \frac{\sum ni.ti}{\sum n} \quad (6)$$

onde TMG = tempo médio de germinação (dias), ni = número de sementes germinadas num intervalo de tempo; ti= intervalo de tempo; n = germinadas. Calcula-se a partir de então as velocidades médias para cada temperatura de incubação.

Tendo-se o conceito de graus-dias (tempo-termal), para se calcular a constante tempo-termal (θ_T) é necessário saber a temperatura base (T_b) e a temperatura máxima (T_m) que representam, respectivamente, os limites inferior e superior, além dos quais não ocorre a germinação. A aplicação dessa teoria à

germinação leva em conta a existência de intervalos térmicos no qual a velocidade de germinação de uma determinada fração ou porcentagem G de sementes apresenta uma relação linear com a temperatura. Sabendo-se que pode haver variações de T_b entre as populações de uma mesma espécie devido a diferentes condições ambientais durante o desenvolvimento da semente, será calculado os percentis e todas os outros parâmetros para cada população, estabelecendo assim os respectivos T_b .

Para se calcular a temperatura base e a máxima será utilizado os resultados obtidos com a estratificação de 10°C e as porcentagens de germinação nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30°C no escuro. Serão elaboradas, para cada temperatura de incubação, as curvas de germinação acumulada (porcentagem de germinação X tempo) que descreveram melhor o comportamento das sementes ao longo do tempo. Os pontos serão ajustados de acordo com a função de Weibull, que obedece a seguinte equação:

$$G = A.(1-e^{-k(t-z)^c}) \quad (7)$$

onde G é a porcentagem de germinação acumulada, t é o tempo em dias e A, k, z e c são respectivamente: germinação máxima; velocidade média; tempo entre o início do experimento e a germinação visível e; característica da distribuição das frequências de germinação, esse fator obtive-se por meio de tentativa e erro na comparação entre a germinação observada e a testada. Assim rearranjando a equação e isolando-se t_g , calcula-se o tempo necessário para a germinação das frações percentuais (G) de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 e 85%, para cada temperatura (CARDOSO, PEREIRA, 2008).

As velocidades de germinação ($1/t_g$ →) para cada uma das frações percentuais serão estimadas a partir de t_g e em seguida plotasse um gráfico relacionando as velocidades obtidas com as temperaturas, os pontos serão ajustados por regressão linear pelo programa Excel. A interseção de cada reta com o eixo x, corresponde à T_b para as temperaturas infra-ótimas, considerando-se a aparente convergência na abscissa das retas do gráfico de velocidades contra temperatura, o mesmo procedimento será usado para as temperaturas supra-ótimas para se encontrar a temperatura máxima (T_m).

Para cada percentual será calculada equações de regressão linear de tal forma que passasse através de T_b (Hardegree, 2006). Uma comparação das regressões foi então feita entre esta e um modelo em que as temperaturas de bases foram permitidas variar para todos os percentis e a melhor estimativa foi considerado como sendo o que resultou na menor variância residual (Covell *et al.*, 1986). O tempo térmico das estimativas para cada população foram calculadas separadamente como o inverso das equações de regressão sub-ótima (Covell *et al.*, 1986). Porcentagens de germinação serão transformados em probits passando as porcentagens de germinação acumulada em probit, recurso INV.NORM do programa Excel. Os valores obtidos serão então plotados contra $\text{LOG}(\theta_g)$ em um único gráfico e os pontos ajustados por regressão linear. A equação que descreve essa relação é a seguinte:

$$\text{probit}(G) = a + \frac{\text{LOG}(\theta_g)}{\sigma} \quad (8)$$

onde σ representa o inverso do coeficiente da inclinação da reta obtida, T é a temperatura experimental e a é o intercepto da reta com o eixo x . Para a escolha de T_b e T_m foram experimentados até se obter o melhor ajuste da curva (maior R^2) que descreve o modelo probit (G). Assim obtêm-se a média μ (valor no eixo x) que corresponde ao probit 0,5 = 50% da germinação, e o desvio padrão (σ) que é o inverso da inclinação da reta, esses parâmetros descrevem a distribuição de θ_g dentro da população.

