



**Dissertação de Mestrado**

**SIMULAÇÃO GRÁFICA DO CRESCIMENTO  
DE PLANTAS DE MILHO**

**Marcio Zaiosc Almeida**

**PPGEA**

**Santa Maria - RS, Brasil  
2007**

# **SIMULAÇÃO GRÁFICA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO**

por

**MARCIO ZAIOSC ALMEIDA  
(Engenheiro Agrônomo)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração Manejo e Conservação da Água e do Solo em Sistemas Agrícolas, do Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA.**

**PPGEA**

**Santa Maria - RS, Brasil**

**2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**SIMULAÇÃO GRÁFICA DO CRESCIMENTO**  
**DE PLANTAS DE MILHO**

Elaborada por  
**Marcio Zaiosc Almeida**

Como requisito parcial à obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Reimar Carlesso, Ph. D. - UFSM**  
(Presidente/Orientador)

---

**Mirta Teresinha Petry**

---

**Claudio García Gallarreta**

Santa Maria, 9 de novembro de 2007.

A meus familiares, amigos, e a todas as pessoas que sempre me apoiaram e incentivaram, **DEDICO** este trabalho

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e à Coordenação de Aperfeiçoamento ao Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa concedida e possibilidade de realização deste curso.

Ao professor Reimar Carlesso, pela orientação, amizade e oportunidade de realização desse trabalho.

Aos amigos e colegas Alberto E. Knies, Amarildo Zotti, Benhur D. Barth, Brantan A. Chagas, Claudio G. Gallárreta, Cleiton Dalla Santa, Cleudson J. Michelin, Daniele Mello, Dolores Wolschick, Fabiano D. De Bona, Fabiano L. Zimmermann, Fernando L. Zimmermann, Francieli Etchichury, Genésio M. da Rosa, Giane L. Melo, Gilnei A. Galvagni, Gisele Saldanha, Gustavo De David, Jefferson H. Künz, Juliano G. de Andrade, Juliano Martins, Leandro Pierin, Lovane K. Fagundes, Manoel X. Neto, Marcio F. Maggi, Marinice Rodrigues, Mirta T. Petry, Paulo Gubiani, Rafael Madalozzo, Raquel B. Rubin, Renato B. Spohr, Ricardo L. Schons, Rodrigo C. da Silva, Rodrigo E. de Almeida, Sidnei O. Jadoski, Tatiana T. Fiorin, Vanessa S. Fontana, pela amizade, respeito e parceria.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões dadas e considerações feitas.

A todos os professores e colegas do PPGEA, pela parceria e amizade.

À minha família, principalmente, pelo apoio e motivação.

A Deus, por existir e pela saúde.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Fenologia .....	3
2.2. Soma térmica.....	5
2.3. Filocrono .....	6
2.4. Fatores que afetam o crescimento, desenvolvimento e produtividade do milho .....	7
2.4.1. Fatores climáticos.....	7
2.4.2. Disponibilidade de nutrientes.....	9
2.4.3. Déficit hídrico .....	10
2.4.4. Invasoras .....	11
2.5. Programação para a Internet .....	12
2.6. Simulação gráfica.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Caracterização do experimento e determinações realizadas.....	17
3.2. Programação .....	19
3.2.1. Servidor .....	20
3.2.2. Linguagem de programação .....	20
3.2.3. Banco de dados.....	21
3.2.4. Vetorização .....	22
3.2.5. Construção da animação .....	24
3.2.6. Parâmetros da simulação .....	27
3.2.7. Visualização dos resultados .....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5. CONCLUSÕES .....	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

### SIMULAÇÃO GRÁFICA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO

**Autor:** Marcio Zaiosc Almeida

**Orientador:** Reimar Carlesso

Santa Maria, 9 de Novembro de 2007.

A simulação gráfica é uma ferramenta que pode ser utilizada para acompanhar o crescimento e desenvolvimento das plantas a partir de parâmetros bióticos ou abióticos. Dentre as finalidades das simulações, pode-se destacar: (i) prever o comportamento de uma cultura, submetida à aplicação de diferentes fatores físicos, ambientais e climáticos; (ii) analisar a influência destes fatores no que se refere a características como limitações no crescimento e desenvolvimento das plantas, rendimento de massa seca e produção de grãos e; (iii) analisar a viabilidade de implantação desta cultura em uma determinada região de produção. Diante disso, a simulação constitui-se numa ferramenta importante no meio agrônomo, pelo fato de possibilitar a observação de uma situação específica, sem a necessidade de se implantar um

experimento a campo ou a coleta de dados experimentais. Como o aparecimento dos estádios fenológicos de algumas espécies, particularmente do milho, depende principalmente do somatório térmico, simulou-se através de gráficos vetoriais e programação voltada para a Internet, os estádios fenológicos de uma planta de milho, gerando assim uma animação do crescimento e desenvolvimento de um dossel de plantas. O trabalho consistiu de duas etapas: (i) experimento a campo e; (ii) análise dos dados obtidos, criação de rotinas de programação e de desenhos gráficos utilizados na simulação. Na primeira etapa, foi conduzido um experimento a campo para medições de largura máxima e comprimento de folhas, altura de plantas e registro de fotos das plantas de milho no decorrer do seu crescimento e desenvolvimento. Na segunda etapa, os dados obtidos no experimento, bem como as representações vetoriais de todas as folhas das plantas, em diferentes momentos do ciclo (obtidas através do processamento das fotografias digitais), os dados de temperatura média diária (obtidos através de uma estação meteorológica compacta), de soma térmica e de comprimento de entrenós, foram organizados em um banco de dados relacional, a fim de serem utilizados por rotinas de programação. Estas rotinas, escritas nas linguagens PHP e SVG, possibilitaram a geração de uma animação de uma ou várias plantas de milho, de acordo com parâmetros pré-selecionados (estádio fenológico, altura máxima de plantas, espaçamento entre plantas e entre linhas, nível de déficit hídrico, etc.). Através das tecnologias empregadas neste trabalho, é possível a execução da simulação através de qualquer computador conectado à Internet, desde que os arquivos criados para a simulação sejam devidamente armazenados em um servidor *web*.

## **ABSTRACT**

Master's Degree Dissertation  
Graduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil.

## **GRAPHIC SIMULATION OF CORN GROWTH**

**Author:** Marcio Zaiosc Almeida

**Adviser:** Reimar Carlesso

Santa Maria, November 9<sup>th</sup>, 2007.

The computer graphic simulation can be used to understand plant growth and development influenced by biotic or abiotic parameters. The main simulation purposes are: (i) to predict plant agronomic characteristics when its submitted to different climatic, environmental, and physical factors; (ii) to analyze the influence of these factors in plant growth and development, yield and dry matter production and; (iii) to analyze the economical viability of some crop in an specific crop production system. The computer simulation is an important tool for agronomists, enabling evaluations of plant responses without conducting field experiments or even collecting experimental data in the field. The development of a maize plant (appearance of a phenological stage) depends mainly of the temperature accumulation. Thus, the maize phenological stages were

simulated using vector graphics and internet programming tools, generating an animation of the plant growth and development. The study was conducted in two phases: (i) field experiment and; (ii) analysis of the collect field data, creation of programming routines and reproducing plant canopy by drawings using specific computer technique. The first phase consisted in conducting a field experiment to determined measurements of maximum leaf width and length, plant height and taken digital photos during plant growth and development. The second phase consisted in the vector representation of each leaf, leaf area index and plant height during different crop phenological stages (obtained through the processing of digital photos). Data of mean daily temperature (obtained through a portable weather station), temperature accumulation and internodes length were organized in a relational database table, to simplify the programming routines. These routines, written in PHP and SVG languages, allowed the generation of an animation of a single or several maize plants, according to some pre-selected parameters (phenological stage, maximum plant height, row or plant spacing, soil water deficit, etc.). The technique used in this work allows the simulation of plant growth and development from a computer connected to the internet, since the files created for the simulation are stored in the web server.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Comprimento de entrenós (cm) de plantas de milho com irrigação e submetidas a déficit hídrico terminal. Santa Maria, UFSM. 2001. Fonte: Zimmermann (2001).....30
- Tabela 2.** Fenologia de plantas de milho durante o sub-período emergência–floração, de acordo com a metodologia apresentada por RITCHIE & HANWAY (1993), e os respectivos valores de graus-dia acumulados utilizados na simulação. Santa Maria, UFSM.....31
- Tabela 3.** Fatores utilizados no código da simulação, correspondentes a cada nível de déficit hídrico para cada um dos extratos da planta. ....32

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Detalhe de uma fotografia digital de uma planta de milho. ...	18
<b>Figura 2.</b>	Fluxo das informações na arquitetura cliente-servidor, e tecnologias empregadas na simulação. ....	19
<b>Figura 3.</b>	Tela principal do programa HTML-Kit. ....	21
<b>Figura 4.</b>	Modelagem do banco de dados relacional, exibindo as entidades criadas para o armazenamento das informações, bem como a cardinalidade existente entre as mesmas. ....	22
<b>Figura 5.</b>	Detalhe de uma fotografia digital de uma planta de milho. a) Imagem original. b) Polígono traçado sobre o contorno da folha. ....	23
<b>Figura 6.</b>	Princípio da animação entre diferentes polígonos em SVG, exemplificando as diferenças no deslocamento dos vértices quando o sentido do traçado no polígono B é alterado. ....	24
<b>Figura 7.</b>	Tela principal do programa SVG Factory. ....	25
<b>Figura 8.</b>	Exemplo mostrando a variação de alguns formatos de uma mesma folha, em diferentes momentos do ciclo. ....	26
<b>Figura 9.</b>	Formulário escrito em linguagem HTML, utilizando caixas de listagem suspensas e caixas de seleção para modificar as opções da simulação. ....	28
<b>Figura 10.</b>	Simulação: exemplo de imagem final da animação de uma planta de milho, exibindo a planta em si, a escala graduada demarcando a altura da planta, e a barra de progressão da soma térmica. ....	33
<b>Figura 11.</b>	Gráficos de linhas exibindo a animação da evolução do IAF (acima) e da altura de plantas (abaixo) em função da soma térmica. ....	34
<b>Figura 12.</b>	Resultados de diferentes simulações, obtidos através da aplicação das seguintes situações: (a) sem déficit hídrico;	

(b) déficit severo no 1º extrato; (c) déficit severo no 2º extrato; (d) déficit severo no 3º extrato e; (e) déficit severo em todos os extratos. Para cada situação, da esquerda para a direita, as imagens referentes aos estádios V7, V14 e V21.....35

**Figura 13.** Simulação de um dossel de plantas, ilustrando o resultado obtido ao se alterar as opções de espaçamento entre linhas (1,0 m) e entre plantas na linha (0,5 m). .....36

## 1. INTRODUÇÃO

A simulação gráfica é uma ferramenta que pode ser utilizada para prever o crescimento e desenvolvimento das plantas a partir de certos parâmetros bióticos ou abióticos. Dentre as finalidades das simulações, pode-se destacar: (i) prever o comportamento de uma cultura, submetida à aplicação de diversos fatores (físicos – umidade, aeração, densidade do solo – e climáticos – temperatura, radiação solar); (ii) analisar a influência destes fatores no que se refere a características como limitações no crescimento e desenvolvimento das plantas, rendimento de massa seca e produção de grãos e; (iii) analisar a viabilidade de implantação desta cultura em uma determinada região de produção.

Diante disso, a simulação constitui-se numa ferramenta extremamente importante no meio agrônomo, pelo fato de possibilitar a tomada de decisão quanto à necessidade de tratamentos culturais, quanto ao momento adequado para aplicação de irrigação em uma determinada cultura, ou mesmo para a observação de uma situação específica (efeito do excesso ou falta de um nutriente na solução do solo, ocorrência de déficit hídrico durante um período crítico do desenvolvimento), sem a necessidade de se implantar um experimento a campo.

Como o aparecimento dos estádios fenológicos de algumas espécies, particularmente do milho, é primordialmente uma função do somatório térmico, procurou-se, com este trabalho, realizar a estimativa visual bidimensional de uma planta de milho, utilizando, para isso, fotos digitais de plantas ao longo do ciclo de desenvolvimento, informações de temperatura média diária, dados de altura de planta, altura de inserção de folhas e outros órgãos, associados à soma térmica, obtidos experimentalmente.

