

**JAIME DANIEL CORRÊA MENDES**

**ESTIMANDO COBERTURA VEGETAL POR ANÁLISE DE IMAGENS**

Monografia de Graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

**JAIME DANIEL CORRÊA MENDES**

**ESTIMANDO COBERTURA VEGETAL POR ANÁLISE DE IMAGENS**

Monografia de Graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Área de Concentração:

Visão Computacional

Orientador:

Professor Pedro Castro Neto

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

2008

**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos  
da Biblioteca Central da UFLA**

Mendes, Jaime Daniel Corrêa

Estimando Cobertura Vegetal por Análise de Imagens/ Jaime Daniel Corrêa Mendes.  
Lavras – Minas Gerais, 2008. 57 p. : il.

Monografia de Graduação – Universidade Federal de Lavras. Departamento de  
Ciência da Computação.

1. Processamento de Imagens. 2. Arquitetura Orientada a Serviço. 3. Radiação  
Solar. 4. Cultivo Consorciado. 5. Biodiesel. I. Mendes, J.D.C. II. Universidade Federal de  
Lavras. III. Estimando Cobertura Vegetal por Análise de Imagens

**JAIME DANIEL CORRÊA MENDES**

**ESTIMANDO COBERTURA VEGETAL POR ANÁLISE DE IMAGENS**

Monografia de Graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

*Aprovada em 19 de junho de 2008*

---

Professor Bruno de Oliveira Schneider

---

Professor Thiago de Souza Rodrigues

---

Professor Pedro Castro Neto  
(Orientador)

---

Professor André Vital Saúde  
(Co-Orientador)

---

Professor Antônio Carlos Fraga  
(Co-Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

2008



*Dedico este trabalho, primeiramente, aos meus pais pelo ágape e pelo esforço que fizeram para que eu atingisse meus objetivos. A eles agradeço pelo que sou hoje. Aos meus Mestres Professor Pedro Castro Neto, Professor Antônio Carlos Fraga e Professor André Vital Saúde, que me mostraram como superar e lutar contra os desafios na vida pessoal, profissional e acadêmica. À Aline Maritan Amâncio, por todo carinho e amor, sofrendo juntamente com os desafios que apareciam sempre nos momentos mais difíceis. E, finalmente, dedico a todos que me fortaleceram e me tornaram e competente para realizar todo meu trabalho acadêmico.*

## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais pela oportunidade que me deram para retribuir tudo o que me ensinaram, aos meus amigos pelo desafio de sempre aprender a acreditar e ter confiança, pois amigos apenas são e a todos os colegas e familiares que me apoiaram nesta jornada. Agradeço, em especial:

A Aline Maritan Amâncio, com quem lutei junto para chegarmos a um objetivo;

A Miller Rabello de Brito e Gabriel Borges de Vasconcelos, com quem compartilhei uma excelente parte da minha vida e, mesmo distantes, sei que posso chamá-los de amigos;

A Antônio Rafael Santana, Claudiane Maria Oliveira e Diêgo Teixeira Nogueira, que sempre foram parceiros na jornada acadêmica e com certeza ficará uma eterna amizade; a Nestor Vicente Soares Neto e Nemésio Freitas Duarte Filho, com quem dividi alegrias e dificuldades sempre que chegávamos em casa depois de um longo dia de UFLA ou uma boa confraternização e à Luci Aparecida Nicolau que me apoiou e deu suporte para encarar as barreiras computacionais e compreendê-las de forma otimista;

A Ronaldo Aparecido da Silva e João Paulo de Araújo, que foram verdadeiros amigos e parceiros em todo conhecimento construído e adquirido acadêmica e profissionalmente;

Ao Major Antônio Claret dos Santos e ao Cabo Edson Machado Júnior pela primeira oportunidade e companheirismo que encontrei na vida acadêmica;

A todos os Irmãos da Ordem DeMolay que partilharam dessa jornada e à turma 2004s1 da Ciência da Computação;;

Aos Professores da Universidade Federal de Lavras, em especial, Professor André Vital Saúde (DCC), Antônio Carlos Fraga (DAG) e Pedro Castro Neto (DEG) e aos Funcionários da Universidade Federal de Lavras, em especial, Angela Maria Silva Gonçalves e Deivson Henrique Rodrigues de Almeida;

Aos meus amigos, familiares, colegas e conhecidos que aqui não mencionei e que sabem que tiveram sua importância na minha vida. Sinceros Agradecimentos.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Biodiesel</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Sistema de Cultivo</b>	<b>6</b>
3.1	Plantas Oleaginosas / Matéria Prima . . . . .	6
3.2	Crescimento Vegetativo . . . . .	7
3.3	Cultivo Consorciado . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Radiação Solar</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Sistema de Referência</b>	<b>12</b>
5.1	Escala e Sistemas de Coordenadas . . . . .	12
<b>6</b>	<b>Processamento Digital de Imagens</b>	<b>13</b>
6.1	Definição Matemática de Imagem . . . . .	13
6.2	Imagem em Escala de Cinza . . . . .	14
6.3	Imagem Digital . . . . .	14
6.4	Espaços de Cores . . . . .	15
6.4.1	Espaço de Cor RGB . . . . .	16
6.4.2	Espaço de Cor LAB . . . . .	16
6.5	Aquisição de Imagens . . . . .	17
6.6	Pré-Processamento . . . . .	18
6.6.1	Métodos no domínio espacial . . . . .	18
6.7	Segmentação . . . . .	20
6.7.1	Detecção de Linhas . . . . .	20

6.7.2	Detecção de Bordas . . . . .	21
6.7.3	Operadores de Gradiente . . . . .	21
6.7.4	Limiarização . . . . .	22
6.7.5	Segmentação orientada a regiões . . . . .	22
6.8	Análise de Imagens . . . . .	23
6.9	Morfologia Matemática . . . . .	23
6.9.1	Erosão . . . . .	25
6.9.2	Dilatação . . . . .	25
6.9.3	Abertura . . . . .	26
6.9.4	Fechamento . . . . .	26
6.9.5	Gradiente morfológico . . . . .	26
6.9.6	Segmentação por Watershed . . . . .	27
6.9.7	Watershed Clássico . . . . .	27
6.9.8	Watershed por marcadores . . . . .	27
<b>7</b>	<b>Desenvolvimento de Software</b>	<b>29</b>
7.1	Modelagem de Sistemas . . . . .	29
7.2	Padrões de Projeto . . . . .	30
7.2.1	MVC - Model, View, Controller . . . . .	31
7.3	Programação para a WEB . . . . .	31
<b>8</b>	<b>Material e Métodos</b>	<b>33</b>
8.1	Material . . . . .	33
8.1.1	Área Experimental . . . . .	33
8.1.2	Hardware e Software . . . . .	33
8.1.3	Câmeras digitais . . . . .	34
8.2	Métodos . . . . .	34
8.2.1	Aquisição de Imagens em Campo . . . . .	34
8.2.2	Registro do Experimento . . . . .	35
8.2.3	O Framework Iguassu . . . . .	35
8.2.4	Análise das Imagens do Experimento . . . . .	40
8.2.5	Geração de Relatório . . . . .	41

<b>9</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>42</b>
9.1	Aquisição e Processamento de Imagens . . . . .	42
9.1.1	Uso do Espaço de Cor LAB . . . . .	42
9.1.2	As técnicas de Morfologia Matemática . . . . .	43
9.1.3	Sistema de Referenciamento . . . . .	45
9.2	Desenvolvimento de Software . . . . .	46
9.2.1	Validação do Framework . . . . .	46
9.2.2	Adversidades de Implantação do Iguassu . . . . .	46
9.2.3	Criação de um Banco de Dados dos Experimentos . . . . .	47
9.2.4	Desenvolvimento da Aplicação . . . . .	47
9.2.5	Modularização . . . . .	50
9.2.6	Processamento Digital de Imagens em Java . . . . .	50
9.3	Relação de custos . . . . .	51
<b>10</b>	<b>Conclusão</b>	<b>52</b>
10.1	Conclusão . . . . .	52
10.2	Trabalhos Futuros . . . . .	53

# Lista de Figuras

4.1	Balanço de Radiação de ondas curtas e de ondas longas à superfície. . . . .	10
4.2	Penetração de radiação direta e difusa no dossel vegetativo. . . . .	10
6.1	Representação matemática de uma Imagem. . . . .	13
6.2	O conjunto de quadrados adjacentes E. . . . .	14
6.3	Uma aproximação (zoom) para exemplificação dos pixels. . . . .	15
6.4	Espaço de Cor RGB, disponível em <a href="http://www.ciadopixel.com/?p=11">http://www.ciadopixel.com/?p=11</a> e acessado em 22 de maio de 2008. . . . .	16
6.5	Espaço de Cor LAB, disponível em <a href="http://www.ciadopixel.com/?p=11">http://www.ciadopixel.com/?p=11</a> e acessado em 22 de maio de 2008. . . . .	16
6.6	Representação de objeto e fundo de uma imagem. . . . .	24
6.7	Conectividade $\Gamma_4$ e $\Gamma_8$ . . . . .	25
6.8	Exemplifica as operações de erosão, dilatação, abertura e fechamento. [Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 1992)] . . . . .	26
6.9	Passos da operação de watershed, disponível em <a href="http://cmm.ensmp.fr/~beucher/wtshed.html">http://cmm.ensmp.fr/~beucher/wtshed.html</a> e acessado em 26 de maio de 2008 . . . . .	28
7.1	Aplicação do Padrão MVC na WEB . . . . .	31
8.1	Método utilizado para capturar as imagens em campo. . . . .	35
8.2	Uso comum de frameworks MVC para a Web. Organização das classes de controle no servidor. . . . .	36
8.3	Arquitetura do Framework Iguassu. . . . .	37
8.4	Arquitetura do Framework Iguassu, com destaque para a camada cujo código não é gerado automaticamente. . . . .	39

8.5	Inserção dos marcadores para segmentar a imagem e o resultado da operação. . . . .	40
8.6	Resultado da Segmentação por Watershed por marcadores da Figura 8.5. . . . .	41
9.1	Imagem original e realce do objeto de referência (papel sulfite), visualizando apenas a componente <i>b</i> . . . . .	43
9.2	Segmentação da imagem 9.1. . . . .	43
9.3	Marcadores em uma das imagens do experimento. . . . .	44
9.4	Segmentação da imagem 9.3 em níveis de cinza. . . . .	45
9.5	Segmentação da imagem 9.3 na forma binária. . . . .	45
9.6	Diagrama de Classes do sistema desenvolvido. . . . .	48
9.7	Tela de Inserção do Experimento. . . . .	48
9.8	Tela de Inserção das Imagens capturadas em campo. . . . .	49
9.9	Tela de Organização das Análises de Imagens. . . . .	49
9.10	Tela de Geração do Relatório do Experimento. . . . .	50

## **Estimando Cobertura Vegetal por Análise de Imagens**

Os biocombustíveis tem adquirido grande notoriedade e investimentos por partes governamentais e instituições de pesquisa por apresentarem-se como ótima alternativa aos combustíveis não-renováveis, principalmente devido aos seus benefícios econômicos, sociais, ambientais, tecnológicos e estratégicos. Devido ao fato de, a principal matéria-prima ser oriunda de plantas oleaginosas e permitir cultivos em consórcio com outras plantas, essas estão sendo largamente exploradas em sistema de agricultura familiar cujo acesso a novas tecnologias não é muito explorado. Com isso, para aliar necessidade, oportunidade e tecnologia, o presente trabalho propõe uma alternativa para analisar a radiação solar, um dos principais fatores na otimização no uso da terra, através de processamento de imagens digitais, gerenciado por um software desenvolvido sobre arquitetura orientada a serviço, o que permitirá o incremento de novas funcionalidades e serviços oferecidos pela aplicação e, além disso, permitir consultorias mais qualificadas na área de biodiesel, sendo um dos papéis deste software auxiliar na tomada de decisão nas atividades de campo.