Enfim, plotasse o gráfico da germinação acumulada x graus-dias ajustado por probit. Para a elaboração desse gráfico será necessário a utilização de uma tabela. Assim conhecendo-se a quantidade total de tempo-térmico necessário para a germinação e têm-se determinado T_b pode-se determinar o tempo real para que a semente germinasse numa temperatura qualquer, a partir da equação rearranjada do probit:

$$t_g = \frac{(10^{(\text{probit}(G)-a)*\sigma})}{(T-T_b)} \quad (9)$$

4.3. Riscos da variação no clima no tempo de germinação de sementes

Os dados climáticos (série histórica das médias mensais de temperaturas e precipitação das estações climáticas mais próximas) serão obtidos para cada população. Cenários futuros (2050) do IPCC de temperatura, em relação ao período de 1980-1999, serão simulados ajustando as temperaturas médias mensais de acordo com a melhor estimativa da mudança de temperatura +4 e +3°C para cenários B2 e A2, respectivamente (IPCC, 2007).

Regressões lineares serão criadas a partir do *SigmaPlot* de 2002 para Windows versão 8.0 (SPSS, Chicago, IL, EUA). E um modelo estatístico ANOVA (*Analysis of variance*) será utilizado a fim de analisar as diferenças entre as médias do grupo e seus procedimentos associados. Por fim, um teste *LSD* (*Fisher's least significant differenc*) será necessário para testar as diferenças entre as populações de sementes, porcentagens finais de germinação e valores de temperatura de base.

5. Resultados Esperados

Os resultados esperados são:

- Boa resposta germinativa para as temperaturas de incubação proposta;
- Precisão das curvas de germinação do modelo proposto;
- Mínimo de erro no ajuste das regressões lineares aos pontos.

6. Conclusões

Em conclusão esperasse que os resultados e objetivos sejam atingidos e que se possível seja explicada as divergências de germinação entre populações de mesma espécie, que de acordo com Daws *et al.* (2004) serão detectadas. Caso a espécie não possua uma boa resposta germinativa, propõe-se também análises de outros modelos, que podem ser estudados.

7. Referências

- BATLLA, D; BENECH-ARNOLD, R. L. **Effects of soil water status and depth of burial on dormancy changes in *Polygonum aviculare* L. seeds.** Third international Weed Science Congress, 2000, Foz do Iguassu.
- BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. **Academic Press**, USA, 2001. p. 667.
- BENECH-ARNOLD, R.L.; SÁNCHEZ, R.A.; FORCELLA, F.; KRUK, B.C.; GHERSA, C.M. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. **Field Crops Research** 67, 105–122.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. Seeds: physiology of development and germination. 2. ed. **New York and London: Plenum Press**, 1994. 445p.
- BRADFORD, K. J.; SOMASCO, O. A. Water relations of lettuce seed thermoinhibition. I. Priming and endosperm effects on base water potential. **Seed Sci. Res.** 4:1–10. 1994.
- CARDOSO, V. J. M.; PEREIRA, F. J. M. **Dependência térmica da germinação de sementes de *Dymaria Cordata* (L.) Willd. Ex Roem. & Schult. (Cariophyllaceae).** Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Rio Claro, SP, Brasil. Mai/2008.
- CARDOSO, V. J. M.; PEREIRA, F. J. M. Germinação de sementes de *Drymaria cordata* L. Willd. Ex Roem & Schult: efeito do potencial hídrico. **Revista Brasil. Bot.**, V.31, n.2, p. 253-261, abr-jun. 2008.
- CARDOSO, V. J. M. **Conceito e Classificação da dormência em sementes.** Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Rio Claro, SP, Brasil. Dez/2009.
- CARMONA, R. Problemática e manejo de bancos de sementes invasoras em solos agrícolas. **Planta Daninha**, v. 10, n. 1-2, p. 5-16, 1992.
- COUSENS, R.; MORTIMER, M. Dynamics of weed populations. Cambridge: **Cambridge University Press**, 1995. 332 p.

- COVELL S, et al. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean, and cowpea at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany** **37**: 705–715. 1986.
- DAWS, M.I. et al. Developmental heat sum influences recalcitrant seed traits in *Aesculus hippocastanum* across Europe. **New Phytologist** **162**: p. 157–166, 2004.
- DOYLE, C.J. A review of the use of models of weed control in integrated crop protection. **Agric. Ecosyst. Environ**, v. 64, n. 2, p. 165-172, 1997.
- EDELSTEIN-KESHET, L. Applications of nonlinear difference equations to population biology. In: EDELSTEIN-KESHET, L. *Mathematical models in biology*. **New York: Random House**, p. 72-111. 1988.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Universidade Federal de Lavras. Fundação de apoio ao ensino, pesquisa e extensão - FAEPE, 2005.
- FENNER M.; THOMPSON, K. **The ecology of seeds**. Cambridge, U.K. Cambridge: University Press, 2005. 250p.
- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. et al. *Ecología de las malas hierbas*. Madrid: **Mundi-Prensa**, 1991. Cap.2, p.49-69.
- FERREIRA, A.G; BORGHETTI, F. (orgs.). *Germinação do Básico ao Aplicado*. **Editora Artmed**, Porto Alegre, 2004. 323 p.
- FORCELLA, F.; et al. Modelling seedling emergence. **Field Crops Research** **67**, 123–139. 2000.
- GARCIA-HUIDOBRO, et al. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides*). Constant temperature. **Journal of Experimental Botany** **33**: 288-296. 1982.
- GUMMERSON, R.J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. **Journal of Experimental Botany** **37**:729-741. 1986.
- HARDEGREE, S.P. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. **Annals of Botany** **97**: 1115–1125. 2006.
- HARPER, J.L. *Population biology of plants*. **Academic Press**: New York. 1977.