Uma das vantagens associadas a esse tipo de simulação gráfica, que tem por característica exibir aspectos visuais de uma planta individual ou comunidade de plantas, é a de apresentar as informações disponíveis sobre um determinado cultivo, de forma que facilite a visualização, o que

nem sempre é conseguido com convencionais gráficos de linhas ou colunas, que apresentam individualmente parâmetros como altura ou área foliar das plantas, associando uma ou mais variáveis.

A forma como são exibidos os resultados, ou seja, através da arquitetura cliente-servidor, onde um computador realiza todas as operações referentes à simulação, e disponibiliza as informações resultantes atendendo à solicitação feita por um outro computador, permite o acesso fácil e de praticamente qualquer lugar aos resultados da simulação. Essa característica de serviço *on-line* também permite ao usuário visualizar as informações de seu interesse sem necessitar de nenhum hardware ou software adicional instalado no computador.

O objetivo geral deste trabalho foi o de simular, através de gráficos vetoriais, os estádios fenológicos de uma planta de milho, gerando uma animação do crescimento e desenvolvimento da mesma. A partir disso, procurou-se como objetivos específicos, não apenas simular somente uma planta, mas sim um dossel de plantas, submetendo-as a diferentes níveis de déficit hídrico e diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas na linha. Para tal, preconizou-se o uso de programação voltada para a Internet, através de softwares e linguagens de livre distribuição. As tecnologias utilizadas para alcançar tais objetivos – PHP, MySQL e SVG - tiveram como intuito possibilitar a visualização dos resultados a partir de qualquer computador com acesso à Internet.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Fenologia**

Fenologia é o ramo da Ecologia que estuda os fenômenos periódicos dos seres vivos, bem como suas relações com as condições ambientais (luz, temperatura, umidade) (DE FINA & RAVELO, 1973).

Os chamados estádios fenológicos podem ser subdivisões ou mesmo momentos particulares no ciclo de uma planta, assim como são as fases, mas no caso dos estádios, não significa que haja uma transformação na planta (aparecimento/desaparecimento de órgãos) em virtude de sua ocorrência. Já o subperíodo é definido como o tempo decorrido entre duas fases consecutivas, considerando-se que, ao longo deste, as necessidades e a estrutura da planta são praticamente constantes. Através da utilização dos estádios fenológicos, consegue-se um maior detalhamento do ciclo da planta, já que muitas vezes o tempo decorrido entre duas fases distintas pode ser bastante variável, além de excessivamente longo (BERGAMASCHI, 2006).

Dentre as aplicações da fenologia, destacam-se: (i) a possibilidade de subdivisão do ciclo; (ii) a determinação de exigências ecológicas e de períodos críticos; (iii) a classificação de cultivares quanto à precocidade; (iv) a elaboração de zoneamentos agrícolas; (v) e o manejo adequado das culturas, como por exemplo, na determinação das irrigações, e nas demais práticas culturais, como no manejo de pragas e aplicações de fertilizantes (BERGAMASCHI, 2006). A previsão dos estádios fenológicos é de grande importância, já que auxilia no planejamento da época de semeadura, nos estudos de adaptação de cultivares e possibilita um melhor planejamento para trabalhos que envolvem melhoramento genético (MATZENAUER, 1997).

Para FANCELLI (2006), o emprego de recomendações e ações de intervenção fundamentadas em estádios fenológicos, como a emergência e a floração, devido a serem momentos críticos no desenvolvimento das

culturas (durante os quais a ocorrência de baixa disponibilidade hídrica pode ser altamente prejudicial), constitui-se em uma das estratégias básicas relacionadas à obtenção de rendimentos elevados, na lavoura de milho. Desta forma, pode-se contribuir para a consolidação de uma agricultura produtiva e sustentável, representada por sistemas de produção racionais, eficientes e lucrativos.

Em regiões de clima subtropical, os fatores ambientais, principalmente as variações na disponibilidade térmica e de radiação solar, exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico do milho. A temperatura do ar é o elemento meteorológico que melhor explica a duração dos períodos de desenvolvimento da cultura, havendo relação sempre linear entre a duração destes e o desenvolvimento da planta (LOZADA et al., 1999).

No desenvolvimento do milho, a duração do ciclo em dias é inconsistente, devido ao fato da duração de subperíodos e ciclos da planta estarem associados às variações das condições ambientais, e não ao número de dias. A temperatura apresenta-se como o elemento climático mais importante para prever os eventos fenológicos da cultura, desde que não haja deficiência hídrica (GADIOLI et al., 2000).

Quando o meristema apical está abaixo da superfície do solo, a temperatura do solo é quem governa o desenvolvimento do milho (Stone et al. apud FORSTHOFER et al., 2004), mas quando acima da superfície, a temperatura do ar é quem determina a duração dos subperíodos de desenvolvimento em materiais considerados insensíveis ao fotoperíodo (LOZADA et al., 1999).

De acordo com FANCELLI & DOURADO NETO (2000), o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho divide-se em cinco períodos principais: (i) germinação e emergência, ocorrendo entre a semeadura e o aparecimento da plântula, cujo período varia entre 4 e 12 dias, principalmente de acordo com a temperatura e a umidade do solo; (ii) crescimento vegetativo: começa por ocasião da emissão da 2ª folha, estendendo-se até o início do florescimento, sendo que a sua duração

depende do genótipo das plantas e de fatores climáticos; (iii) floração: situa-se entre o início da polinização e o início da frutificação; (iv) frutificação: vai desde a fecundação até o enchimento dos grãos, sendo que sua duração varia de 40 a 60 dias e; (v) maturação fisiológica: vai desde o final da frutificação até o aparecimento da “camada preta” na inserção dos grãos com o sabugo.

Vale lembrar, no entanto, que os estádios anteriores ao aparecimento da espiga recebem nomenclatura de acordo com o número de folhas totalmente expandidas, e no caso dos estádios posteriores à emissão da espiga, a identificação é feita de acordo com o desenvolvimento e consistência dos grãos (Kiniry & Bonhomme apud ROMANO, 2005).

O sistema de nomenclatura definido por RITCHIE et al. (1993), consiste na divisão do desenvolvimento das plantas de milho em estádios vegetativos e reprodutivos. As subdivisões dos estádios vegetativos são designadas através da letra “V”, mais um valor numérico, que representa o número de folhas totalmente expandidas até o momento da observação. Assim, os estádios vegetativos vão de V1 até Vn (n sendo o número total de folhas expandidas antes do estágio VT). Além destes, há ainda os estádios VE (emergência) e VT (pendoamento). Os estádios reprodutivos são em número de seis, definidos a seguir: (i) R1: embonecamento e polinização; (ii) R2: grão “bolha”; (iii) R3: grão leitoso; (iv) R4: grão pastoso; (v) R5: formação de “dente” e; (vi) R6: maturação fisiológica.

## **2.2. Soma térmica**

Segundo NESMITH & RITCHIE (1992), um dos métodos utilizados para relacionar temperatura e desenvolvimento do milho e sorgo é o da soma de temperaturas, unidades térmicas ou graus-dia (GD), definida como o acúmulo térmico, acima de uma temperatura base, necessária para que a planta atinja um determinado estágio fenológico de seu desenvolvimento.

A disponibilidade térmica tem influência direta sobre o desenvolvimento fenológico das plantas, de tal forma que locais ou períodos mais quentes determinam desenvolvimento mais rápido destas. Logo, em regiões ou mesmo épocas mais quentes, há maior precocidade no desenvolvimento das plantas (BERGAMASCHI, 2006). Nas condições do Rio Grande do Sul, a temperatura explica cerca de 90% das variações no desenvolvimento das plantas de milho e sorgo (BERLATO & MATZENAUER, 1986)

Cada espécie vegetal ou variedade possui uma temperatura base, que pode variar em função da idade ou da fase fenológica da planta. É comum adotar uma única temperatura base para todo o ciclo da planta por ser mais fácil a sua aplicação (Prett apud GADIOLI et al., 2000).

O conhecimento das exigências térmicas, associado ao conhecimento da fenologia da cultura, pode ser utilizado no planejamento da utilização de insumos, definição da época de semeadura e época de colheita (GADIOLI et al., 2000).

FANCELLI & DOURADO NETO (2003) relatam que, para alguns autores, o milho apresenta resposta ao fotoperíodo quando cultivado em latitudes superiores a 33°. É por esse motivo que, no Brasil, o milho apresenta comportamento fotoneutro, pois a variação na duração da fase vegetativa é resultante da soma térmica, e não do número de horas de luz à que a planta estiver submetida.

A temperatura-base considerada para o cálculo da soma térmica é de 10°C para todo o ciclo da cultura, conforme recomendação de BERLATO & MATZENAUER (1986), além de ser um dos valores de temperatura mais freqüentemente encontrados em estudos desenvolvidos no Brasil (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

### **2.3. Filocrono**

Para DELLAI (2005), o conceito de filocrono, ou seja, o intervalo de tempo necessário para a emissão de duas folhas consecutivas, pode ser

usado para simular o aparecimento de folhas em plantas. Para o autor, o número de folhas afeta o índice de área foliar das plantas e é considerado uma excelente medida de tempo fisiológico.

SOLER (2004) afirma que o filotermo, tempo térmico entre a aparição de folhas sucessivas, é crítico para a previsão da duração do período vegetativo, havendo geralmente uma alta correlação entre o número total de folhas da planta e a duração do período compreendido entre a semeadura e o florescimento.

## **2.4. Fatores que afetam o crescimento, desenvolvimento e produtividade do milho**

Por ser uma planta de origem tropical, o milho exige calor e água, durante o seu ciclo vegetativo, para se desenvolver e produzir satisfatoriamente, proporcionando rendimentos compensadores. Seja qual for o nível de tecnologia aplicado, o período de tempo e as condições climáticas às quais a cultura é submetida constituem-se em preponderantes fatores de produção (FIGUEREDO JÚNIOR, 2004).

### **2.4.1. Fatores climáticos**

Para ASSIS (2004), o conhecimento da temperatura e da radiação solar pode ser útil na determinação dos períodos críticos predominantes em uma determinada região. De posse dessas informações, pode-se reduzir as conseqüências causadas pelas variações dos elementos climáticos sobre a produtividade das culturas.

Em geral, baixas temperaturas provocam um alongamento do ciclo da cultura, enquanto que temperaturas elevadas determinam redução na duração do ciclo. Ainda, a temperatura influencia na determinação dos componentes do rendimento, por afetar a duração do tempo cronológico dos estádios de desenvolvimento em que cada um desses componentes é determinado (DIDONET et al., 1998).

As temperaturas ótimas para crescimento do milho estão entre 25 e 30°C, e as mínimas, entre 6 e 8°C (FANCELLI, 2001). Segundo o mesmo autor, temperaturas do solo inferiores a 10°C e superiores a 42°C afetam

negativamente a germinação, enquanto que as situadas na faixa de 25 a 30°C são mais adequadas para os processos de germinação e emergência. O rendimento da cultura pode ser reduzido caso ocorram valores de temperatura acima de 35°C durante o período de formação do grão.

Os fatores que podem interferir no crescimento, desenvolvimento, arquitetura e funcionamento do sistema radicular são: (i) elevada concentração de nutrientes nas camadas superficiais do solo; (ii) desestruturação do solo; (iii) baixa aeração; (iv) elevada concentração de alumínio; (v) temperaturas elevadas próximo às raízes; (vi) acentuada disponibilidade temporal de nutrientes, como o fósforo (P); (vii) baixa disponibilidade de nitrogênio (N) nos estádios iniciais de desenvolvimento; (viii) deficiência de boro no solo; (ix) ausência de cálcio ao longo do perfil do solo e; (x) índices elevados de salinidade de sulco, principalmente pelo uso em demasia de cloreto de potássio na semeadura (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

Além de pertencer ao grupo de plantas com metabolismo C4, que tem por característica um elevado potencial produtivo, o milho está entre as plantas que possuem maior eficiência de uso da radiação solar. Isso se deve à arquitetura da planta, e também à anatomia foliar da planta, por apresentar folhas com área menor entre as nervuras, com lamela suberizada, o que previne a perda de CO<sub>2</sub> para o meio (Hattersley apud BERGAMASCHI et al., 2004).