**Palavras-Chave:** Processamento de Imagens; Arquitetura Orientada a Serviço; Radiação Solar; Cultivo Consorciado; Biodiesel.

## **Estimating Plant Coverage by Image Analysis**

Biofuels have gained great fame and investments from government and research institutions because they're presenting as a great alternative to non-renewable fuels, mainly due to its economic, social, environmental, technological and strategic benefits. Because the main raw material is derived from oil seeds, what allows crops in consortium with other plants, they are being widely exploited in family farming system whose access to new technologies is not so exploited. To combine the need, the opportunity and the technology, this paper proposes an alternative to examine solar radiation, one of the main factors to optimize the use of soil, through digital image processing, managed by a software developed over a service oriented architecture what will allow the increment of new features and services offered by this application and, moreover, allowing qualified consultants in biodiesel area, using one of the roles of this software that is help decision-making in field activities.

**Keywords:** Images Processing; Service Oriented Architecture; Solar Radiation; Crop Rotation; Biodiesel.

# Capítulo 1

## Introdução

O Biodiesel é um combustível renovável alternativo derivado de óleos vegetais, como o de girassol, mamona, soja, canola e demais oleaginosas, ou de gorduras de animais. Usado em motores à explosão por compressão, emite menos poluentes que o óleo combustível derivado de petróleo. As pesquisas desenvolvidas para a produção de Biodiesel requerem uma cooperação de diversas áreas do conhecimento visando a melhorias, principalmente no setor tecnológico, proporcionando maior qualidade e quantidade do produto final (PARENTE, 1983).

No ano de 2005, o Brasil estabeleceu o programa nacional de produção e uso do Biodiesel, gerenciado por uma comissão executiva interministerial, cuja produção é estratégica para o Brasil, pois reduzirá gastos com a importação de petróleo e óleo diesel, podendo ser um importante produto para a independência energética brasileira, gerando emprego, renda e inclusão social no campo, acrescida a possibilidade de exportação (BRASIL, 2005).

A principal fonte de matéria-prima para o Biodiesel é originada das plantas oleaginosas, produzidas em grandes, médias e pequenas propriedades. Estas, em geral no sistema de agricultura familiar, remetendo um maior esforço para os produtores em atender à resolução da Agência Nacional do Petróleo (ANP) que requer a inclusão de 3% de Biodiesel ao diesel mineral, a partir de julho de 2008, representando uma nova e importante opção de renda para a agricultura e neste contexto o estado de Minas Gerais se destaca por ser o segundo maior consumidor de óleo diesel do Brasil (FREIRE, 2008).

Devido a essa demanda e, de acordo com a ordem do dia, exibida pelos principais jornais brasileiros, governos internacionais criticam a política do governo brasileiro cujo investimento, aplicado na produção de Biodiesel em âmbito nacional, deveria ser destinado à produção de alimentos (G1, 2008).

Uma prática utilizada principalmente nas regiões tropicais é o cultivo consorciado, que pode envolver cereais, leguminosas e oleaginosas potenciais para a produção de Biodiesel. Pelo fato de as

leguminosas serem menos competitivas, o consórcio de oleaginosas e leguminosas podem beneficiar tanto a dieta quanto equilibrar a receita econômica do produtor (AZEVEDO *et al.*, 1999).

Para organizar esta competição pelo solo, uma das variáveis a ser trabalhada para melhorar o seu uso é a otimização do aproveitamento de radiação solar, que é a principal fonte de energia para as plantas, além de influenciar diretamente o rendimento da cultura associado ao arranjo das plantas, observando o objetivo do produtor, a tecnologia aplicada, a época de semeadura e a duração da estação de crescimento de cada espécie. A superfície foliar da cultura é o principal fator do processo fotossintético e, conseqüentemente, da taxa de crescimento e desenvolvimento da cultura. Assim a área de folhas da cultura é um indicativo de sua capacidade de aproveitamento de radiação solar e, conseqüentemente, de sua capacidade de produção de assimilados. (NETO *et al.*, 2004a).

A medida de radiação solar geralmente é feita em estações meteorológicas ou com a utilização de satélites, o que evidencia o difícil acesso a equipamentos para aquisição de dados referentes à radiação, a fim de incrementar a organização de sua cultura para uma melhor produção, quando comparado à renda obtida por pequenos e médios produtores (CEBALLOS; BOTTINO, 2004; ZANETTI *et al.*, 1999).

O desenvolvimento tecnológico tem disponibilizado acesso a equipamentos de aquisição e processamento de imagens de alto desempenho e facilidade de uso, que leva o presente trabalho a propor uma alternativa à avaliação da radiação solar em uma área de cultivo por processamento de imagens digitais, captadas com câmeras digitais, o que apresenta uma alternativa aos altos custos das ferramentas de análise de radiação solar.

Para o processamento dessas imagens, este projeto objetiva especificamente: desenvolver um software de processamento de imagens que permite o gerenciamento das informações obtidas no experimento. A base para esse desenvolvimento é a necessidade de aplicação de tecnologia e automação nos projetos e atividades do Núcleo de Estudos de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel (G-Óleo) da Universidade Federal de Lavras que já utiliza alguns aplicativos gerenciais. Além da pequena oferta de softwares com foco na tomada de decisão no meio agrícola com ferramentas de fácil utilização, os aplicativos utilizados pelo G-Óleo apresentam pouca ou nenhuma integração.

Com esta idéia de comunicação entre as aplicações existentes e as que poderão surgir, outro objetivo específico é desenvolver um aplicativo de processamento de imagens usando uma arquitetura orientada a serviços (SOA), permitindo acesso remoto (via WEB), além de testar e validar o framework proposto para este trabalho. Isso irá responder à grande demanda remota por informações e permitirá, aos poucos que, o G-Óleo caminhe para uma solução integrada de software para suas ne-

cessidades. Da mesma forma, privilegiou-se a modularização para utilizar os componentes em outros dispositivos que não apenas computadores e a união e integridade das informações centralizadas em um servidor, o que permite o gerenciamento dos serviços disponíveis pela aplicação.

Enfim, o desenvolvimento dessa aplicação permitirá adicionar e melhorar serviços e automação para as aplicações utilizadas e servirá como ponto de partida para o desenvolvimento de ferramentas integradas de gerenciamento da cadeia de produção do Biodiesel.

## Capítulo 2

# Biodiesel

Biodiesel pode ser entendido como uma fonte renovável e alternativa de energia, que substitui as fontes não renováveis como, por exemplo, o petróleo. Essa energia é proveniente de biomassa vegetal, principalmente de sementes de plantas oleaginosas, tais como pinhão manso, algodão, girassol, mamona, nabo forrageiro, soja, entre outras (PARENTE, 1983). Destacam-se ainda como matérias-primas para a produção de biodiesel as gorduras animais como o sebo bovino, óleo de peixe, óleo de mocotó, banha de porco, óleo de soja saturado, entre outros. Essas poderão ser fonte de renda ao serem utilizadas na produção de energia, gerando emprego no campo, tanto na produção animal quanto na agrícola, ao cultivar plantas para alimentação desses animais. Estudos comprovam que o biodiesel pode reduzir em 78% as emissões de gás carbônico, em 90% as emissões de fumaça e, praticamente, eliminar as emissões de óxido de enxofre, o que lhe confere grandes benefícios ambientais.

A produção de biodiesel é estratégica para o Brasil, pois reduzirá gastos com a importação de petróleo e óleo diesel, podendo ser um importante produto para a independência energética brasileira, gerando emprego, renda e inclusão social no campo, além da possibilidade de exportação, principalmente para países que tenham necessidade de ajustamento ambiental.

Atualmente, a elevação excessiva dos preços do barril de petróleo justifica a ação governamental de geração de tecnologia para a produção de biodiesel como ponto altamente estratégico para o Brasil, sendo determinado pelo Governo que, a partir de julho de 2008, a comercialização do biodiesel seja misturado ao óleo diesel na proporção de 3% em base de volume (FREIRE, 2008).

As grandes motivações para a produção de biodiesel são os benefícios econômicos, sociais, ambientais, tecnológicos e estratégicos que esse biocombustível pode trazer.

O desenvolvimento regional e a inclusão social ocorrem especialmente via geração de emprego e renda e devem ser os principais orientadores das ações direcionadas do biodiesel, o que implica dizer

que a produção da matéria prima deve ser feita de forma descentralizada e não excludente em termos tecnológicos e das oleaginosas utilizadas. A produção das oleaginosas, especialmente, pode e deve ser feita via sistema de agricultura familiar, fornecendo uma importante alternativa para diminuição dos problemas sociais (EPTV, 2008).

O processo industrial para o beneficiamento das oleaginosas, extração e beneficiamento do óleo vegetal e sua posterior transformação em biodiesel, bem como a geração de seus co-produtos devem ser realizados o mais próximo possível das áreas produtoras, pois o grande obstáculo para a produção do biodiesel é o custo e a logística que envolvem a matéria-prima, como armazenamento e transporte. Além disto, a localização próxima às áreas produtoras favorece o desenvolvimento regional, através de geração de renda e emprego no processo industrial.

## Capítulo 3

# Sistema de Cultivo

Devido ao fato das plantas oleaginosas serem a principal fonte de matéria-prima para o Biodiesel, este capítulo apresenta conceitos que se referem à sua fisiologia de forma a justificar o seu uso na produção do biocombustível, principalmente devido ao consórcio com plantas alimentares.