HEYDECKER, W. Stress and seed germination: an agronomic view. In: Khan AA. ed. The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. Oxford: **Oxford Biochemical Press**, p. 237–277, 1977.

HOPPE, J. M. et al. Produção de sementes e mudas florestais. **Caderno didático**, n. 1, 2ª ed. 388p. Santa Maria, RS. 2004.

IPCC. Climate change 2007: synthesis report in Core Writing Team (eds Pachauri RK, Reiginger A) Contribution of Working Groups I, II, III to the 4th **Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC. 2007.

KEBREAB, E.; MURDOCH, A.J. The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanchaegyptiacaseeds*. **Seed Science Research**, 10: 127-133. 2000.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, Washington. 1983.

LÓPEZ, S.N. et al. Detection of antifungal compounds in *Polygonum ferrugineum* Wedd. extracts by bioassay-guided fractionation. Some evidences of their mode of action. **Us National Library Of Medicine National Institutes Of Health**, Argentina, v. 2, n. 138, p.633-636, nov. 2011.

MACEDO, J. F. . Fenologia da floração das plantas invasoras no Campus-Pampulha da UFMG. **Revista Daphne**, EPAMIG, v. 5, n.4, p. 15-27, 1995.

MARENCO, J.A. **Caracterização do clima do século XX e cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos modelos de clima do IPCC**.

Disponível em: <
http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_1.pdf>.
 Último acesso: 12/06/2015.

MISTRO, D. C. et al. Efeitos de bancos de sementes na dinâmica de plantas anuais. **Uma publicação do grupo Biomatemática IMECC, UNICAMP**. Biomatemática XIII, p. 1-10. 2003.

OLIVEIRA, I.V. de M; ANDRADE, R.A. de; MARTINS, A.B.G. Influencia da temperatura na germinação de sementes de *Annona Montana*. **Revista Brasileira Frituc.**, Jaboticabal – SP, v.27, n.2, p. 344-345, Agosto 2005.

- ORRÙ, Martino et al. Thermal thresholds as predictors of seed dormancy release and germination timing: altitude-related risks from climate warming for the wild grapevine *Vitis tinifera* subsp. *sylvestris*. **Annals Of Botany**, Oxford University, v. 110, p.1651-1660, out. 2012.
- PEREIRA, I. M., et al. Banco de sementes do solo, como subsidio à recomposição de mata ciliar. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 721-730, out/dez 2010.
- RIBEIRO, M.J, et al. Densidade e germinação do banco de sementes do solo, no final da estação chuvosa em área de cerrado stricto sensu, patos de minas, MG. **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**. Caxambu, MG. Set/2007.
- ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 12, p. 499-514, 1973.
- ROBERTS, H.A. Seed banks in the soil. In: *Advances in Applied Biology*. Cambridge: **Academic Press**, v.6, 1981, 55p.
- VISMARA, L.S. et al. Revisão de modelos matemáticos da dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas em agrossistemas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2007.
- VLEESHOUWERS, L.M.; BOUWMEEESTER, H.J. 2001. A simulation model for seasonal changes in dormancy and germination of weed seeds. **Seed Science Research** 11, 77–92.
- VOLL, E.; KARAM, D.; GAZZIERO, D. L. P. Dinâmica de populações de capim-colchão (*Digitaria horizontalis* Willd.) sob manejos de solo e de herbicidas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 32, n. 4, p. 373-378, 1997a.
- WALCK, J.L. et al. Climate change and plant regeneration from seed. **Global Change Biology** 17: 2145–2161, 2011.
- WALTER, M. **A importância da semente na agricultura**. Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
- WASHITANI, I. Germination-rate dependency on temperature of *Geranium carolinianum* seeds. **Journal of Experimental Botany**, 36: 330-337. 1985.
- WELBAUM, G.E., et al. Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. **Seed Science and Research** 8:161-172. 1998.