Por ser uma espécie de metabolismo C4, o milho tende a expressar sua elevada produtividade quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico. Essa condição permite a máxima fotossíntese possível, porém aumenta a necessidade hídrica da cultura, já que o elevado fluxo energético incidente também eleva a evapotranspiração (BERGAMASCHI et al., 2004).

A fase de enchimento de grãos pode ser dividida em três etapas: (i) intensa atividade mitótica, determinando o número de células

endospermáticas ou de reservas, translocação de substâncias solúveis e, por fim, resultando no estágio de grãos leitosos; (ii) aumento rápido de densidade dos grãos em formação e; (iii) reações de transformação das substâncias de reserva (FANCELLI, 2001). Temperaturas elevadas implicam em aumento na taxa de crescimento e diminuição na duração do período de enchimento dos grãos (Muchow apud DIDONET, 2001). Quando os grãos são submetidos a altas temperaturas durante a fase de acumulação de massa seca, a taxa efetiva de crescimento do grão é alta, resultando normalmente em grãos mais pesados. Por outro lado, quando a acumulação de massa seca nos grãos ocorre em temperaturas mais amenas, a taxa de crescimento efetiva do grão é menor, resultando em grãos mais leves (DIDONET, 2001).

#### **2.4.2. Disponibilidade de nutrientes**

O fornecimento adequado de nutrientes à cultura do milho é fundamental para o ótimo crescimento e desenvolvimento da cultura para a obtenção de altas produtividades (SOARES, 2003).

Segundo SILVA et al. (2005), o N é o nutriente absorvido em maiores quantidades pelo milho, e também o que mais exerce influência sobre o rendimento de grãos, sendo que a sua dinâmica no sistema solo-planta é alterada pelo manejo do solo empregado. PÖTTKER (2004) verificou que a incorporação de N ao solo, em sistema de semeadura direta, aumentou o rendimento do milho em cerca de 5%, em relação à aplicação a lanço.

HARGER (2007) avaliou o efeito de diferentes doses e fontes de P (superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Arad) sobre o crescimento inicial do milho, e identificou que, independente da fonte considerada, houve aumento na produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho à medida que se aumentava a dose aplicada. O autor observou, ainda, que o aumento nas doses de P conferiu aumento nos teores do elemento nas folhas das plantas de milho.

A toxidez provocada pelo alumínio é um dos fatores que mais limita o crescimento das plantas, especialmente em solos que possuem pH

abaixo de 5,0. A intensidade da toxidez depende da quantidade em que o elemento se encontra na solução do solo, bem como a sua relação com outros elementos, tais como Ca, P, K e magnésio (CANAL et al., 1983).

COSTA (2000), em trabalho que visou avaliar os efeitos nocivos do alumínio na morfologia de raízes de plantas de milho, concluiu que o elemento não altera a morfologia, mas acarreta diminuição no poder de absorção de potássio pelas raízes. O principal efeito do alumínio está na inibição da divisão celular da raiz, implicando em redução no sistema radicular e, por conseguinte, redução na absorção de nutrientes.

#### **2.4.3. Déficit hídrico**

As plantas apresentam modificações morfofisiológicas quando submetidas a situações de baixa disponibilidade de água no solo, sendo que as gramíneas reagem negativamente ao déficit hídrico, enrolando as folhas e reduzindo a elongação destas e o comprimento de entrenós (CARLESSO et al., 2001).

Para a cultura do milho, há três estádios de desenvolvimento mais sensíveis ao déficit hídrico: (i) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; (ii) fertilização, quando o potencial de produção é estabelecido e; (iii) enchimento de grãos (Paterniani apud FIGUEREDO JÚNIOR, 2004). Já as fases que são mais sensíveis ao excesso hídrico são: germinação, diferenciação do pendão e espigamento até a maturação fisiológica (MONDRAGÓN, 1990).

PEITER (1999), em trabalho que utilizou um modelo de simulação para avaliar a viabilidade econômica de diferentes lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo do milho, verificou que o período que vai de 38 dias após a semeadura até a maturação leitosa foi o período com maior necessidade hídrica da cultura.

BERGAMASCHI et al. (2004) concluíram que, independentemente da condição climática da região de implantação da cultura, a produtividade de grãos de milho é decorrente das condições hídricas durante o período crítico, que se estende desde o pendoamento até o

início do enchimento de grãos. Diante disso, irrigações durante o período crítico permitem elevada produtividade de grãos de milho, mesmo que a umidade do solo seja mantida abaixo da capacidade de campo. De acordo com os mesmos autores, o número de grãos por espiga e o número de espigas por planta são os componentes da produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico, quando este ocorre durante o período crítico do milho.

Segundo FANCELLI (2001), o milho exige cerca de 400 a 600 mm de precipitação pluvial para manifestar seu potencial produtivo sem que seja necessário o uso da irrigação, a qual utiliza, em média, 4 a 6 mm/dia. Ainda, o período que vai do pendoamento à fase de grãos leitosos, é a mais sensível ao déficit hídrico, resultando em perdas irreparáveis à produção. A quantidade de água disponível para a planta depende da capacidade exploratória das raízes, da capacidade de armazenamento de água do solo e da magnitude do sistema radicular da planta.

CARLESSO (2000) afirma que o manejo da irrigação da cultura do milho deve ser realizado com aplicação de irrigação quando a evapotranspiração máxima da cultura indicar valor acumulado de 20 a 25 mm, sendo que a utilização de lâminas superiores a 30 mm ocasiona redução no rendimento de grãos e acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas.

#### **2.4.4. Invasoras**

O controle de invasoras no milho pode ser realizado em dois momentos durante o ciclo da cultura, antes e depois da semeadura, de acordo principalmente com a forma de semeadura adotada na área, da disponibilidade de máquinas e dos herbicidas escolhidos (NICOLAI, 2004). A redução do rendimento de produção na cultura do milho, devido à competição com invasoras, pode alcançar até 70% da produtividade potencial, de acordo com a espécie e grau de infestação das invasoras, tipo de solo, condições climáticas, além do espaçamento, variedade e estágio fenológico da cultura relacionada à convivência das invasoras (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

## 2.5. Programação para a Internet

O HTML (*Hypertext Markup Language*, linguagem de marcação em hipertexto) é o padrão utilizado para a formatação de informações em páginas na Internet. Tanto o envio de informações (formulário com os parâmetros da simulação) e solicitação dos resultados quanto a visualização destes, foram feitos utilizando páginas escritas em HTML. Segundo W3C (2006), o desenvolvimento de sites no formato HTML pode ser feito utilizando-se desde simples editores de texto até ferramentas gráficas mais elaboradas.

Em geral, um servidor web aguarda por solicitações e as responde de acordo com o protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*, protocolo para transferência de hipertexto). Essa solicitação, que pode ser uma imagem ou um documento HTML, por exemplo, é feita por um cliente (usualmente um navegador para Internet), e após recebê-la, o servidor examina o pedido e organiza o conteúdo em um arquivo ou então repassa o pedido a um interpretador de uma linguagem de programação, que então gera os resultados. Por fim, o servidor envia a resposta obtida de volta para o cliente (GRÖNE, 2002).

O servidor web Apache HTTP Server é um projeto de código aberto da Apache Software Foundation, e que há 10 anos vem sendo o servidor mais popular na Internet (APACHE, 2006). Atualmente está presente em aproximadamente 65% dos mais de 80,5 milhões de sites em atividade na grande rede, segundo levantamento da empresa Netcraft (NETCRAFT, 2006), sendo que em novembro de 2005 chegou a superar a marca de 70%, conforme relatório da mesma empresa (APACHE, 2006).

Páginas dinâmicas recebem esse nome porque têm seu conteúdo modificado de acordo com determinados parâmetros (data e hora, por exemplo) ou então como resultado de uma consulta a um banco de dados. PHP (*Hypertext Preprocessor*) é uma linguagem de programação amplamente utilizada na Internet, que funciona dentro da arquitetura

cliente-servidor, sendo uma linguagem de desenvolvimento de sites dinâmicos (PHP, 2006).

O PHP, além de suportar a maioria das plataformas que provêm acesso e serviços pela Internet, é distribuído sobre GPL (*General Public License* ou Licença Pública Geral), ou seja, não é necessário adquirir nenhum tipo de licença paga para utilizar a linguagem (JUNIOR, 2006). Conforme relatório da empresa Netcraft, no mês de abril de 2006 o PHP estava presente em quase 20,5 milhões de domínios (PHP STATS, 2006).

Dentre as vantagens do PHP, destacam-se: (i) a possibilidade de ser executada separadamente ou de forma incorporada na página HTML, o que confere ao próprio servidor a capacidade de gerar parte do código HTML; (ii) suporta uma grande quantidade de bancos de dados e; (iii) é extremamente adequada ao ambiente da Internet, já que possui algumas características como controle de sessões, processamento automatizado das informações enviadas por formulário, etc. (CASTAGNETTO et al., 1999).

## **2.6. Simulação gráfica**

Gráficos dinâmicos se caracterizam por serem gerados instantaneamente, podendo ser baseados em uma consulta a um banco de dados, por exemplo. Uma aplicação prática para esse conceito é a construção da animação de uma planta, a partir de dados de soma térmica para ocorrência dos estádios fenológicos. A linguagem SVG (*Scalable Vector Graphics*) é utilizada para descrever gráficos bidimensionais vetoriais (W3C SVG, 2006), ou seja, onde os elementos gráficos (linhas, curvas, retângulos, circunferências, caracteres) são posicionados utilizando-se um sistema de coordenadas cartesianas, através de uma linguagem de marcação semelhante ao HTML.

Além de exibição de elementos gráficos, o padrão SVG também suporta CSS (*Cascading Style Sheets*, ou folhas de estilo, são palavras-chave utilizadas para definir características de formatação dos elementos

– formas – de maneira simplificada, evitando repetição de código), animações e programação através de linguagens como ECMAScript. Dentre as áreas de utilização, destacam-se a exibição de gráficos dinâmicos e animações em sites, sistemas de informação geográfica (GIS), como formato de troca de dados entre diferentes aplicações, impressão, aplicações para celulares e desenhos de alta qualidade (W3C SVG ABOUT, 2006).

Em SVG, os elementos são criados, formatados e movimentados através de palavras-chave (*tags*), que possuem atributos e propriedades específicos para cada objetivo. Para esse tipo de gráfico ser visualizado, é necessário que o cliente (usuário) instale um componente, chamado *plugin*, que irá atuar juntamente com o navegador (*browser*) utilizado, interpretando os elementos dos arquivos SVG e exibindo-os em forma de gráficos vetoriais. O *plugin* Adobe SVG Viewer é um dos que podem ser encontrados na Internet, é totalmente gratuito e suporta diversos sistemas operacionais, além de estar disponível em vários idiomas (ADOBE SVG, 2006). A instalação é bastante simples e não requer que se reinicie o computador.

A principal vantagem dos gráficos vetoriais é a possibilidade de redução ou ampliação dos elementos sem que haja perda de qualidade, diferentemente das imagens rasterizadas (*bitmap*). Uma imagem *bitmap* é formada por x pontos (pixels) de largura e y pontos de altura, e a cada ponto de coordenadas (x,y) é atribuído o código de uma cor. A desvantagem de se utilizar imagens *bitmap* é que elas não podem ser alteradas sem que a área que se pretende modificar seja totalmente sobrescrita (redesenhada), ponto por ponto. Por outro lado, em uma imagem vetorial, cada elemento possui pontos de controle (por exemplo, os vértices de um polígono), todos eles posicionados através de um sistema de coordenadas, ou seja, basta modificar a coordenada do ponto de controle desejado para que o elemento seja redesenhado. Isso permite flexibilidade à imagem, facilitando a modificação principalmente de imagens complexas e economizando trabalho.