Dessa forma, os principais fatores que influenciam na escolha do arranjo de plantas no sistema de cultivo são: características das espécies ou cultivares utilizadas, objetivo do produtor, nível de tecnologia a ser aplicada, época de semeadura e duração da estação de crescimento de cada espécie.

### 3.1 Plantas Oleaginosas / Matéria Prima

Oleaginosas são plantas que produzem, através de seus frutos ou sementes, uma determinada porcentagem de óleo, hoje largamente utilizadas como matéria-prima na produção dos biocombustíveis (PARENTE, 1983).

A importância do sistema de produção deve-se ao fato de que cerca de 70% do custo de produção de biodiesel é representado pelo valor da matéria-prima, o que faz com que o investimento em tecnologia agrícola seja essencial para a consolidação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PETRÓLEO, 2005).

São exemplos de plantas oleaginosas utilizadas na produção de biocombustíveis: mamona, pinhão manso, canola, girassol, macaúba, nabo forrageiro e crambe.

Os constantes estudos em produção de plantas oleaginosas apresentam diversas culturas, cada qual com suas vantagens e desvantagens, que podem ser aplicadas de acordo com a necessidade de cada área, produtor e objetivo.

## 3.2 Crescimento Vegetativo

Para (CASTRO, 1987), um vegetal de interesse econômico, como uma planta de cultivo anual em crescimento, apresenta diferentes fases. No início, como depende de reservas contidas nas sementes, o crescimento é lento; posteriormente, após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, a planta tem um rápido crescimento através da retirada de água e de nutrientes do substrato onde está e através de sua atividade fotossintética. Após atingir o tamanho definitivo, entra para a fase de senescência, isto é, final, resultando em um decréscimo no acúmulo de matéria seca.

O rendimento da cultura é influenciado diretamente pela intercepção da radiação solar e pelo arranjo das plantas, que pode ser manipulado por alterações na densidade do plantio, espaçamento entre linhas, distribuição de plantas na linha, variabilidade entre plantas ou a utilização de outras espécies vegetais na mesma área (NETO *et al.*, 2004a).

Um exemplo da importância do túnel de crescimento de uma cultura, por exemplo a mamona, é apresentado por (MONTEIRO *et al.*, 2004), mostrando que há possibilidade de desenvolver uma equação para o planejamento do cultivo e conduzir corretamente uma cultura consorciada.

## 3.3 Cultivo Consorciado

A definição de cultivo consorciado, segundo (CHAGAS *et al.*, 1984), refere-se a duas ou mais culturas com diferentes ciclos e arquiteturas vegetativas, exploradas concomitantemente, no mesmo terreno. Elas não são necessariamente semeadas ao mesmo tempo, mas, durante apreciável parte de seus períodos de desenvolvimento, há uma simultaneidade, forçando uma interação entre elas.

Pelo fato de existir competição entre essas culturas, o tempo e o espaçamento são fundamentais na organização de um cultivo em consórcio, que, de acordo com (CARVALHO, 2005), são classificados em:

- Mistos: semeiam-se duas ou mais culturas simultaneamente na mesma área, sem organizá-las em fileiras distintas;
- Intercalados: semeiam-se duas ou mais culturas simultaneamente na mesma área, em fileiras independentes e vizinhas;
- Em Faixas: semeiam-se duas ou mais culturas simultaneamente na mesma área, em faixas amplas que permitam um manejo independente, mas próximos o bastante para que as culturas possam interagir agronomicamente;

- Substituição: semeiam-se duas ou mais culturas em seqüência, na mesma área, plantando ou transplantando a segunda cultura antes da colheita da primeira, mas depois da fase reprodutiva desta.

O uso de cultivos consorciados visa principalmente ao aumento da renda de um produtor de pequeno porte, como agricultura familiar, com o objetivo de aumentar a produtividade de outras culturas, contribuindo com a subsistência deste pequeno produtor e até contribuir com a demanda por matéria-prima para a produção de biodiesel, gerando trabalhos e estudos no aprimoramento dos fatores e meios de produção. (CARVALHO, 2005)

Dados esses fatores, o interessante no uso de cultivos consorciados, em pequenas propriedades e com mão-de-obra suficiente, dá-se em regiões montanhosas e com empecilhos de mecanização, pelos seguintes fatores: permite uso mais intensivo da limitada área; diminui o risco de insucesso cultural; aumenta a produção vegetativa do solo contra erosão; permite melhor controle de plantas daninhas que o monocultivo; possibilita uso mais eficiente de mão-de-obra; possibilita a redução de incidência de pragas e doenças; possibilita, com freqüência, maiores lucros para o pequeno agricultor e oferece, com exploração de maior número de cultura na mesma área, maior diversidade de produtos alimentares para o pequeno agricultor e sua família. (CARVALHO, 2005)

Em um cultivo consorciado, os fatores de proximidade e interação das plantas e condições ambientais determinam o seu sucesso, pois há uma competição por espaço físico, luz, água e nutrientes, competições estas inter-específica (entre espécies diferentes) e / ou intra-específica (mesma espécie), forçando uma cultura a possuir a propriedade de se adaptar à redução da densidade de radiação que o consórcio recebe.

Visando esse aproveitamento da radiação solar na área de cultivo, os investimentos em consórcios, principalmente em pequenas propriedades, voltam-se para a utilização de plantas energéticas e alimentares, uma vez que sistemas envolvendo leguminosas e oleaginosas podem beneficiar a dieta e equilibrar a receita econômica do produtor (AZEVEDO *et al.*, 1999).

Para que estes sistemas agrícolas alcancem maior eficiência, torna-se necessário um estudo detalhado da interceptação da radiação solar nos diversos arranjos utilizados (NETO *et al.*, 2004a; NETO *et al.*, 2005; NETO *et al.*, 2004c; NETO *et al.*, 2004b). Estes trabalhos mostram a viabilidade de utilização de sistemas de agricultura consorciada para a produção de plantas alimentares e energéticas, sem necessidade de inclusão de novas áreas de cultivo.

## Capítulo 4

# Radiação Solar

Este capítulo apresenta a radiação solar como variável de grande importância no crescimento do cultivo, de forma a compreender que a sua interceptação pelo dossel vegetativo, isto é, a superfície foliar da cultura, e o arranjo do cultivo interferem diretamente no seu crescimento e desenvolvimento.

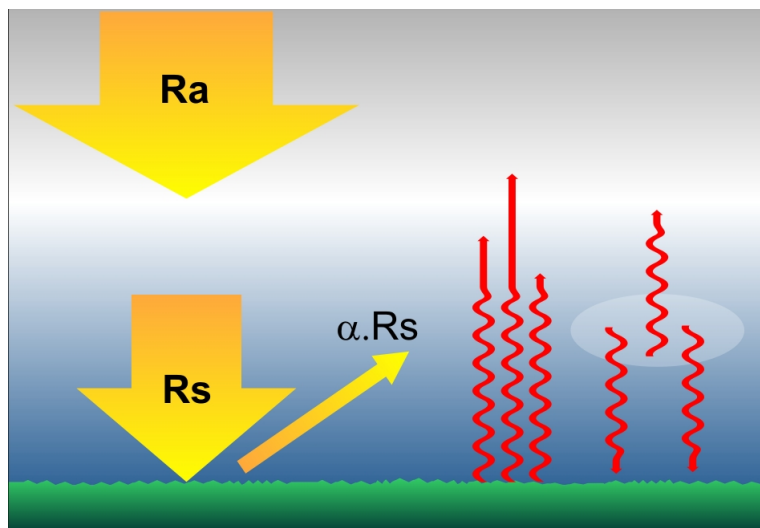
A radiação solar é considerada por (CURRY et al. 1975) apud (LIMA, 2002) como a principal fonte de energia para o ambiente, atuando com grande influência nos processos fisiológicos de uma cultura, principalmente crescimento e produtividade.

Pelo fato de a radiação solar possuir propriedade de onda eletromagnética (luz), existem diversos métodos para mensuração de sua interceptação em culturas que foram comparados por Adams e Arkin, apud (MARANI; EPHRATH, 1985), concluindo um grande consumo de tempo para a coleta de dados, além de requerer equipamentos de alto custo.

Para compreender melhor uma forma de quantificar a radiação solar absorvida pelo dossel vegetativo, (SEVERINO *et al.*, 2004) a descreve como o principal fator do processo fotossintético e consequentemente da taxa de crescimento e desenvolvimento da cultura, ou seja, maiores produtividades das culturas são obtidas quando o arranjo espacial das plantas promove um melhor aproveitamento da radiação solar.

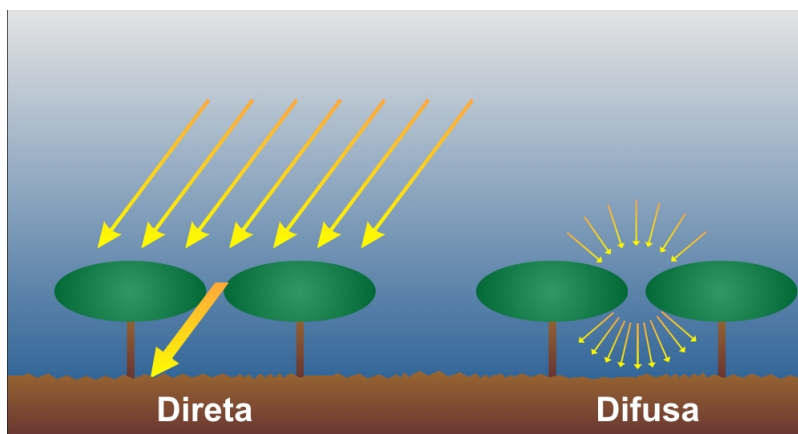
A radiação que chega à superfície, denominada radiação global, é composta por radiação direta e difusa, sendo parte dela refletida pela superfície e o restante absorvido.

A radiação absorvida é transformada em calor sensível (aquecimento) e calor latente (evaporação e evapotranspiração). A superfície emite radiação de ondas longas, sendo parte enviada para o espaço e parte absorvida pelos componentes da atmosfera, que emite parte da radiação de ondas longas de volta ao solo, como pode-se observar na Figura 4.1.



**Figura 4.1:** Balanço de Radiação de ondas curtas e de ondas longas à superfície.

A radiação incidente na superfície de uma folha será absorvida, refletida e transmitida por ela. Apesar do fato de a folha absorver cerca de 80% da radiação incidente, apenas 0,1% será utilizado pelos processos fotossintéticos. A Figura 4.2 apresenta a diferença de resposta da penetração de radiação direta e difusa.