Linguagem utilizada para realização de consultas a bancos de dados, o SQL (*Structured Query Language*) dispõe de funções matemáticas, de tratamento de texto, de agrupamento de dados, ordenação, recursos de consultas internas (sub-consultas), necessários para o resgate e tratamento de dados diretamente do banco, dados estes que posteriormente podem ser trabalhados pela linguagem de programação adotada.

Banco de dados de livre distribuição mais popular atualmente na Internet, o MySQL (MYSQL AB, 2006) possibilita o armazenamento de informações, bem como a otimização destas, de maneira rápida e segura, além de possuir integração com a linguagem PHP, através de funções pré-definidas para conexão ao banco de dados, execução de consultas, dentre outras.

Há diversas formas para realizar a criação da estrutura, inserção, e manipulação de registros em um banco de dados. Uma delas é através da linha de comando (*prompt*) do MS-DOS, diretamente através dos executáveis que acompanham a distribuição do MySQL. Por se tratar de um ambiente bastante limitado, sem muitos recursos, já que se pode somente utilizar comandos de texto para criação de tabelas, inserção de registros, etc., a produtividade fica bastante prejudicada. No entanto, há programas que fazem uso de uma interface gráfica para a manutenção do banco de dados, como por exemplo o SQL Manager Lite for MySQL (SQL MANAGER, 2006), que possui uma boa quantidade de recursos para se trabalhar com bancos de dados no formato MySQL, além de ser gratuito.

O desenvolvimento de sites baseados em tecnologias como HTML, PHP e SVG requer o uso de ferramentas adequadas para digitação dos códigos de cada linguagem, modificação de parâmetros na configuração do servidor web, dentre outras atividades que envolvem modificações em arquivos de texto. O HTML-Kit, distribuído gratuitamente pela Chami.com, é um editor de texto que possui suporte a várias linguagens de programação, e dispõe de uma série de recursos que visam aumentar a produtividade no desenvolvimento de códigos (HTML-KIT, 2006), como

por exemplo a presença de uma área de transferência múltipla, preenchimento automático de *tags*, cores predefinidas para elementos e funções das diferentes linguagens, dentre outros.

Todo trabalho que envolve tratamento de imagens, bem como o traçado de desenhos vetoriais, exige uma ou mais ferramentas gráficas que permitam executar tais funções. A maioria dos *softwares* encontrados trabalham especificamente ou com gráficos rasterizados (*bitmaps*) ou com gráficos vetoriais. No entanto, há uma ferramenta que se destaca por trabalhar com ambos os tipos de gráficos, que é o Corel Paint Shop Pro X (PSP, 2006), disponível para *download*. Por se tratar de uma versão experimental (*trial*), seu uso sem necessidade de registro só pode ser feito por um período limitado a 30 dias.

Devido ao fato do Paint Shop Pro ainda não salvar ou exportar arquivos diretamente para o formato SVG, é necessária uma ferramenta que intermedeie essa conversão. Para tanto, pode ser utilizado o programa SVG Factory (SVG FACTORY, 2006), um programa simples e gratuito que é capaz de converter arquivos bitmap ou WMF (Windows Metafile, um formato de gráfico vetorial) para o formato SVG.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização do experimento e determinações realizadas**

Foi conduzido um experimento a campo em área do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS, no ano agrícola de 2005/2006, no qual foram cultivadas plantas de um híbrido comercial de milho. A área tem como coordenadas geográficas 29° 41' 24" LS e 53° 48' 42" LW.

As parcelas, em número de quatro, tinham dimensões de 5 m de largura por 5 m de comprimento. O espaçamento utilizado foi de 0,75 m entre linhas e de 0,25 m entre plantas na linha. As determinações de altura de plantas e de largura máxima e comprimento de folhas foram realizadas a cada cinco dias, sendo que a área foliar foi determinada em todas as folhas da planta, desde o surgimento das folhas (saída do cartucho) até a emissão da bainha, quando caracteriza-se o completo desenvolvimento da folha.

Para o cálculo da área individual de cada folha, realizou-se o produto entre o comprimento e a largura máxima de cada folha, multiplicado pelo fator 0,75, conforme sugerido por STICKLER et al. (1961). O índice de área foliar (IAF), ou seja, a superfície da folha fotossinteticamente ativa em relação à unidade de superfície de solo foi calculado através da razão entre a área foliar da planta e a área de solo ocupada pela mesma, baseando-se nos valores de espaçamento entre linhas de cultivo e entre plantas, selecionados para a simulação.

As fotografias das plantas de milho foram obtidas utilizando-se uma máquina fotográfica digital da marca Sony, modelo DSC-P43. Foram selecionadas algumas plantas, das quais foram tiradas fotos desde a emergência até o completo desenvolvimento das mesmas, com intervalo de, no máximo, sete dias entre uma foto e outra. Procurou-se tomar o cuidado para que as plantas ficassem completamente enquadradas na área da foto, permitindo, dessa forma, que todas as folhas pudessem ser

visualizadas e, então, tratadas via software posteriormente. Uma estaca graduada foi colocada próximo às plantas (Figura 1), de forma a se estabelecer uma aproximação entre as dimensões da foto, em pixels (pontos), com as dimensões reais do assunto fotografado.



**Figura 1.** Detalhe de uma fotografia digital de uma planta de milho.

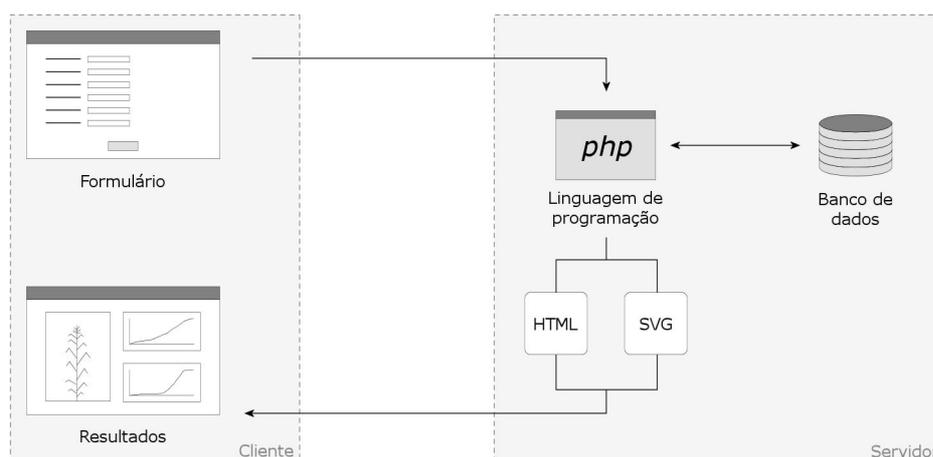
As dimensões das fotos (em pontos ou *pixels*) variaram entre 640 x 480 e 2304 x 1728, o equivalente a um tamanho impresso (em cm) de 22,5 x 17,0 e 81,3 x 61,0, respectivamente. As dimensões utilizadas foram selecionadas conforme a necessidade de enquadramento e detalhamento do assunto.

O cálculo da soma térmica foi realizado a partir da temperatura média diária, subtraída da temperatura base de 10°C para a cultura do milho. A temperatura média diária foi calculada através da média aritmética dos registros horários de temperatura do ar de uma estação meteorológica automática, localizada no campus da UFSM. Partiu-se do princípio de que o desenvolvimento das plantas seria constante acima da temperatura base (10°C) e abaixo da temperatura máxima (32°C). Além deste intervalo a taxa de crescimento foi considerada nula, sendo o somatório térmico igual a zero.

Os dados médios de comprimento de entrenós final utilizados foram os encontrados por ZIMMERMANN (2001).

### 3.2. Programação

Esta etapa do trabalho foi realizada com a utilização de equipamentos de informática, incluindo computador e periféricos como mouse, teclado e monitor, através dos quais foi possível o tratamento das fotografias digitais das plantas de milho, bem como a elaboração das rotinas de programação, organização e tratamento dos dados experimentais, manutenção do banco de dados, e execução da simulação propriamente dita, fazendo uso da arquitetura cliente-servidor (Figura 2).



**Figura 2.** Fluxo das informações na arquitetura cliente-servidor, e tecnologias empregadas na simulação.

A simulação foi desenvolvida através de programação voltada para a Internet, utilizando apenas softwares e linguagens de livre distribuição, possibilitando assim a visualização dos gráficos a partir de qualquer computador conectado à grande rede, em forma de serviço. Para tanto, os códigos desenvolvidos foram armazenados e disponibilizados, de forma experimental, junto ao site do Sistema Irriga® na Internet, através dos seguintes endereços: [www.sistemairriga.com.br/simulacao-milho](http://www.sistemairriga.com.br/simulacao-milho) e [www.irriga.proj.ufsm.br/simulacao-milho](http://www.irriga.proj.ufsm.br/simulacao-milho).

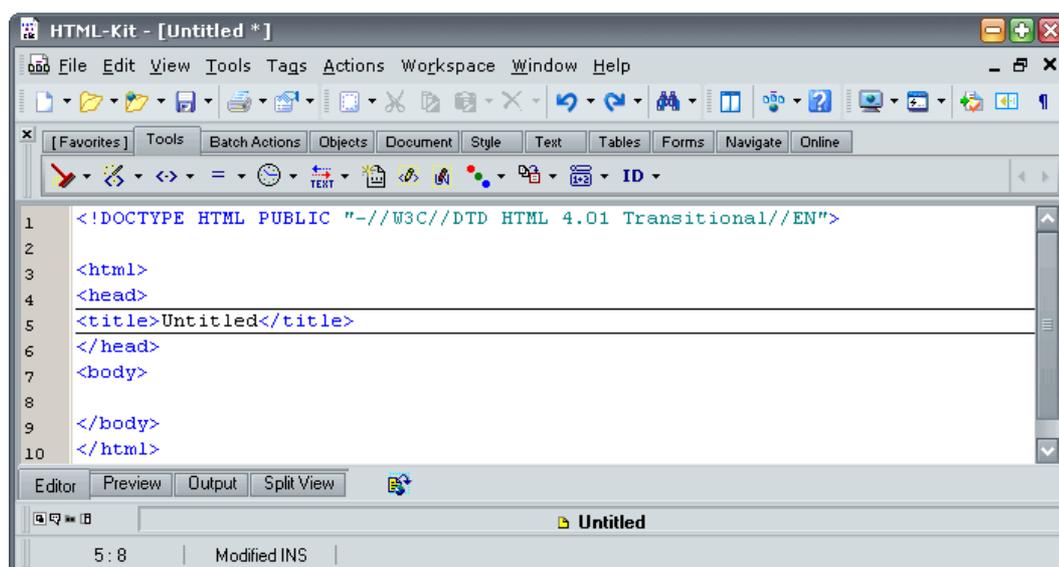
No que se refere a *hardware*, o computador utilizado para desenvolvimento do trabalho, incluindo todas as etapas desde tratamento e vetorização das fotografias digitais, digitação dos códigos até a exibição dos resultados, tinha as seguintes características: processador Pentium 4 2,4 GHz, com 1 GB de memória RAM e 128 MB de memória de vídeo (placa nVidia GeForce FX 5200). Esta configuração foi adequada para a execução de todas as etapas do trabalho, acreditando-se ser possível executar estas mesmas operações em uma máquina com configuração inferior. Esta mesma máquina atuou ao mesmo tempo como cliente e servidor, devido às características intrínsecas ao trabalho.

### **3.2.1. Servidor**

Para execução dos códigos da simulação, foi instalado o servidor web Apache versão 2.0.55. A partir da versão 2, o servidor Apache sofreu uma reestruturação para evitar a fragmentação de código causada pelo uso excessivo de diretivas pré-processadas. Dessa forma, essa versão passou a apresentar uma melhor estrutura no seu código-fonte, além de uma interface em forma de módulos (GRÖNE, 2002).

### **3.2.2. Linguagem de programação**

A linguagem de programação utilizada neste trabalho foi o PHP, considerada uma linguagem de script, assim como a linguagem Perl (ANEWALT & ACKERMANN, 2005). A versão utilizada neste trabalho foi a 5.0.5, instalada como módulo do servidor Apache. Para digitação das rotinas de programação, bem como para edição dos arquivos SVG gerados a partir da vetorização das folhas, utilizou-se o software HTML-Kit versão 1.0 (ANEWALT & ACKERMANN, 2005; BUTTIGNON, 2002; FRESNO-FERNÁNDEZ et al., 2003), de distribuição livre, além de ser um programa com uma ampla variedade de recursos e configurações (Figura 3).



**Figura 3.** Tela principal do programa HTML-Kit.

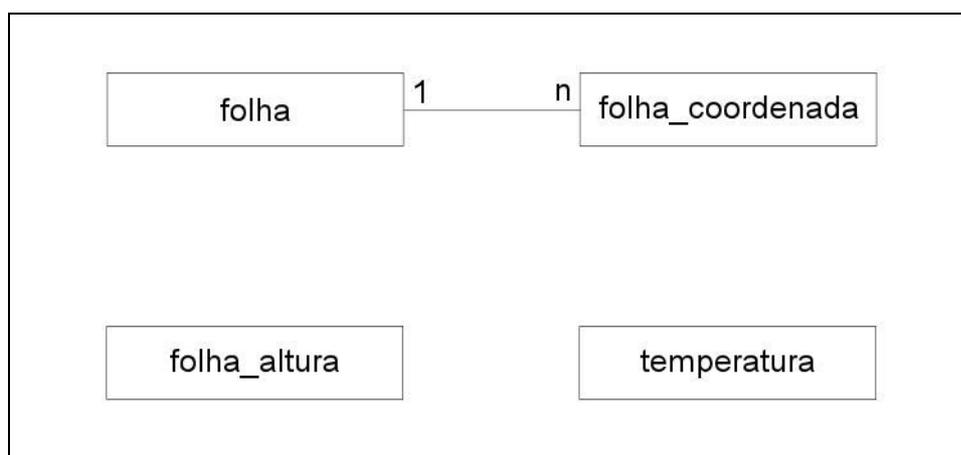
### 3.2.3. Banco de dados

O banco de dados selecionado para o desenvolvimento deste trabalho foi o MySQL (ANEWALT & ACKERMANN, 2005; JANEV, 2003), sendo que a versão utilizada foi a 5.0.15.

A estrutura de banco de dados relacional (Figura 4) foi montada de forma a permitir uma organização eficiente das informações envolvendo soma térmica, distância entre nós, dimensões reais e coordenadas vetoriais dos formatos de folhas.

A seguir uma breve descrição de cada uma das tabelas utilizadas no modelo: (i) folha: cada registro possuía informações de cada um dos formatos de folha, como o valor de soma térmica necessário para a sua ocorrência, e suas dimensões reais (largura e comprimento), necessárias para o cálculo da área foliar; (ii) folha\_coordenada: a cada formato de folha correspondia um polígono formado por  $n$  vértices, e as informações que descreviam cada um destes vértices (número seqüencial, coordenadas X e Y relativas) eram armazenadas nesta tabela; (iii) folha\_altura: aqui eram armazenadas as distâncias internodais inicial e final para cada folha, para os valores de soma térmica correspondentes ao aparecimento da folha e emissão da bainha, respectivamente e; (iv)

temperatura: possuía os dados médios diários de temperatura, em graus Celsius, para o período de desenvolvimento do cultivo a campo, extraídos de uma estação meteorológica compacta. Essas informações eram utilizadas no cálculo da soma térmica diária.



**Figura 4.** Modelagem do banco de dados relacional, exibindo as entidades criadas para o armazenamento das informações, bem como a cardinalidade existente entre as mesmas.

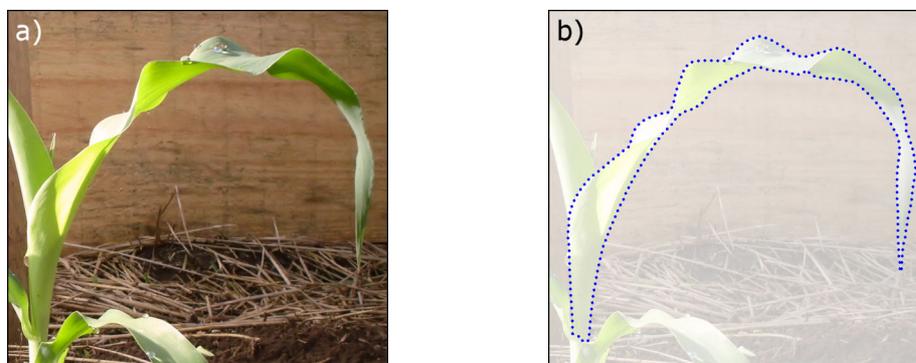
A manutenção do banco de dados, que compreende a criação das tabelas (entidades), inserção e atualização dos valores nas mesmas, foi feita com o auxílio do programa MySQL Manager (JANEV, 2003). A versão utilizada foi a Lite 2005, que pode ser utilizada gratuitamente, sem limite no período de utilização do programa, ou necessidade de registro.

### 3.2.4. Vetorização

Inicialmente, as fotos das plantas foram editadas no aplicativo Corel Paint Shop Pro X (BISHOP, 2005), versão 10.00, através do qual se traçava, ponto a ponto, o contorno de todas as folhas, formando-se assim um polígono sobre cada uma delas (Figura 5b).

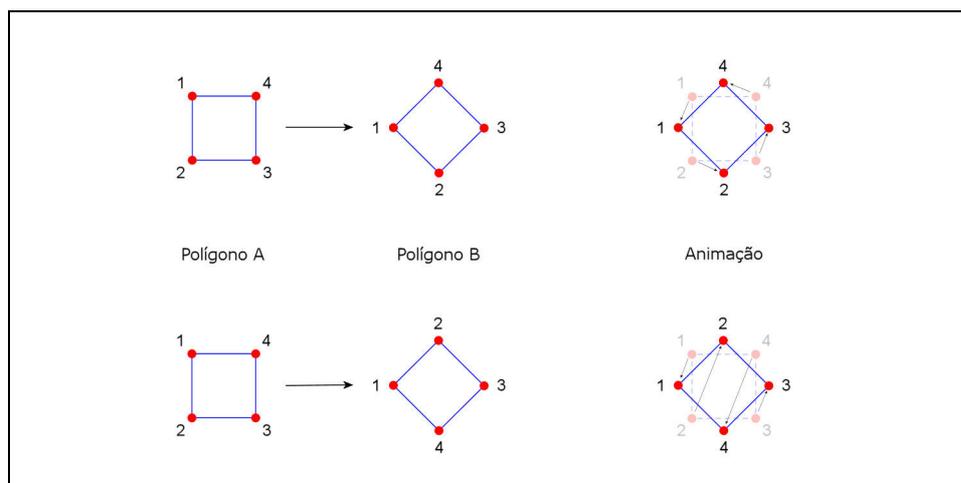
Devido a algumas particularidades da animação em SVG, adotou-se as seguintes regras para o traçado de cada folha: (i) o vértice inicial era posicionado sempre na extremidade inferior da folha, na região em contato com o colmo e; (ii) os demais vértices eram inseridos efetuando-

se o contorno no sentido anti-horário, independentemente da posição da folha na planta, se à esquerda ou à direita. Isso porque, na animação entre dois polígonos, cada vértice desloca-se para sua nova posição, de acordo com a seqüência que este ocupa no polígono, ou seja, o vértice de número 4, no polígono A, desloca-se para a posição do vértice de mesmo número, no polígono B (Figura 6). Diante disso, se os traçados de duas formas distintas fossem feitos em sentido inverso entre si, a animação daria a impressão da folha estar “girando” em seu próprio eixo.



**Figura 5.** Detalhe de uma fotografia digital de uma planta de milho. a) Imagem original. b) Polígono traçado sobre o contorno da folha.

O contorno de cada folha era, então, salvo em um formato de imagem vetorial (WMF – Windows Metafile), para que pudesse ser convertido ao formato SVG (tarefa esta que era feita pelo programa SVG Factory versão 1.0 - Figura 7). O arquivo SVG continha, dessa forma, uma representação vetorial da folha contornada, através de coordenadas relativas, a qual iremos chamar de “caminho”.



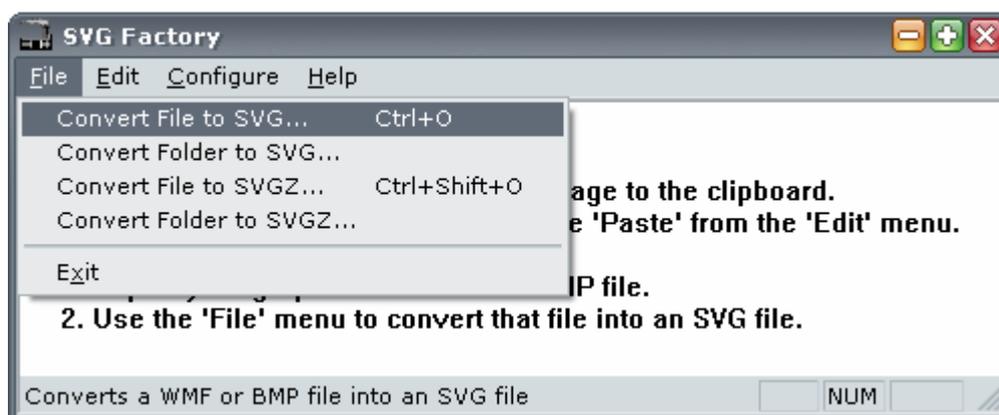
**Figura 6.** Princípio da animação entre diferentes polígonos em SVG, exemplificando as diferenças no deslocamento dos vértices quando o sentido do traçado no polígono B é alterado.

Através do código da simulação, cada caminho de cada formato de folha era analisado, e todas as coordenadas dos vértices eram inseridos no banco de dados.

### 3.2.5. Construção da animação

Para o período referente à duração do cultivo, uma função realizava consulta à tabela que continha os dados meteorológicos diários, calculando, desta forma a soma térmica acumulada, tendo como limite superior a soma térmica do estádio escolhido nas opções da simulação. Após isso, o somatório era fracionado em etapas de 10 em 10 GD, armazenando os valores acumulados de acordo com esse intervalo, desde 0 até o valor máximo de GDA (graus-dia acumulados), temporariamente em uma matriz. Também nessa função era calculado o tempo total da animação, baseado na velocidade escolhida através das opções. Para o valor igual a 1,00, cada 10 GD correspondiam a 1 segundo de animação.

Posteriormente, uma outra função era utilizada para determinar quantas folhas iriam compor a animação, baseando-se nos somatórios térmicos para aparecimento, e para emissão da bainha de cada folha.



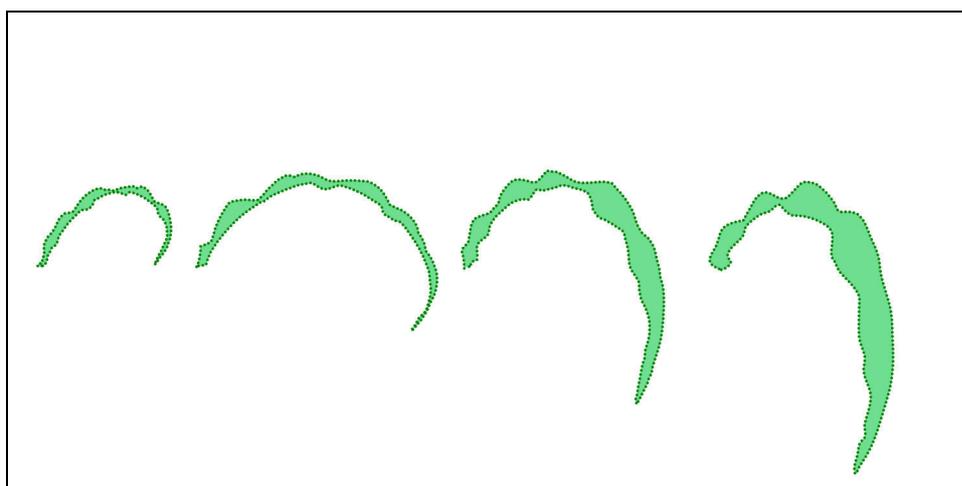
**Figura 7.** Tela principal do programa SVG Factory.