**Figura 4.2:** Penetração de radiação direta e difusa no dossel vegetativo.

Um dossel organizado de forma a permitir a penetração de radiação nas camadas inferiores pode contribuir significativamente com o aumento da atividade fotossintética do dossel, logo, maior produtividade (LIMA, 2002) .

Considera-se também a competição das plantas por luz, que é proporcional à densidade de plantio, pois quanto mais plantas houver na área de plantio, maior a quantidade de folhas com ausência de luz, principalmente as inferiores, demonstrando taxas de fotossíntese diferentes na distribuição das folhas no dossel (LIMA, 2002).

## Capítulo 5

# Sistema de Referência

Por se tratar de um trabalho que envolve a aquisição de imagens em situações adversas, este capítulo apresenta o conceito de sistema de referência e escala devido à forma como são capturadas as imagens e para compreender a relação entre a imagem digital e a real.

O conceito de sistema de referência define a capacidade de determinar uma grandeza ou informação que aponta para a entidade original e, em se tratando de pontos no globo terrestre, é necessária a compreensão dos conceitos de sistemas de coordenadas e escala.

### 5.1 Escala e Sistemas de Coordenadas

Para (CÂMARA *et al.*, 1993), escala é a relação proporcional entre a dimensão de uma entidade representada em uma imagem e a dimensão do objeto real, normalmente representada de forma numérica e de fundamental importância na criação de mapas. (PINO; RODARTE, 2000) classifica as escalas, sendo  $E = I/L$ , onde  $E$  é a escala,  $I$  é a dimensão da representação e  $L$  a dimensão real do objeto; em escala natural ( $I = L$ ) quando o desenho possui as mesmas dimensões do objeto real: escala de ampliação ( $I > L$ ), quando o desenho é maior que as dimensões do objeto real e escala de redução ( $I < L$ ), quando o desenho é menor que as dimensões do objeto real.

Para (NICOLAU, 2005), um objeto sobre a superfície terrestre só pode ser identificado e localizado se estiver próximo a outros objetos já referenciados, ou seja, que possua uma coordenada geográfica bem definida, e, através de cálculos em relação de escala, obtém-se a posição exata deste objeto.

## Capítulo 6

# Processamento Digital de Imagens

Esta seção apresenta propriedades de imagens digitais e suas etapas aquisição, pré-processamento, segmentação e análise, para permitir uma melhor compreensão das diversas formas que uma imagem pode ser processada e como será aplicada no desenvolvimento do sistema.

### 6.1 Definição Matemática de Imagem

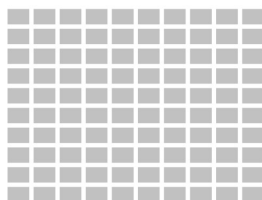
Segundo (CARVALHO, 2003), uma imagem pode ser definida matematicamente como uma função  $f(x, y)$ , em que o valor nas coordenadas espaciais  $xy$  corresponde ao brilho (intensidade) da imagem nessa coordenada, como ilustrado na Figura 6.1.



**Figura 6.1:** Representação matemática de uma Imagem.

## 6.2 Imagem em Escala de Cinza

Para (CARVALHO, 2003), a definição de imagem em escala de cinza pressupõe a existência de dois conjuntos: o conjunto  $E$ , descrito pela Figura 6.2, formado por quadrados adjacentes, dispostos ao longo de um número de linhas e colunas, e o conjunto  $K$ , formado pelos níveis de cinza ou escalas de cinza, com  $K$  variando de 0 a 255.



**Figura 6.2:** O conjunto de quadrados adjacentes E.

## 6.3 Imagem Digital

Uma das definições de imagem pode ser entendida como uma representação visual de um objeto, ou seja, uma estruturação em um plano, que permite a percepção de intensidades e profundidades dos sinais luminosos refletidos ou emitidos por um objeto do mundo real (GONZALEZ; WOODS, 1992).

Uma imagem digital, devido à limitação dos computadores, é uma discretização, uma amostragem destes sinais luminosos, representados pelos menores elementos de uma imagem, os pixels (picture elements ou elementos de imagem), como se observa na Figura 6.3.

A digitalização das coordenadas espaciais é chamada amostragem da imagem, e a digitalização da amplitude é chamada de quantização dos níveis de cinza (CARVALHO, 2003).

A apresentação de uma imagem em um dispositivo eletrônico é feita por um conjunto de pixels dispostos como uma matriz. Os valores desses pixels representam uma discretização da intensidade luminosa captada por uma determinada área, variando em valores ou porcentagem, dependendo do espaço de cor utilizado. Geralmente quanto mais próximo do valor mínimo, menor será a contribuição de cada componente e quanto mais próximo do valor máximo, maior a sua contribuição (GONZALEZ; WOODS, 1992).



**Figura 6.3:** Uma aproximação (zoom) para exemplificação dos pixels.

## 6.4 Espaços de Cores

Para entender espaço de cores, é necessário compreender a própria cor, pois através dela é que se obtém a percepção de objetos, além de ser a primeira característica para distinguir um objeto de outro. Para um bom observador, uma pequena variação na intensidade de determinada cor pode representar uma grande variação na informação a que ela está associada. (FOGAGNOLI, 2000)

A percepção de um objeto está diretamente associada ao material de que ele é composto pois esse determina o comprimento de onda que ele reflete, o que é conhecido por cor, sendo esta a característica notória quando se observa um objeto. (FOGAGNOLI, 2000)

Espaço de cores (também sistema de cores ou espectro de cores) é um modelo abstrato matemático para formalizar a descrição de cores através de tuplas de números, geralmente formadas por três ou quatro elementos e pode ser visto como um sistema definido por uma base representativa das componentes, de acordo com a definição do espaço considerado. A representação de qualquer cor pode, então, ser feita à custa da combinação dessas componentes.

Basicamente podem-se classificar os espaços de cores em sistema de composição de cores (RGB [Red Green Blue] e CMYK [Cian Magenta Yellow Key], por exemplo) e sistemas baseados em luminância e cromaticidade (LAB [Lightness A B], HSL [Hue Saturation Lightness], por exemplo).

### 6.4.1 Espaço de Cor RGB

É um modelo aditivo no qual suas componentes vermelho, verde e azul são combinadas de várias formas a reproduzir uma gama de cores. O nome do modelo vem das iniciais dessas três cores primárias (WIKIPEDIA, 2008). O objetivo central do modelo RGB está ligando a sensação, representação e exibição de imagens em sistemas eletrônicos, como televisão e computadores, entretanto tem sido usado na fotografia convencional. Antes dos sistemas eletrônicos, o RGB era um modelo teórico, baseado na capacidade humana na percepção das cores.

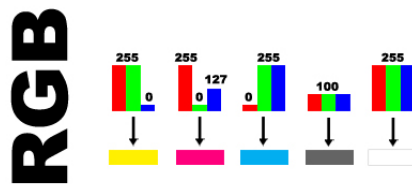


Figura 6.4: Espaço de Cor RGB, disponível em <http://www.ciadopixel.com/?p=11> e acessado em 22 de maio de 2008.

### 6.4.2 Espaço de Cor LAB

É um modelo de cor desenvolvido pelo Centre Internationale d'Éclairage (CIE), uma comissão internacional dedicada a criar padrões para todos os aspectos da luz. Baseado na percepção humana, o LAB descreve a cor como ela realmente é vista e não como ela é produzida (mistura e absorção de cores). Por isso, a cor LAB é consistente, independente do dispositivo que a produza. Os sistemas de gerenciamento de cores usam o Lab como uma referência de cores para transformar uma cor de um espaço de cores em uma cor de outro espaço de cores, de maneira previsível (CORPORATION, 2008).

O modelo LAB descreve a cor utilizando um componente de luminosidade ( $L$ ) e dois componentes cromáticos: um verde e vermelho ( $a$ ), outro azul e amarelo ( $b$ ). O valor de  $L$  pode variar de 0 (preto) a 100% (branco) e os valores de  $a$  e  $b$  podem variar de  $-128$  a  $127$  (CORPORATION, 2008).



Figura 6.5: Espaço de Cor LAB, disponível em <http://www.ciadopixel.com/?p=11> e acessado em 22 de maio de 2008.

## 6.5 Aquisição de Imagens

Os sistemas de aquisição variam conforme a aplicação para qual são destinados. Diferenças são encontradas quanto ao princípio de aquisição, a velocidade ou taxa de aquisição, a resolução das imagens adquiridas, o sistema de sensoreamento e a frequência do espectro luminoso utilizada.

Para obtenção de imagens digitais são necessários dois elementos: dispositivos físicos captadores de imagem e digitalizador. Dispositivos físicos são sensíveis a espectros de energia eletromagnética e o digitalizador converte o sinal elétrico desses dispositivos para o formato digital. Esses elementos são chamados de sistemas de imageamento (CARVALHO, 2003).

As câmeras digitais, como exemplo de dispositivos físicos captadores, são semelhantes às câmeras analógicas em suas características básicas, mas produzem um sinal de vídeo de saída já digitalizado para transferência das imagens adquiridas, dispensando o uso de uma placa de aquisição. Várias vantagens podem ser mencionadas, como o sinal digital é bem mais robusto em relação ao sinal analógico, permitindo altas taxas de transferência de dados, sendo praticamente imune a ruídos eletromagnéticos, suportando aquisição de imagens com alta resolução e maiores níveis de contraste de cores ou tons de cinza (de 8 a 16 bits). Estas câmeras são mais propícias para aplicações de maior resolução e velocidade, além de serem mais adequadas às condições agressivas do ambiente industrial.

O funcionamento de uma câmera digital é similar ao funcionamento das câmeras comuns. Um sistema, em alguns casos idêntico aos das câmeras comuns, encarrega-se de capturar e focalizar a imagem em um anteparo sensível à luz, onde a imagem pode ser armazenada para a posteridade. A diferença reside exatamente na armazenagem. No caso da foto comum, a armazenagem se dá em um filme que altera sua química em função da exposição à luz. No caso da fotografia digital, existe um dispositivo eletrônico, conhecido como Charge-Coupled Device (CCD), que converte as intensidades de luz que incidem sobre ele em valores digitais armazenáveis na forma de pixels (CAPPELARO *et al.*, 2007).

Outro tipo de sensor é o Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) que está mais difundido atualmente. Além de possuir a mesma estrutura de organização do CCD, em matrizes de pixels, apresenta vantagens como acesso direto ao pixel, permite acoplar algoritmos de processamento ao sensor, menor consumo de energia e um custo mais baixo na produção. Esta diferença se observa no aumento da qualidade das câmeras digitais e na redução de seus preços.