Na função seguinte, os seguintes processos eram realizados, dentro de um laço (*loop*) que era feito para cada folha do número total determinado para a planta: consulta ao banco para determinar o maior número de vértices dentre os diferentes polígonos que representavam a folha, independente do somatório térmico. Determinava-se também, de forma aleatória, a posição da primeira folha, se à esquerda da planta ou à direita. As demais eram posicionadas alternadamente em relação à primeira. Dessa forma, para cada valor acumulado de soma térmica, era realizado um laço interno, para cada folha da planta, onde os processos de animação da variação de altura da folha, consulta pelos vértices do formato da folha (se existente), considerando o valor de soma térmica do laço externo. Também era realizado o cálculo da área foliar para o número da folha e soma térmica considerados, utilizando os valores de largura e comprimento armazenados previamente no banco de dados.

A partir das coordenadas da folha, era então montado o caminho da mesma, no formato SVG. Nesse momento, verificava-se se o número de vértices do caminho era inferior ao máximo de vértices para a folha, determinado anteriormente. Se afirmativo, vértices adicionais (chamados de vértices “nulos”, pois não influenciavam no traçado da animação) eram inseridos no caminho, de forma a permitir a animação entre os diferentes formatos da folha, da forma menos abrupta possível. Importante salientar

que, em SVG, não é possível realizar animações entre polígonos que possuam número total de vértices diferentes entre si.

Finalmente, eram determinados o momento de início e a duração de cada etapa da animação, cujo valor era dado em segundos. Nesse momento também era considerado o fator de velocidade da animação. Novamente, um laço para cada folha era realizado, de forma a construir, na linguagem SVG, a animação de cada folha, utilizando os formatos de folha disponíveis até a soma térmica considerada (Figura 8), fazendo o mesmo para a animação da altura de inserção da folha no colmo. Concomitantemente a esta, eram efetuadas as rotinas para aparecimento e variação da altura do pendão e da espiga.



**Figura 8.** Exemplo mostrando a variação de alguns formatos de uma mesma folha, em diferentes momentos do ciclo.

Para a animação da altura de inserção da folha, baseando-se em dados da distância dos entrenós final, da soma térmica necessária para aparecimento de cada folha, bem como para a emissão da bainha. Foi organizada uma rotina com o objetivo de determinar, para cada valor de soma térmica diária acumulada, a posição de cada uma das folhas com relação à superfície do solo. Para tanto, uma consulta ao banco de dados era realizada, buscando para cada folha os momentos de aparecimento da mesma (quando a distância para o nó anterior era considerada como

sendo nula) e de emissão da bainha (quando a distância internodal era considerada como máxima). A partir daí era montada a animação da altura da folha, na linguagem SVG.

Na animação do pendão, o aparecimento deste foi definido a partir do somatório térmico necessário para tal, e a altura de inserção na planta foi feita de forma que acompanhasse a altura de inserção da última folha. A animação do crescimento do pendão, bem como da emissão de ráceros, foi feita separadamente à animação da planta, sendo a posição na haste principal e o ângulo de inserção dos racemos, de forma aleatória.

A animação da espiga foi realizada utilizando-se o valor de soma térmica necessário para ocorrência do evento. O crescimento da espiga, bem como o aparecimento e a mudança de coloração dos estigmas, foram feitos separadamente à animação da planta.

### **3.2.6. Parâmetros da simulação**

Para a escolha das opções a serem utilizadas em cada simulação, foi desenvolvido um formulário em HTML (Figura 9), que permitia a alteração dos valores através de caixas de listagem suspensas (*dropdowns*) e caixas de seleção (*checkboxes*). Através do envio desse formulário, as informações (valor de cada opção) eram enviadas para os códigos em PHP encarregados de calcular os resultados e gerar os códigos para cada animação.

Os seguintes parâmetros eram utilizados no formulário, cuja escolha modificava diretamente o código para construção da(s) planta(s): (i) tempo: fator utilizado para reduzir ou ampliar a velocidade da animação. O valor padrão, 1,00, indicava que cada 10 GD de soma térmica correspondiam a 1 segundo de animação; (ii) estágio fenológico: através desta opção foi possível executar a simulação até a soma térmica correspondente ao estágio indicado; (iii) altura: valor máximo para a altura da planta. No código da simulação, cada opção correspondia a um fator de multiplicação, que era aplicado diretamente sobre a distância entre nós das folhas para se obter a altura máxima desejada; (iv) ocorrência de

déficit hídrico, por extrato: a planta foi dividida em 3 partes, chamadas de “extratos”, sendo que o primeiro compreendia da 1ª à 7ª folha, o 2º da 8ª à 14ª folha, e finalmente o 3º da 15ª até a última folha.

Tempo:	<input type="text" value="1.00"/>	(quanto menor o valor, mais rápida a simulação)
Estádio:	<input type="text" value="ve"/>	
<hr/>		
Altura (m):	<input type="text" value="2.50"/>	
Extrato	Déficit hídrico	
• 1:	<input type="text" value="nenhum"/>	
• 2:	<input type="text" value="nenhum"/>	
• 3:	<input type="text" value="nenhum"/>	
Espaçamento (cm) entre:		
• linhas:	<input type="text" value="50"/>	
• Plantas:	<input type="text" value="100"/>	
<hr/>		
<input checked="" type="checkbox"/>	simular apenas uma linha	
<input checked="" type="checkbox"/>	simular apenas uma planta/linha	
<input type="checkbox"/>	folhas com cores diferentes	
<hr/>		
<input type="button" value="ok"/>		

**Figura 9.** Formulário escrito em linguagem HTML, utilizando caixas de listagem suspensas e caixas de seleção para modificar as opções da simulação

Para cada extrato a severidade do déficit hídrico poderia ser alterada, sendo que no código da simulação, cada nível de severidade correspondia a um fator, que era então aplicado sobre o tamanho das folhas do extrato e também à distância entre nós (afetando assim a altura da planta); (v) população de plantas: modificada através dos espaçamentos entre linhas e entre plantas, estes parâmetros eram utilizados para simular uma comunidade de plantas, espaçadas entre si de acordo com as opções escolhidas. Dessa forma, aplicava-se uma

sensação de profundidade (perspectiva) à animação, através da alteração da escala de tamanho das plantas subseqüentes às primeiras de cada linha, proporcionalmente, e alinhando-se todas as plantas de acordo com a máxima altura; (vi) simulação de uma única linha: opção utilizada para testes, desconsiderava o espaçamento entre linhas, gerando apenas uma linha de plantas e; (vii) simulação de uma única planta por linha: através desta opção, o espaçamento entre plantas escolhido era desconsiderado, resultando em apenas uma planta para cada linha de cultivo.

Variabilidade das plantas: quando a simulação envolvia mais de uma planta, alguns fatores sofriam uma modificação aleatória para que não houvesse total igualdade entre as plantas, como por exemplo no tamanho de folhas de cada extrato, e no momento de início da animação de cada planta.

### **3.2.7. Visualização dos resultados**

O navegador utilizado para exibição dos resultados foi o Internet Explorer 6 (MICROSOFT, 2006). Este navegador foi o que apresentou uma maior adequação no que se refere à exibição dos gráficos SVG gerados pela simulação, atuando em conjunto com o componente (*plugin*) SVG Viewer, desenvolvido pela Adobe. A versão utilizada neste trabalho, 3.03, até o momento é a mais recente disponibilizada pela Adobe.

O navegador Firefox, desenvolvido por MOZILLA (2006), também foi testado. Este utiliza um mecanismo próprio para exibição dos gráficos, e provavelmente ainda não está totalmente de acordo com o padrão SVG atual, pois informava mensagens de erro de sintaxe no momento de exibir os resultados da simulação, sendo que estes erros inexistiam.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha do banco de dados MySQL ocorreu por: suportar diferentes plataformas, como Windows, Linux e Unix; suportar várias linguagens de programação, tais como PHP, Perl e JSP (*Java Server Pages*); suportar múltiplos processadores; possuir sistema de criptografia de senhas bastante seguro e; o cliente conectar ao servidor através de conexão TCP/IP (JUNIOR, 2006).

Considerou-se como altura máxima das plantas de milho o valor de 2,50 m, conforme o somatório dos comprimentos dos entrenós (Tabela 1). Como os valores para os primeiros quatro nós foi considerado desprezível pelo autor, no presente trabalho adotou-se o valor de 1,0 cm para ambos. Dessa forma, para cada valor na seleção da altura máxima, o fator de multiplicação era o quociente entre o valor escolhido (que variava entre 1,80 e 2,50, em intervalos de 0,05 m) e 2,50.

**Tabela 1.** Comprimento de entrenós (cm) de plantas de milho com irrigação e submetidas a déficit hídrico terminal. Santa Maria, UFSM. 2001. Fonte: Zimmermann (2001).

Nó	Regime hídrico aplicado	
	Déficit	Irrigado
21	7	8
20	13	16
19	9	16
18	10	16
17	12	17
16	14	18
15	15	18
14	16	18
13	17	19
12	18	20
11	17	19
10	16	17
9	16	14
8	15	13
7	13	10
6	8	5
5	2	2
4	-	1
3	-	1
2	-	1
1	-	1
<b>Total</b>	<b>218</b>	<b>250</b>

A relação dos estádios fenológicos, com seus respectivos valores de soma térmica acumulada utilizados na simulação, encontram-se relacionados na Tabela 2. Os valores são dados médios de 3 anos, obtidos em experimentos que foram conduzidos no campus da UFSM.

**Tabela 2.** Fenologia de plantas de milho durante o sub-período emergência–floração, de acordo com a metodologia apresentada por RITCHIE & HANWAY (1993), e os respectivos valores de graus-dia acumulados utilizados na simulação. Santa Maria, UFSM.

Estádio	GDA
Ve	59,92
V1	101,06
V2	147,65
V3	189,60
V4	224,67
V5	285,89
V6	331,02
V7	377,47
V8	426,06
V9	474,35
V10	530,22
V11	574,72
V12	606,40
V13	639,12
V14	675,93
V15	713,43
V16	742,84
V17	774,08
V18	801,20
V19	814,69
V20	819,63
V21	981,41

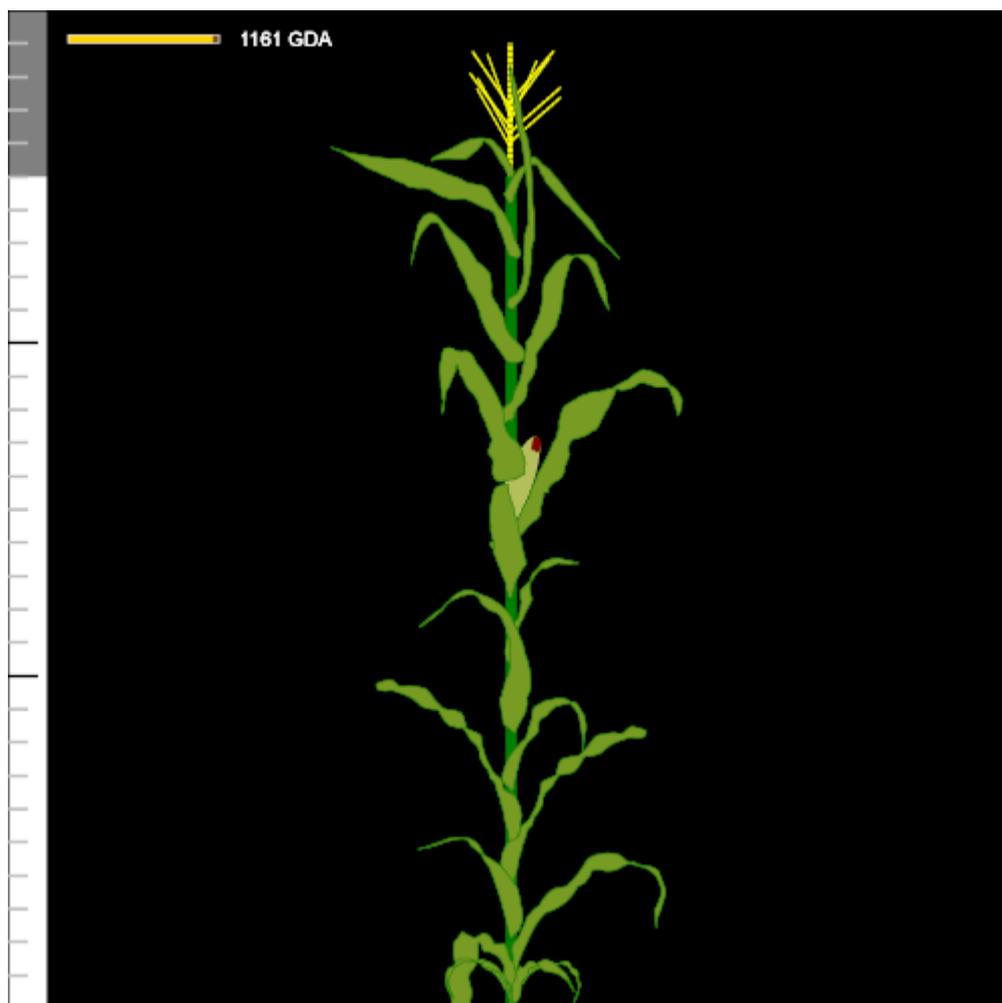
Os valores dos parâmetros utilizados para os extratos, no código gerador da simulação, bem como os fatores utilizados para aplicação do déficit hídrico, encontram-se relacionados na Tabela 3. Para os fatores de aplicação do déficit hídrico, valores próximos de zero implicavam em uma redução pequena no comprimento de entrenós e no tamanho das folhas da planta, já valores próximos de 1,0 resultavam em uma redução bem mais acentuada.