## 6.6 Pré-Processamento

O pré-processamento em imagens constitui-se de técnicas que visam realçar determinadas características para facilitar a extração de informações, cujo objetivo principal, para (GONZALEZ; WOODS, 1992), é processar uma imagem, de modo que o resultado seja mais apropriado para uma aplicação específica do que a imagem original. A palavra *específica* é importante, porque ela estabelece, desde o início, que as técnicas discutidas são bastante dependentes da aplicação. Assim, um método de realce aplicado a culturas pode não ser necessariamente a melhor abordagem para o realce de detecção de faces.

O conceito “Image Enhancement” está associado à evidência de características específicas ou regiões de interesse de uma imagem a fim de permitir uma melhor distinção de suas partes por um observador humano. Esse realce é feito através de técnicas como subtração de imagens, cores-falsas, filtragem, entre outros. Devido à capacidade humana de captar com facilidade variações em uma imagem, estas implementações geralmente são feitas em hardware, pela velocidade de processamento, para um rápido julgamento mas presentes hoje na maioria dos softwares que manipulam imagens devido à capacidade do equipamento (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2000).

Estas técnicas podem ser divididas em duas grandes categorias: domínio espacial que se refere ao próprio plano da imagem e as abordagens nesta categoria são baseadas na manipulação direta dos pixels das imagens; domínio da frequência, cujas técnicas são baseadas em transformadas, levando as imagens para outro domínio cujo realce é feito através da combinação de técnicas do plano da imagem (GONZALEZ; WOODS, 1992).

As técnicas utilizadas para realce, tais como o melhoramento de contraste e filtros, são aplicadas com finalidades específicas, enfatizando características de interesse ou recuperando imagens que sofreram algum tipo de degradação devido à introdução de ruído, perda de contraste ou borramento, ou seja, essas técnicas são transformações radiométricas que modificam os valores dos níveis de cinza dos pixels de uma imagem (CARVALHO, 2003).

### 6.6.1 Métodos no domínio espacial

O domínio espacial compreende o conjunto de pixels que formam uma imagem, sofrendo transformações diretamente para realçar determinada informação nesta imagem. Essas transformações são expressas como  $g(x,y) = T[f(x,y)]$ , onde  $g(x,y)$  é a imagem processada,  $T$  é um operador sobre alguma vizinhança de  $x,y$  e  $f(x,y)$  a imagem de entrada. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

O processamento no domínio espacial consiste em aplicar uma máscara ou um filtro, ou seja, uma matriz de pequena dimensão com seus coeficientes determinados para operações específicas, ao longo de uma imagem, ou seja, o centro do filtro percorrerá toda a imagem realizando uma operação (multiplicação, por exemplo) em cada pixel que a constitui. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

As dimensões destas matrizes definem os métodos no domínio espacial como: processamento ponto-a-ponto (matriz 1x1) e processamento por máscara ou filtragem (matriz 3x3 ou maior) e seus coeficientes determinam qual é a propriedade da imagem que será realçada. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

São exemplos de processamento Ponto-a-Ponto:

- **Negativo de Imagem:** o negativo de uma imagem consiste na aplicação de uma função  $s = T(r)$ , onde  $r$  corresponde a cada pixel (em nível de cinza) da imagem de entrada e  $s$  cada pixel da imagem de saída. Este processamento consiste em inverter a intensidade de cada pixel de uma imagem, por exemplo, transformando os pixels com valores iguais a 0 (preto) para valores iguais a 255 (branco) (GONZALEZ; WOODS, 1992).
- **Alargamento de Contraste:** geralmente, por iluminação insuficiente, problemas no sensor de imageamento ou problemas na abertura da lente do equipamento de aquisição, as imagens não apresentam características definidas que possam ser segmentadas facilmente. O alargamento de contraste, então, consiste no aumento da escala dinâmica de cada pixel de uma imagem, ou seja, cada pixel será acrescido de um valor de escala determinado para este filtro. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

Geralmente a filtragem é utilizada para restauração de imagens e raramente para realce de imagens. Independente do filtro a ser aplicado, a abordagem básica consiste em carimbar o centro desta matriz em cada pixel da imagem, através de uma operação de multiplicação, obtendo o resultado desejado. São exemplos de processamento por máscara:

- **Filtro Passa-Baixas:** é um filtro de suavização que permite que apenas as baixas frequências “passem”, ou seja, reduz o ruído da imagem fundindo os detalhes finos da imagem com a sua vizinhança, borrando-a, utilizado como um pré-processamento antes de segmentar objetos grandes. Em outras palavras, as baixas frequências correspondem às variações suaves dos níveis de cinza (GONZALEZ; WOODS, 1992)

- Filtro de Mediana: também possui característica de suavizar, borrar a imagem. Ele atua na imagem, substituindo cada pixel pela mediana dos seus pixels vizinhos, preservando a agudeza das bordas. (GONZALEZ; WOODS, 1992)
- Filtro de Passa-Altas: é um filtro de aguçamento, ou seja, o inverso do passa-baixas, realçando detalhes finos da imagem que de alguma forma tenham sido borrados. Em outras palavras, altas frequências correspondem às modificações abruptas dos níveis de cinza. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

## 6.7 Segmentação

A segmentação de imagens é um processo de particionar um componente de uma imagem (objeto ou fundo) para facilitar a extração de características (GONZALEZ; WOODS, 1992). Este processo não apresenta uma solução geral, podendo ser necessária a combinação e adaptação de diversos algoritmos para obter melhores resultados.

Geralmente, o primeiro passo em análise de imagens, isto é, extrair informação a partir delas, é a segmentação, processo este que consiste em fracionar uma imagem em partes que atendam à resolução do problema proposto, ou seja, segmentar é aplicar algoritmos até que os objetos de interesse sejam isolados do restante da imagem. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

A segmentação deve ser devidamente analisada de acordo com o contexto de sua aplicação, pois é um processamento que exige muito recurso, levando então ao projetista focar o algoritmo justamente nos objetos que irão ser analisados. Devido a isso, a segmentação autônoma é umas tarefas mais difíceis em processamento de imagens, pois determinará a acurácia sobre a qual a análise será feita. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

Os algoritmos de segmentação para imagens monocromáticas são baseados em duas propriedades básicas dos valores em escala de cinza: descontinuidade e similaridade. A primeira aborda variações abruptas nas imagens, tais como detecção de bordas, pontos e linhas. A segunda baseia-se em limiarização e crescimento de regiões, largamente utilizados para “isolar” regiões de uma imagem. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

### 6.7.1 Detecção de Linhas

Como visto, uma imagem é um conjunto de pixels e, para tal definição, o conceito de “máscara” refere-se a um subconjunto de pixels com valores dispostos a eliminar ou realçar a região da im-

agem onde esta máscara é sobreposta. Geralmente, estas máscaras possuem 3 linhas e 3 colunas. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

A forma com que os valores são dispostos em uma máscara determinará quais objetos da imagem serão realçados ou eliminados.

### **6.7.2 Detecção de Bordas**

Entende-se por borda um conjunto de pixels conexos que separam duas regiões com níveis de cinza diferentes, ou seja, uma região com um conjunto homogêneo de pixels com determinada intensidade de níveis de cinza terá uma linha que a separa de outra região de pixels quando houver uma variação visível entre essas duas regiões. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

A detecção de bordas é a abordagem mais comum para verificar discontinuidades significativas nos níveis de cinza. (GONZALEZ; WOODS, 1992). Para (SEARA, 2008), é como a visão humana se comporta para fazer o reconhecimento de objetos, através de suas bordas. É um processo que detecta e enfatiza os pixels da borda, separando o objeto (borda) do fundo, aumentando o seu contraste, ou seja, verifica as diferentes incidências luminosas nas partes da imagem.

### **6.7.3 Operadores de Gradiente**

De acordo com os conceitos de cálculo, uma derivada “detecta” uma variação, uma taxa de mudança em uma função. Como uma imagem é uma função  $f(x,y)$  e o valor de  $f$  é a intensidade dos níveis de cinza, a operação de derivada detecta esta variação nos pixels (borda), nos pontos de máximo e mínimo dessa função (SEARA, 2008).

Para (GONZALEZ; WOODS, 1992), o vetor gradiente aponta na direção da mudança mais rápida da função  $f$ , tendo importância tanto a magnitude como a direção deste vetor, o que indicará o alinhamento e a intensidade da borda.

Como o gradiente é composto por derivadas parciais e essas detectam a variação na função, elas geram um ruído quando aplicadas ao longo da imagem em cada pixel e o resultado como a soma destas derivadas. (GONZALEZ; WOODS, 1992)

Os métodos de implementação dessas técnicas utiliza-se de máscaras, determinando alguns algoritmos como: Operador de Roberts; Operador de Sobel e Operador de Robison.

#### 6.7.4 Limiarização

Para (GONZALEZ; WOODS, 1992), o conceito de limiarização ou *threshold* é dado pela escolha de um limiar  $T$ , ou seja, um valor que separa o conjunto de pixels de uma imagem de forma binária. A escolha deste valor geralmente é determinada pelo contexto do problema, analisada a partir do histograma da imagem, pois este limiar divide a imagem em 2 componentes: objeto e fundo. Essa divisão gera como resultado uma imagem binária. A segmentação é feita varrendo a imagem pixel a pixel e rotulando-os como objeto ou fundo, como descreve a função:

$$g(x,y) = 1, se f(x,y) > T; 0, se f(x,y) \leq T \quad (6.1)$$

O sucesso dessa segmentação está diretamente ligado ao particionamento do histograma.

A imagem resultante da limiarização geralmente é utilizada como uma imagem intermediária ou uma máscara, aplicadas sobre a imagem original para separar os objetos desejados da imagem, uma vez que a operação de diferença absoluta retornará uma imagem com caráter de “fantasmas”, porque seus valores refletem tanto o que estava representado em uma imagem como o que estava na outra (WANGENHEIM, 2008).

#### 6.7.5 Segmentação orientada a regiões

O crescimento de regiões visa agrupar pixels ou sub-regiões em regiões maiores, a partir de pontos chamados de “semente”. A partir dessa semente, os pixels vizinhos são agregados através de propriedades similares entre estes pixels, tais como nível de cinza, textura ou cor (GONZALEZ; WOODS, 1992).

Esse crescimento por regiões também utiliza um limiar  $T$  (fator este que define o critério de similaridade do pixel vizinho), pois é utilizado para calcular a diferença absoluta entre o nível de cinza do pixel atual e o da semente, podendo ser incluído na crescente região se o resultado desta operação for menor que o limiar  $T$  (GONZALEZ; WOODS, 1992).