**Tabela 3.** Fatores utilizados no código da simulação, correspondentes a cada nível de déficit hídrico para cada um dos extratos da planta.

<b>Extrato</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>Fator</b>
1 (1ª à 7ª folha)	Nenhum	1,00
	Leve	0,90
	Moderado	0,70
	Severo	0,40
2 (8ª à 14ª folha)	Nenhum	1,00
	Leve	0,90
	Moderado	0,80
	Severo	0,70
3 (15ª até a última folha)	Nenhum	1,00
	Leve	0,95
	Moderado	0,90
	Severo	0,85

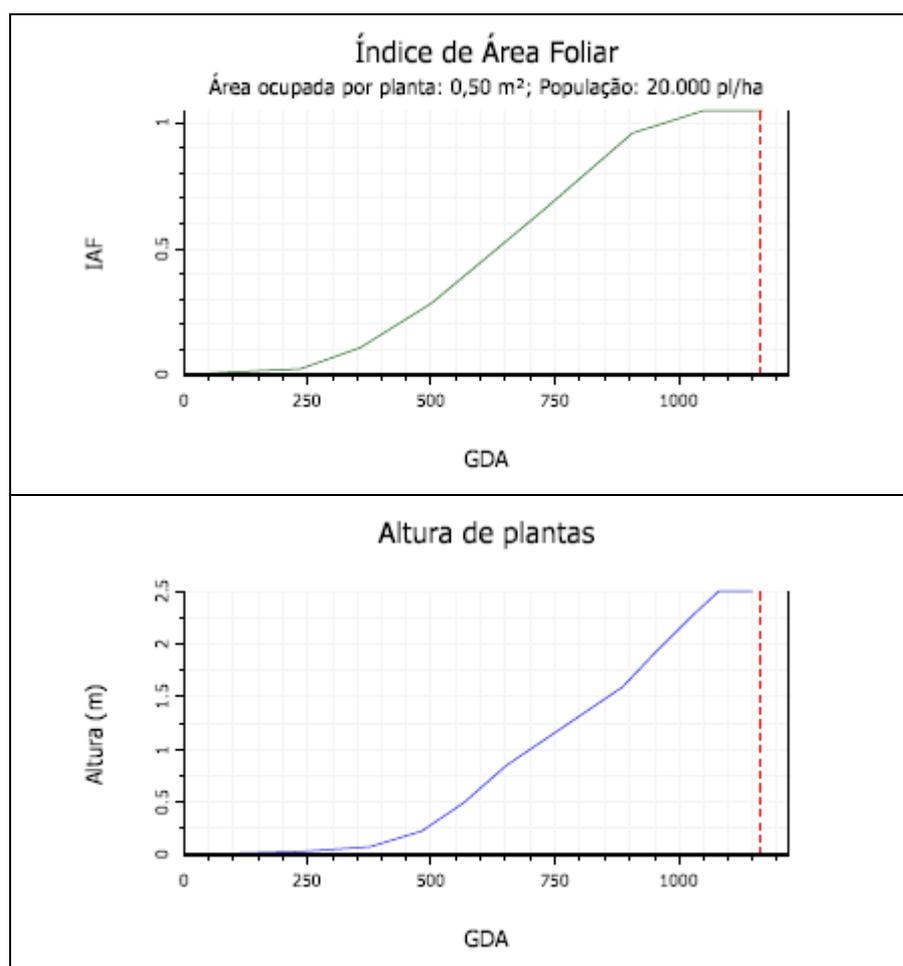
Os valores para espaçamento entre linhas de cultivo utilizados variaram de 40 a 100 cm, e os valores para espaçamento entre plantas variaram entre 10 e 100 cm. Em ambos os casos, as opções eram apresentadas em intervalos de 10 cm, através de uma caixa de listagem (*dropdown*).

Na animação da planta de milho, além da simulação da planta propriamente dita, exibindo gradativamente a emissão de cada folha, bem como o aparecimento e crescimento da espiga e do pendão, são apresentados também: (i) uma barra de evolução da soma térmica, com um contador que informa instantaneamente o valor de GDA; (ii) e uma escala graduada (demarcada de 10 em 10 cm e com marcações especiais para cada 100 cm), que indica a altura da planta à medida em que se desenrola a animação (Figura 10).



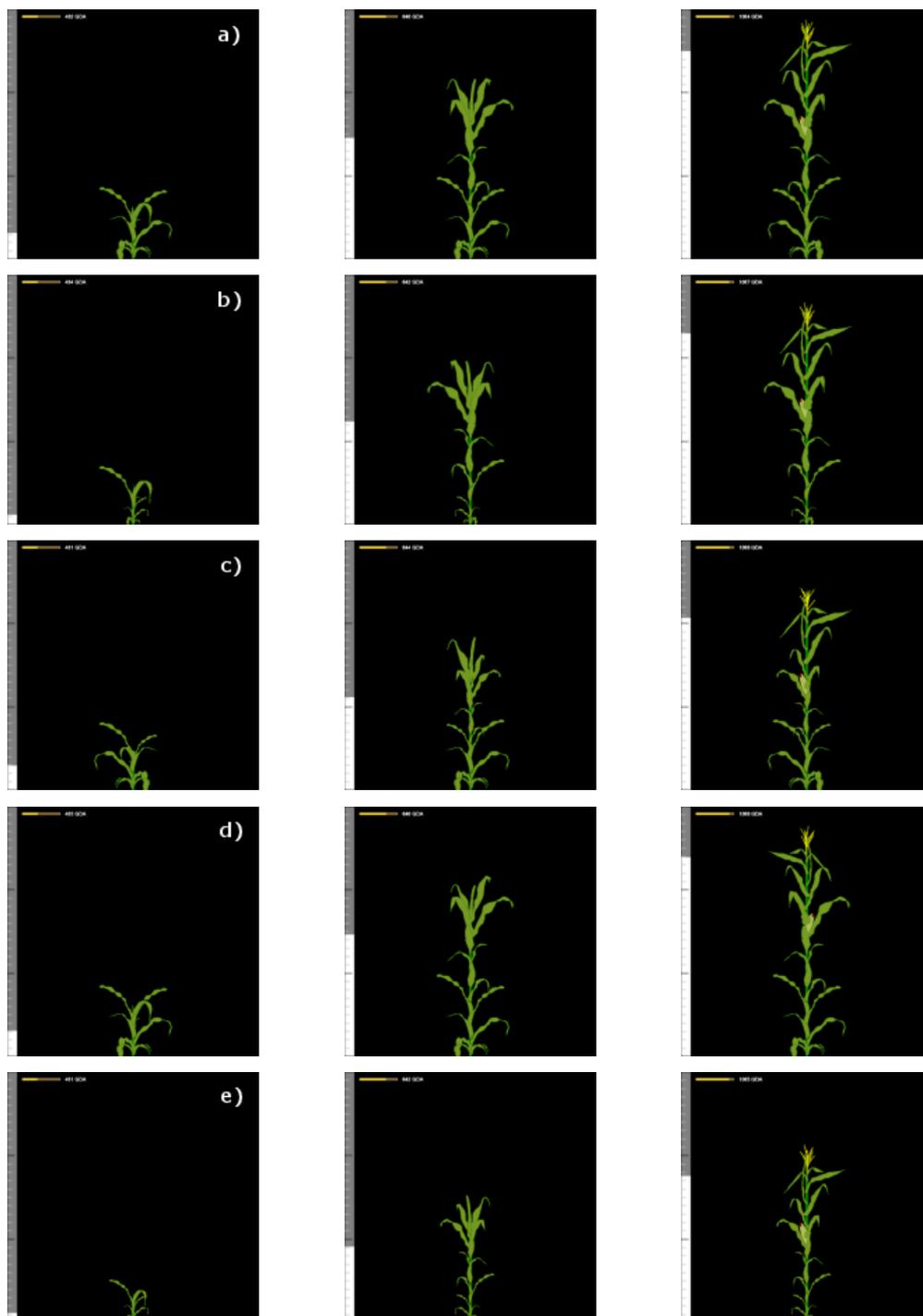
**Figura 10.** Simulação: exemplo de imagem final da animação de uma planta de milho, exibindo a planta em si, a escala graduada demarcando a altura da planta, e a barra de progressão da soma térmica.

O desenvolvimento de uma classe genérica, em SVG, para geração de gráficos de linhas e colunas permitiu a apresentação de gráficos dinâmicos para IAF e altura de plantas (Figura 11). Estes, por sua vez, também eram animados, sendo que sua evolução acompanhava a animação da planta, representando, de forma instantânea, os resultados da simulação. Em ambos os gráficos uma linha vertical tracejada indicava o valor de soma térmica atingido pela planta, de acordo com o estágio fenológico escolhido.



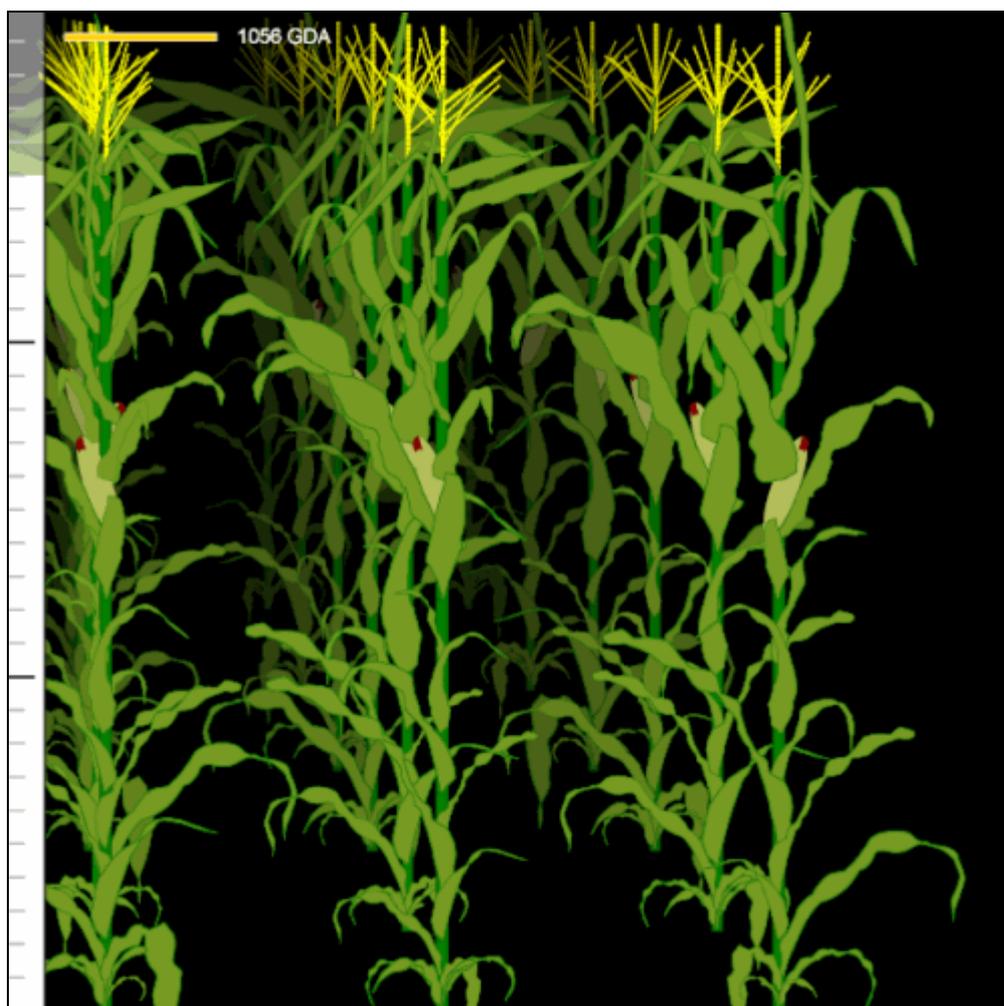
**Figura 11.** Gráficos de linhas exibindo a animação da evolução do IAF (acima) e da altura de plantas (abaixo) em função da soma térmica.