O crescimento de regiões apresenta três problemas: a seleção de sementes que realmente atinja pontos de interesse do problema, a determinação das propriedades para que os pixels sejam inclusos na região e o estabelecimento da condição de parada. Tais problemas podem resultar em segmentações enganosas e resultados inesperados (GONZALEZ; WOODS, 1992).

Uma solução para incrementar a qualidade do resultado do crescimento de regiões é a utilização de descritores, de forma que o usuário possa interagir com a aplicação do processamento, determinando

além dos 3 problemas descritos, o critério de adjacência, o que aumenta a acurácia do resultado, possibilitando uma análise mais correta da imagem segmentada (GONZALEZ; WOODS, 1992).

## 6.8 Análise de Imagens

Para compreender a vasta área de análise de imagens, o conceito de ROI (“Region of Interest” - Região de Interesse), ou seja, uma parte específica da imagem, é definida por algoritmos de segmentação (automaticamente) ou por interação do usuário, que contém as informações relevantes a serem processadas (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2000).

O termo análise está relacionado com a extração de informações da Região de Interesse, informações estas, ou parâmetros, que, na maioria dos casos, são quantificadas em relação de porcentagem, como por exemplo a determinação do número estimado de folhas presentes em um dossel vegetativo, o cálculo de área de uma planta ou ainda a porcentagem de solo ocupada por uma plantação (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2000).

As técnicas dedicadas à análise de imagens são dependentes da complexidade e do tempo de resposta que envolvem o problema. Como um sistema computacional não possui a mesma capacidade de distinção de objetos de um humano, os algoritmos iteram sobre os pixels de forma a separar parâmetros Região de Interesse, ou seja, isolar os objetos do fundo, com o intuito de obter medidas específicas, como área, perímetro, posição na imagem, texturas, quantidade de elementos, classificação e reconhecimento de formas, que melhor se adequam ao resultado esperado (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2000).

O fim deste processamento é a parte da análise que apresentará resultados de forma quantitativa, chamado de parametrização por (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2000), que identifica e calcula parâmetros nos objetos segmentados. Esses resultados, por exemplo, podem ser a área de uma folha, a quantidade de germinações em uma área de plantio, entre outros.

## 6.9 Morfologia Matemática

O estudo morfológico concentra-se na estrutura geométrica das imagens. A morfologia pode ser aplicada em diversas áreas de processamento de imagens, como realce, segmentação, esqueletização e afins. Morfologia é a forma e estrutura de um objeto ou os arranjos e interrelacionamentos entre as partes de um objeto (WANGENHEIM, 2001). A idéia de morfologia é que uma imagem consiste em um conjunto de pixels que são reunidos em grupos, tendo uma estrutura bidimensional (forma). Certas

operações matemáticas em conjuntos de pixels podem ser usadas para ressaltar aspectos específicos das formas, permitindo que sejam contadas ou reconhecidas. A base da morfologia consiste em extrair de uma imagem desconhecida a sua geometria, através da utilização da transformação de uma outra imagem completamente definida, ou seja, consiste em extrair as informações relativas à geometria e à topologia de um conjunto desconhecido (no caso uma imagem) pela transformação através de outro conjunto bem-definido, chamado elemento estruturante (WANGENHEIM, 2001).

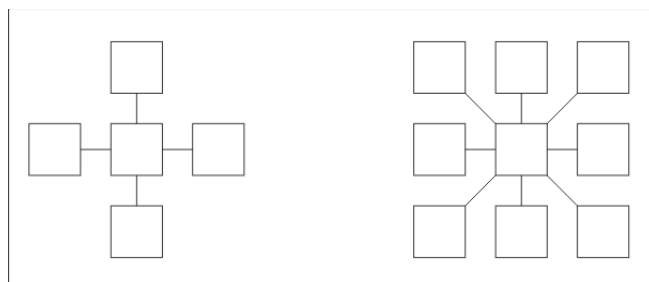
A Morfologia Matemática se caracteriza por um conjunto específico de operações sobre imagens enquanto conjuntos de pixels. Podemos dividi-las em operações realizadas sobre imagens binárias e operações realizadas em imagens em tons de cinza e coloridas (WANGENHEIM, 2001).

Para entender como se aplicam operações sobre uma imagem, é necessário estar ciente dos conceitos de objeto, fundo e conectividade. Com a Figura 6.6, pode-se compreender que, em uma imagem binária, o fundo da imagem é determinado pelos pixels pretos (matricialmente representados pelo valor zero) e o objeto da imagem pelos pixels brancos (matricialmente representados pelo valor 255).



**Figura 6.6:** Representação de objeto e fundo de uma imagem.

O conceito de conectividade está associado à terminologia dos grafos. Considera-se uma imagem binária como um grafo em que cada pixel é um nó e as arestas determinaram a conectividade (SAÚDE, 2007). Existem dois tipos de conectividade,  $\Gamma_4$  e  $\Gamma_8$ , com características complementares. Quando tem-se um objeto com conectividade  $\Gamma_4$ , por definição o fundo da imagem possui conectividade  $\Gamma_8$  e vice-versa. Na conectividade  $\Gamma_4$ , cada nó do grafo está conectado ao seu vizinho horizontalmente e verticalmente e a conectividade  $\Gamma_8$  é a  $\Gamma_4$  em que cada nó pode também acessar o seu vizinho nas diagonais. Com isso, podemos notar que a  $\Gamma_4$  é um conjunto de 4 pixels mais o pixel central e a  $\Gamma_8$  é um conjunto de 8 pixels mais o pixel central, como se pode ver na Figura 6.7.



**Figura 6.7:** Conectividade  $\Gamma_4$  e  $\Gamma_8$ .

Com isso, temos o conceito de componente conexo, definido como o conjunto de pontos que estão conectados no grafo resultante. O número de componentes conexos em uma imagem binária varia de acordo com a conectividade. As operações aplicadas sobre uma imagem necessitam de um elemento estruturante, que pode ser entendido como um conjunto de pixels dispostos com a idéia de construir uma identidade que será aplicada por toda a imagem. Os elementos estruturantes mais utilizados são: o “cross”, que por padrão é um elemento em formato de cruz, de 5 pixels, sendo um central, 2 dispostos horizontalmente e 2 verticalmente e o “box”, que, por padrão, é um elemento em formato de caixa de 9 pixels, sendo um central e mais 8 enquadrando este central assim como podemos observar na Figura 6.7, que descreve as conectividades.

As operações básicas da morfologia matemática são a erosão e a dilatação, sendo as demais derivadas destas duas.

### 6.9.1 Erosão

Determinada através da varredura de uma imagem por um elemento estruturante. Quando o centro deste elemento se encaixa completamente em uma área da imagem igual à sua, este ponto na imagem é alterado, ou seja, a erosão consiste em uma operação de conjuntos cujo elemento estruturante, caso se encaixe por inteiro em um subconjunto da imagem percorrida, provoca naquele ponto uma alteração, matricialmente definida como uma operação de mínimo entre os pixels da imagem e do elemento estruturante associados (DOUGHERTY; LOTUFO, 2003).

### 6.9.2 Dilatação

Deteminada analogamente a um robô (elemento estruturante) que percorre toda a imagem fazendo uma operação de soma de conjuntos, ou seja, a cada ponto visitado pelo robô, sua área em volta é expandida, tendo como resultado uma imagem “engordada”. Matricialmente, pode-se definir a

operação de dilatação como o máximo elemento de um conjunto de  $n$  pixels e o resultado aplicado no ponto visitado pelo robô (DOUGHERTY; LOTUFO, 2003).

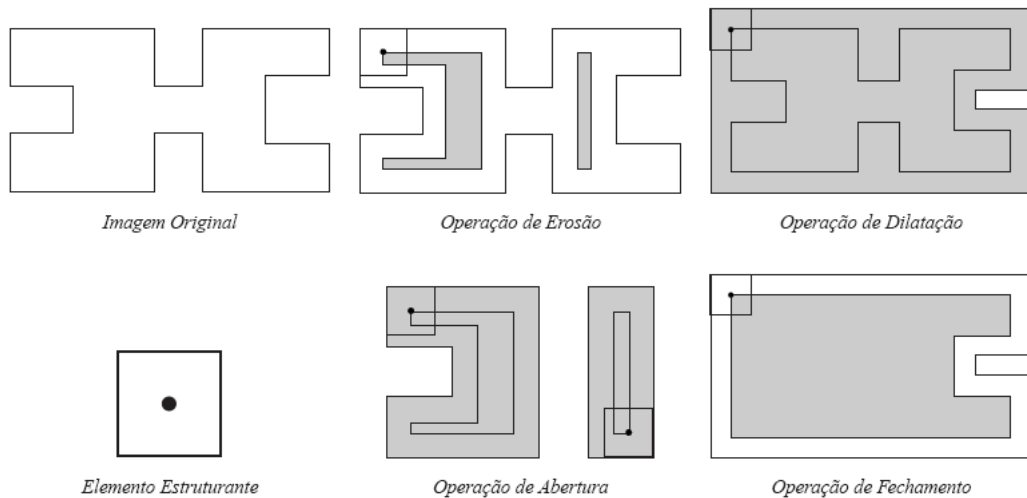
### 6.9.3 Abertura

É derivada das operações de dilatação e erosão. O operador de abertura aplica uma erosão seguida de uma dilatação na imagem. Esta sequência de operações visa eliminar pequenos ruídos na imagem e abrir lacunas em regiões de fraca conexão entre objetos, através da erosão, e posteriormente tenta restaurar as dimensões reais de objetos da imagem através da dilatação. Os ruídos e fracas conexões eliminados com a erosão não retornam à imagem após a dilatação (DOUGHERTY; LOTUFO, 2003).

### 6.9.4 Fechamento

Também derivada das operações de dilatação e erosão, trata-se da operação dual da abertura, aplicando primeiramente uma dilatação seguida de uma erosão. Esta sequência de operações visa restaurar conexões fracas entre objetos da imagem (DOUGHERTY; LOTUFO, 2003).

A imagem 6.8 exemplifica as operações de erosão, dilatação, abertura e fechamento.



**Figura 6.8:** Exemplifica as operações de erosão, dilatação, abertura e fechamento. [Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 1992)]

### 6.9.5 Gradiente morfológico

Combinação das duas operações básicas da morfologia matemática, com o objetivo de detectar fronteiras entre os objetos de uma imagem, ou seja, detecção de bordas (como apresentado na seção

anterior). A equação  $(A \oplus B) - (A \ominus B)$ , em que A é a imagem original e B o elemento estruturante, apresenta uma dilatação subtraída de uma erosão, ou seja, ao mesmo tempo “expande” e “contraí” a imagem original e esses resultados são subtraídos, resultando em apenas em uma borda determinada pelo elemento estruturante (WANGENHEIM, 2001).

### **6.9.6 Segmentação por Watershed**

A transformação por Watershed é um alicerce para a segmentação morfológica. Particularmente, a segmentação em níveis de cinza resulta da aplicação do Watershed ao gradiente morfológico de uma imagem segmentada. A metodologia do Watershed tornou-se altamente apta a tratar inúmeros problemas do mundo real através da diversidade de algoritmos implementados (desenvolvidos) (DOUGHERTY; LOTUFO, 2003)

### **6.9.7 Watershed Clássico**

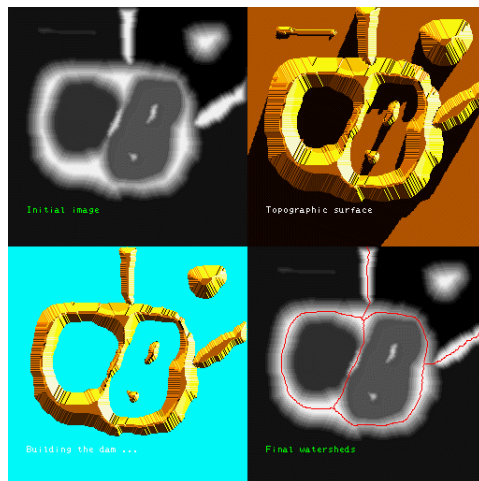
A formulação mais intuitiva do watershed é baseada na inundação. Considerando uma imagem em escala de cinza como uma superfície topográfica, o problema consiste em delimitar regiões desta superfície. Para tal, pequenas “sementes” ou furos são colocados em cada mínimo local da imagem, o que lentamente permite que a água suba, ou seja, inunde uniformemente a superfície. Quando as águas de dois ou mais furos estão para se misturar, barreiras são implantadas como medida preventiva, as quais serão as únicas regiões visíveis ao final da inundação. Essas regiões são chamadas de “watershed lines”. A segmentação por watershed geralmente é aplicada em imagens de gradiente, há uma similaridade entre os objetos e uma dissimilaridade nas bordas. (DOUGHERTY; LOTUFO, 2003).

### **6.9.8 Watershed por marcadores**

Esta técnica é considerada como uma solução para reduzir a super segmentação causada pelo watershed clássico, uma vez que o usuário, através da interatividade com a imagem, saiba como posicionar os marcadores dentro dos objetos a serem segmentados. O Watershed por Marcadores pode ser descrito como um processo de inundação por simulação, ou seja, os furos são feitos sob os marcadores, associados a uma cor. A superfície é inundada por “águas coloridas” a partir de seus furos correspondentes, uniformemente. Caso um mínimo local não tenha sido marcado, ele será ignorado e inundado pela água mais próxima e caso contrário, quando águas diferentes estão para se encontrar, são instaladas barreiras preventivas. As regiões coloridas são os mínimos locais associados

aos seus marcadores, diferenciando-os dos obtidos com o watershed clássico pegando o último ponto de mínimo.

A imagem 6.9 mostra os passos da operação de Watershed.



**Figura 6.9:** Passos da operação de watershed, disponível em <http://cmm.enscm.fr/~beucher/wshed.html> e acessado em 26 de maio de 2008

## Capítulo 7

# Desenvolvimento de Software

Para entender como a análise de radiação solar em cultivos consorciados por processamento de imagens será feita por um software de arquitetura orientada a serviços, é necessário compreender conceitos referentes aos métodos de modelagem, padronização e estrutura via web.

### 7.1 Modelagem de Sistemas

A importância da modelagem de software descreve o comportamento que será adotado durante da sua codificação ou implementação. Esta afirmação está relacionada com a crise de software da década de 70 em que pouquíssimas aplicações encomendadas pelo governo norte-americano funcionavam corretamente e as demais dependiam de uma só pessoa e não existência de uma documentação causou um grande descrédito na área de desenvolvimento de software.

Visto a importância em se documentar, organizar e modelar um software antes da sua implementação, vários métodos para estas funções foram desenvolvidos, porém quando um sistema necessitava de interação com outro, diversas falhas de comunicação ocorriam pois cada projetista descrevia seu modelo de uma forma.

Com o intuito de simplificar e consolidar estes diversos métodos de modelagem, criou-se a Unified Modeling Language (UML - Linguagem de Modelagem Unificada) que é uma linguagem de modelagem visual de propósito geral usada para especificar, visualizar, construir e documentar os artefatos de um sistema de software. Ela permite capturar decisões e compreendê-las sobre os sistemas a serem construídos. É usada para entender, desenhar, navegar, configurar, manter e controlar as informações nos estágios de ciclos de vida do software (RUMBAUGH *et al.*, 1999).

## 7.2 Padrões de Projeto

Com o avanço das técnicas de modelagem e implementação de software, principalmente no paradigma de orientação a objetos, viu-se a necessidade de padronizar a forma de codificação, uma vez que a reutilização de componentes está sendo largamente utilizada devido às exigências pela entrega dos produtos em curto período de tempo, como descreve (GAMMA *et al.*, 1994) que o fato de projetar softwares orientado a objetos para uma situação específica é complexo e pior ainda, em se tratando de generalidades.

Os padrões de desenvolvimento de software ou Design Patterns foram estabelecidos para solucionar problemas, cada qual em seu contexto, e podem ser descritos por quatro elementos essenciais, segundo (GAMMA *et al.*, 1994).

1. O “pattern name” é um elemento utilizado para descrever um determinado problema, suas soluções e conseqüências em uma ou duas palavras, permitindo uma arquitetura com alto grau de abstração. O nome do padrão permite uma interação com a equipe de desenvolvimento além de facilitar a comunicação.
2. O elemento “problema” descreve quando aplicar um padrão, explicando as dificuldades e seu contexto, tal como representar objetos por algoritmos. Este elemento descreve a estrutura de uma classe que são tarefas não triviais na arquitetura de um projeto, pelo de, algumas vezes, incluir condições que devem ser satisfeitas antes de se aplicar o padrão.
3. O elemento “solução” descreve os elementos que compõem o projeto, seus relacionamentos, responsabilidades e colaborações. A solução não descreve uma concepção ou implementação concreta, pelo fato de poder aplicá-lo em diversas situações, oferecendo uma descrição abstrata e como um arranjo ordenado das classes os resolvem.
4. O elemento “conseqüências” são os resultados e análises das vantagens e desvantagens (trade-offs) da aplicação do padrão. Embora as decisões tomadas no projeto sejam raramente discutidas, elas são críticas para avaliar alternativas e a relação custo benefício. As conseqüências para o software são observadas sobre equilíbrio entre espaço e tempo, podendo tratar de questões de idioma e implementação. O conceito de reutilização é largamente utilizado na orientação a objetos, o que implica flexibilidade, extensibilidade ou portabilidade das conseqüências de um sistema, o que permite compreendê-lo e avaliá-lo.

### 7.2.1 MVC - Model, View, Controller

A definição de MVC (Model - Modelo, View - Visão, Controller - Controle) para (GAMMA *et al.*, 1994) é uma composição de três tipos de objetos. O Modelo é o objeto da aplicação, a Visão é a apresentação na tela e o Controlador é o que define a maneira como a interface do usuário reage às suas entradas.

Um aspecto importante no padrão é o estabelecimento de um protocolo inserção / notificação entre a Visão e o Modelo, o que permite a visão se apresentar de várias maneiras, quando os dados do modelo forem atualizados, ou seja, a visão deve refletir o status do modelo (GAMMA *et al.*, 1994).

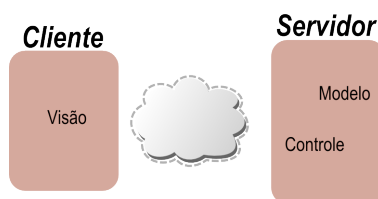
O Controlador atua à medida que o usuário interage com a interface (visão), tratando principalmente eventos de entrada encapsulando o mecanismo de resposta em um objeto Controlador.

## 7.3 Programação para a WEB

A necessidade de acesso à informação, em qualquer parte do mundo e em qualquer momento, remete ao uso de tecnologias que permitem o uso de portabilidade e a possibilidade de aplicar diversos padrões de projeto que caracterizam da melhor maneira o sistema, principalmente abordando abstração, modularização e agrupamento.

A estrutura da WEB é baseada na arquitetura Cliente - Servidor, organizada da forma que máquinas clientes de um serviço fazem a requisição destes a um servidor que o oferece (CORREIA, 2006).

Este ambiente permite a aplicação do padrão MVC de forma a deixar a visão com o cliente e o modelo e o controle do lado do servidor, como descreve a figura 7.1.



**Figura 7.1:** Aplicação do Padrão MVC na WEB

A principal característica na programação para web é a comunicação entre o cliente e o servidor. Como as máquinas são isoladas, é necessário que a forma de comunicação entre elas deva ser padronizada para garantir a consistência da informação e também permitir um intercâmbio desses dados para outros serviços.

Como o padrão MVC pode ser aplicado em uma estrutura web, a mensagem da requisição de dados ou serviços para o servidor deve ser padronizada, de acordo com (CONSORTIUM, 2008b), descrever a mensagem e como processá-la, a codificação e uma convenção para representar a troca de mensagens através da chamada remota e respostas. Essas mensagens geralmente são descritas por arquivos XML, que além de permitir uma interpretação direta pelo usuário ao ler o documento, descreve melhor um dado por se tratar de uma linguagem de marcação, ou seja, uma meta-linguagem (CONSORTIUM, 2008a).

# Capítulo 8

## Material e Métodos

### 8.1 Material

#### 8.1.1 Área Experimental

Os ensaios foram conduzidos no primeiro semestre letivo do ano de 2008 no Setor de Grandes Culturas do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Situada em 22°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste e altitude média de 900 metros, essa região possui, de acordo com a classificação de Köppen, clima tipo Cwa. As imagens foram captadas nos experimentos conduzidos pelo G-Óleo, compostos de mamona, canola, pinhão manso, nabo forrageiro, crambe e girassol. Todos os experimentos seguiram as práticas culturais recomendadas para cada cultura.