Na Figura 12 são ilustrados os resultados obtidos entre diferentes simulações, executadas variando-se o nível de déficit hídrico aplicado em cada um dos extratos. As situações foram as seguintes: (i) sem déficit hídrico; (ii) déficit severo no 1º extrato; (iii) déficit severo no 2º extrato; (iv) déficit severo no 3º extrato e; (v) déficit severo em ambos os extratos. Para cada situação, foram capturadas imagens, durante a simulação, dos instantes em que a planta atingia os estádios V7, V14 e V21.



**Figura 12.** Resultados de diferentes simulações, obtidos através da aplicação das seguintes situações: (a) sem déficit hídrico; (b) déficit severo no 1º extrato; (c) déficit severo no 2º extrato; (d) déficit severo no 3º extrato e; (e) déficit severo em todos os extratos. Para cada situação, da esquerda para a direita, as imagens referentes aos estádios V7, V14 e V21.

Modificando as opções de espaçamento entre linhas e entre plantas na linha, a simulação exibe a imagem de um dossel de plantas (Figura 13), procurando dar a impressão de profundidade, apesar da característica do desenho vetorial de possuir somente duas dimensões.



**Figura 13.** Simulação de um dossel de plantas, ilustrando o resultado obtido ao se alterar as opções de espaçamento entre linhas (1,0 m) e entre plantas na linha (0,5 m).

## 5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que: é possível simular graficamente o crescimento de plantas de milho através das tecnologias selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho – PHP, MySQL e SVG, a partir de um banco de dados com informações de soma térmica diária, informações de comprimento dos entrenós, além de representações vetoriais de todas as folhas da planta, em diferentes momentos do ciclo.

Utilizando as tecnologias selecionadas e armazenando os arquivos criados para a simulação devidamente em um servidor *web*, pode-se disponibilizar a simulação em forma de *site* da Internet, permitindo assim que a simulação seja acessada e os resultados sejam exibidos em qualquer computador que esteja conectado à Internet.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADOBE SVG. Scalable Vector Graphics: SVG zone – Web Center Features – SVG – Manual Download. Disponível em: <<http://www.adobe.com/svg/viewer/install/main.html>>. Acesso em: 26 abr. 2006.
- ANEWALT, K. & ACKERMANN, E. Open source, freeware, and shareware resources for web programming. Journal of Computing Sciences in Colleges, v.20, Issue 3, p.198-200, february, 2005.
- APACHE. Apache HTTP Server Project. Disponível em: <<http://httpd.apache.org>>. Acesso em 26 abr. 2006.
- ASSIS, J. P. de. **Modelo estocástico para estimação de produtividade de milho em Piracicaba**. 2004. 192f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, set. 2004.
- BERGAMASCHI, H. Fenologia. In: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia – Disciplinas de Graduação – Relações Clima-Planta. Porto Alegre: UFRGS. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/agropfagrom/disciplinas/502/fenolog.doc>>. Acesso em 8 fev. 2006.
- BERLATO, M.A. & MATZENAUER, R. Teste de um modelo de estimativa do espigamento do milho com base na temperatura do ar. **Agronomia Sulriograndense**, 22(2):243-259, 1986.
- BISHOP, C. Usability Issues of Multiple-Layer Display Technology. University of Canterbury. Computer Science & Software Engineering Post-graduate Conference 2005. september, 2005.

- BUTTIGNON, K. et al. **Uma Reflexão sobre o Ensino a Distância, via Internet, no Brasil**. Guaratinguetá, 2002. 63p. Monografia (Especialização em Informática Empresarial) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.
- CANAL, I.N. & MIELNICZUK, J. Parâmetros de absorção de potássio em milho (*Zea mays* L.), afetados pela interação alumínio – cálcio. **Ciência e cultura**, v 35, n.3, p. 336-340, 1983.
- CARLESSO, R. et al. **Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.20, n.1, p.15-23, jan, 2000.
- CARLESSO, R. Manejo da irrigação por aspersão visando a redução de custos de produção e de energia. In: Carlesso et al. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, p.59-73, 2001.
- CASTAGNETTO, J. et al. **Professional PHP Programming**. Wrox Press, 909p, 1999.
- COSTA, C. N. et al. Efeitos do alumínio na morfologia de raízes e na cinética de absorção de potássio em milho. Rev. Bras. De Agrociência, v.6, n.3, p.251-253, set-dez, 2000.
- DE FINA, A. L. & RAVELO, A. C. **Climatologia y fenologia agrícolas**. Buenos Aires: Universitaria, 1973. 281p.
- DELLAI, J. et al. Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p. 1269-1274, 2005.
- DIDONET, A. D. et al. Temperatura base para os subperíodos de desenvolvimento de híbridos de milho. In: **Reunião Técnica Anual do Milho, 43 e Reunião Técnica Anual do Sorgo, 26, 1998, Veranópolis**. Anais, 1998. p. 100-101.

- DIDONET, A. D. et al. **Crescimento e desenvolvimento de milho: acúmulo de massa seca do grão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 3, p. 447-456, mar. 2001.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: Carlesso et al. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, p.59-73, 2001.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Milho: Estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ-USP-LPV, 2003. 208p.
- FANCELLI, A. L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. In: POTAFOS Brasil – Presentations. Disponível em < [http://www.ppic.org/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/7ac877864218d46983256c70005790fc/\\$FILE/Anais%20Antonio%20Luiz%20Fancelli.doc](http://www.ppic.org/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/7ac877864218d46983256c70005790fc/$FILE/Anais%20Antonio%20Luiz%20Fancelli.doc) >. Acesso em 18 abr. 2006.
- FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. de. **Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 2004. 68f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2004.
- FORSTHOFER, E. L. et al. Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.5, p.1341-1348, 2004.
- FRESNO-FERNÁNDEZ, V. et al. “eXitor: A tool for the assisted edition of XML documents”. Seventh International Conference on Electronic Publishing. Pp 308-315. Guimarães 25-28 June 2003. University of Minho, Portugal.

- GADIOLI, J. L. et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. *Scientia Agricola*, v.57, n.3, p.377-383, jul./set. 2000.
- GRÖNE, B. et al. Architecture recovery of Apache 1.3 – A case study. In: *Proceedings of International Conference on Software Engineering Research and Practice*, CSREA Press, 2002.
- HARGER, N. et al. **Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho**. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.28, n.1, p.39-44, jan-mar, 2007.
- HTML-KIT. Chami.com – HTML Kit for more than editing HTML. Disponível em: <<http://www.chami.com/html-kit>>. Acesso em 24 abr. 2006.
- JANEV, N. Opportunities for Implementation of Web Interface in Database Works in the Mining Industry. 2003. *St. Ivan Rilski Annual*. Volume 3, pp. 185-190.
- JUNIOR, F. C. Programando para a Web com PHP/MySQL. Disponível em: <[http://ci.ufpel.edu.br/treinamento/apostilas/programacao/php/php\\_manual.pdf](http://ci.ufpel.edu.br/treinamento/apostilas/programacao/php/php_manual.pdf)>. POLI – UPE – Engenharia Eletrônica. Acesso em 25 abr. 2006.
- LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p37-43, 1999.
- MATZENUER, R. Caracterização fenológica de cultivares de milho em avaliação no Estado do Rio Grande do Sul. In: **Reunião Técnica Anual do Milho, 42 e Reunião Técnica do Sorgo, 25, 1997, Erechim**. Anais, 1997. p. 334-341.

MICROSOFT. Microsoft Brasil. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/brasil>>. Acesso em 24 abr. 2006.

MONDRAGÓN, V. E. C. Estimativa da produtividade da cultura do milho em Minas Gerais, baseada em variáveis climáticas e em tendência tecnológica. Viçosa, 1990. 68p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

MOZILLA. The Mozilla Project. Disponível em: <<http://www.mozilla.org>>. Acesso em 24 abr. 2006.

MYSQL AB. MySQL AB. Disponível em: <<http://www.mysql.com/company>>. Acesso em 24 abr. 2006.

NESMITH, D. S. & RITCHIE, J. T. Short – and long – term responses of corn to a pre anthesis soil water deficit. Agron. J., Madison, v.84, p.107-113, 1992.

NETCRAFT. Netcraft: April 2006 Web Server Survey. Disponível em: <[http://news.netcraft.com/archives/2006/04/06/april\\_2006\\_web\\_server\\_survey.html](http://news.netcraft.com/archives/2006/04/06/april_2006_web_server_survey.html)>. Acesso em 26 abr. 2006.

NICOLAI, M. Desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.) submetida a aplicação de herbicidas pós-emergentes, em diferentes situações de manejo. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2004.

PEITER, M. X. et al. **Programação do manejo da irrigação de milho via modelo de simulação**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.19, n.1, p.---, set, 1999.

PHP. Hypertext Preprocessor. Disponível em <<http://www.php.net> >. Acesso em 26 abr. 2006.

PHP STATS. PHP Usage Stats. Disponível em <<http://www.php.net/usage.php>>. Acesso em 26 abr. 2006.

PÖTTKER, D. et al. **Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto**. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.4, p.1015-1020, jul-ago, 2004.

PSP. Corel Paint Shop Pro X. Disponível em: <<http://www.corel.com/servlet/Satellite?pagename=Corel3/Products/Display&pid=1047025487586>>. Acesso em 24 abr. 2006.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames : Iowa University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 21p, 1993. (Special Report 48).

ROMANO, M. R. Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante – Parâmetros para modelos de crescimento. 2005. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2005.

SILVA, E. C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre latossolo vermelho. Rev. Bras. De Ciência do Solo, v.29, p.353-362, 2005.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 2003. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003.

SOLER, C. M. T. **Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”**. 2004. 132f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2004.

SQL MANAGER. SQL Manager – EMS SQL Manager for MySQL. Disponível em: <<http://sqlmanager.net/products/mysql/manager>>. Acesso em 27 abr. 2006.

STICKLER, F.C., WEARDEN, S., PAULI, A.W. Leaf area determination in grain sorghum. **Agron. J.**, Madison, v.64, p.13-15, 1961.

SVG FACTORY. SVG Factory. Disponível em: <<http://www.svgfactory.com>>. Acesso em 27 abr. 2006.

W3C. World Wide Web Consortium: W3C HTML Home Page. Disponível em: <<http://www.w3.org/MarkUp>>. Acesso em 26 abr. 2006.

W3C SVG. World Wide Web Consortium: Scalable Vector Graphics (SVG). Disponível em: <<http://www.w3.org/Graphics/SVG>>. Acesso em 26 abr. 2006.

W3C SVG ABOUT. World Wide Web Consortium: About Scalable Vector Graphics (SVG). Disponível em: <<http://www.w3.org/Graphics/SVG/About.html>>. Acesso em 26 abr. 2006.

ZIMMERMANN, F. L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo.** 2001. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, 2001.