#### 8.1.2 Hardware e Software

A plataforma de desenvolvimento do trabalho utilizou recursos computacionais captados pelo Projeto Biodiesel, com a configuração: Processador Intel® Pentium® 4 com frequência de 3 GHz, Hard Disk com 80 GB, Memória RAM de 512 MB e Placa de Vídeo nVidia® GeForce 5400 com 128 MB de RAM, com uma destas máquinas atuando como servidora do *container Web* e do banco de dados. As ferramentas utilizadas no desenvolvimento do sistema foram o *Integrated Development Environment* (IDE) Eclipse Classic na versão 3.3.1, com as bibliotecas Iguassu 0.1, que é composta por pacotes como Commons-Logging, Freemarker, JDO 2.0, JPOX 1.1.9, Log4J 1.2.11, Ognl, Os-core, Rife-Continuations, Webwork 2.2.6 e XWork, para o processamento das informações cliente-servidor. Além desta, foram utilizadas para o processamento de imagens o demo *Supervised Watershed*, (LEFÈVRE, 2008) e a biblioteca ImageJ® na versão 1.38. O IDE NetBeans nas versões 5.5.1 e

6.0 foi utilizado a criação da interface com o usuário e o Sistema Gerenciador de Banco de Dados foi PostgreSQL na versão 8.4.2. A linguagem de programação utilizada foi JAVA da Sun Microsystems, baseado na *Java Development Kit* (JDK) 1.6 Update 01 e Update 02.

### **8.1.3 Câmeras digitais**

As câmeras digitais utilizadas, também de recursos do Projeto Biodiesel, foram: Sony® CyberShot® modelo P73 com 4.1 MegaPixels e lente Sony Lens 6 - 18mm; modelo W5 com 5.1 MegaPixels e lente Carl Zeiss Vario-Tessar 7.9 – 23.7mm. Canon® Rebel® modelo XTi EOS com 10.1 MegaPixels e lente Canon EF Lens 28 - 55mm com controle remoto. Todas as câmeras utilizaram como suporte um tripé Velbon® modelo CX 200.

## **8.2 Métodos**

### **8.2.1 Aquisição de Imagens em Campo**

O método aplicado para capturar as imagens em campo é feito acoplando as câmeras digitais no tripé, mantendo a lente sempre paralela à superfície de solo onde está instalada a cultura. O posicionamento do tripé é feito de acordo com a altura que capture, da melhor forma possível, a área de interesse de análise do usuário em relação à altura atingida pela cultura, sendo irrelevantes as pequenas inclinações que possam ocorrer quando da captura da imagem devido ao movimento aparente do sol que faz com que o ângulo de incidência de radiação varie ao longo do dia. As imagens utilizadas neste trabalho foram capturadas posicionando o tripé no centro da rua, com o intuito de registrar a área onde a radiação atinge diretamente o solo e seja possível ver o túnel de crescimento do dossel vegetativo. Para as máquinas sem controle remoto, as imagens são obtidas ativando o temporizador da máquina com tempo suficiente para erguer o tripé. A Figura 8.1 mostra como foi feita a aquisição destas imagens em campo.

Como a medição da área em uma imagem é feito pela contagem de pixels, devido à diferença entre as lentes das máquinas e suas resoluções, e para que a altura do posicionamento do tripé não interfira nas medidas, um teste de prova é utilizado na aquisição de imagens, colocando uma folha A4 (padrão ISO com dimensões de 21 x 29,7 cm) no solo, como objeto de referência, com suas bordas paralelas às linhas da cultura. A calibração das câmeras foi ajustada de acordo com o dia, através das macros das câmeras ou configuração manual, evitando que quantidade de luz interfira no contraste entre plantas e solo.



**Figura 8.1:** Método utilizado para capturar as imagens em campo.

## 8.2.2 Registro do Experimento

Para o registro dos dados do experimento, foi utilizado o sistema desenvolvido neste projeto de acordo com a tecnologia descrita na Subseção 8.1.2, focando na usabilidade.

## 8.2.3 O Framework Iguassu

O Framework Iguassu é um framework de desenvolvimento Web, que implementa funcionalidades adicionais aos frameworks Web mais comuns, tais como Struts, Hibernate, Java Data Objects (JDO) , Java Persistence API (JPA) e Log4J.

Ao fazer o registro do experimento, o controle do programa sai da interface do usuário (cliente) e passa para o servidor. Ao invocar a ação de um componente da interface (botão de cadastro, por exemplo), é enviada uma mensagem web para o servidor que a gerencia e mapeia para o Framework Iguassu.

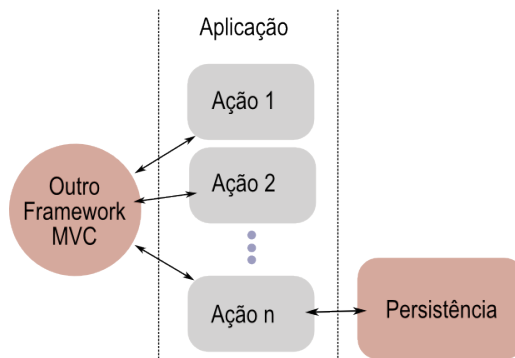
Existe um grande número de *frameworks* MVC para programação Web. Alguns exemplos deles são Struts, Spring, Webwork, Mentauai, etc. Todos esses frameworks são livres e visam atender às mais diversificadas necessidades dos desenvolvedores Web. Por isto, são genéricos o suficiente para serem utilizados em diversas plataformas e arquiteturas de software.

Esses frameworks oferecem componentes reutilizáveis, mas de uso não obrigatório, de forma a não interferir na opção de projeto do desenvolvedor. Em suma, apresentam um escopo bastante aberto, podendo ser adaptados a diversas arquiteturas.

A idéia do framework Iguassu é limitar o escopo, seguindo regras de padrões de projeto de software, de forma a limitar o número de softwares que podem usufruir do framework, mas permitindo um ganho em produtividade e redução de custos de desenvolvimento.

Com uma arquitetura pré-definida, e com uma boa combinação de padrões de projeto, é possível fazer a geração automática de código a partir de diagramas. A geração de código, além de reduzir custos, garante que os padrões de projeto sejam usados corretamente.

As arquiteturas normalmente utilizadas em aplicações desenvolvidas para a web, que utilizam o padrão MVC, são similares à arquitetura apresentada na Figura 8.2, essa que descreve apenas do lado servidor da aplicação, ou seja, o lado direito da Figura 7.1. Os frameworks já oferecem um conjunto de componentes necessários para receber requisições da Web e mapear cada requisição à respectiva classe que a trata. Na Figura 8.2, as classes que tratam requisições foram chamadas de Actions (baseada no conceito do Webwork framework MVC).



**Figura 8.2:** Uso comum de frameworks MVC para a Web. Organização das classes de controle no servidor.

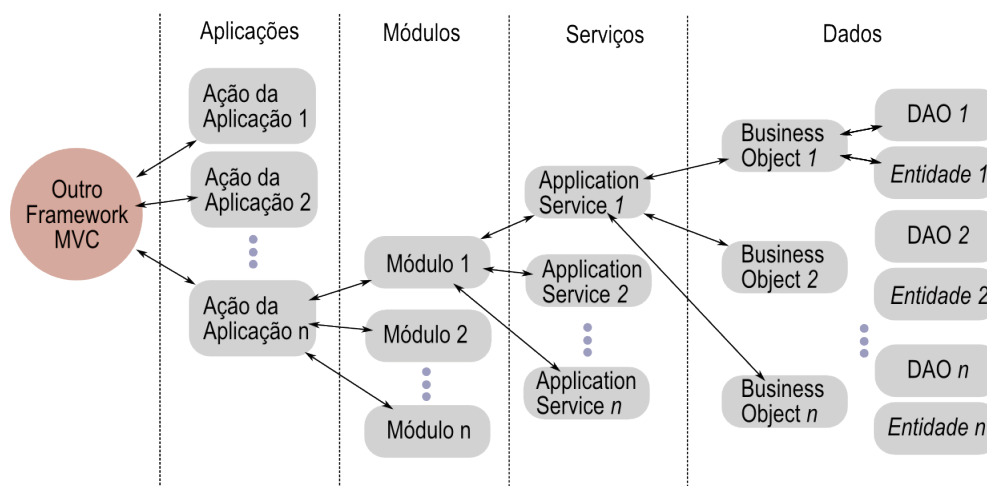
O mapeamento entre requisição e Action pode ser feito em arquivos de configuração. Atualmente a maioria dos arquivos de configuração são em XML. Os frameworks permitem que a execução de uma Action seja sucedida ou precedida da execução de outras ações comuns a outras Actions, como controle de acesso, tradução de mensagens, etc.

Mesmo com o auxílio destes frameworks, é necessária uma boa organização destas Actions e da interação delas com as classes do modelo. O uso do framework, como ilustrado na Figura 8.2, pode gerar problemas para:

1. A organização do código fonte. Se tem-se um software de grande porte, pode-se ter um número enorme de requisições diferentes, o que implicaria em uma grande quantidade de Actions, ou Actions que atendam a mais de uma requisição, o que não é recomendado.
2. A evolução do software. A Figura 8.2 apresenta uma interação direta entre as Actions e a camada de persistência. Se a interação utilizar diretamente consultas em bases de dados, pequenas alterações no modelo de domínio do software podem acarretar modificações consideráveis nas Actions.
3. A utilização multiusuário. Os frameworks, em geral, permitem aplicações multiusuário, mas muitas vezes oferecem configurações limitadas para os controles de acesso e de transação.

Essa idéia de mapeamento de requisições para ações remete rapidamente à noção de Arquitetura Orientada a Serviços (SOA), mas o conceito de SOA pode ser facilmente desrespeitado dependendo do projeto do software.

O framework Iguassu oferece um conjunto de classes de controle adicionais aos frameworks MVC, tornando obrigatória uma organização hierárquica do software e o uso de alguns padrões de projeto que ajudam a manter uma boa organização do código e uma facilidade para sua evolução. Um software projetado para usar o Iguassu deve seguir a arquitetura apresentada na Figura 8.3.



**Figura 8.3:** Arquitetura do Framework Iguassu.

A arquitetura do Iguassu é de fato orientada a serviços e segue uma hierarquia com as seguintes camadas: Aplicações, Módulos, Serviços e Dados. Com o Iguassu, os frameworks MVC são usados para mapear requisições a aplicações Web, ou seja, cada Aplicação passa a ter um único Action. A

Aplicação é dividida em Módulos, e cada Módulo possui um conjunto de Serviços. O mapeamento de uma requisição Web a um Serviço é então feito em três etapas. Após ser mapeada pelo framework MVC, a Action padrão da aplicação despacha a requisição para o Módulo correto, que por sua vez delega a execução do serviço a uma classe que implementa aquele serviço. Esses mapeamentos são configurados em arquivos XML independentes, sendo um arquivo XML para cada aplicação e um para cada módulo, além do arquivo de configuração do framework MVC usado.

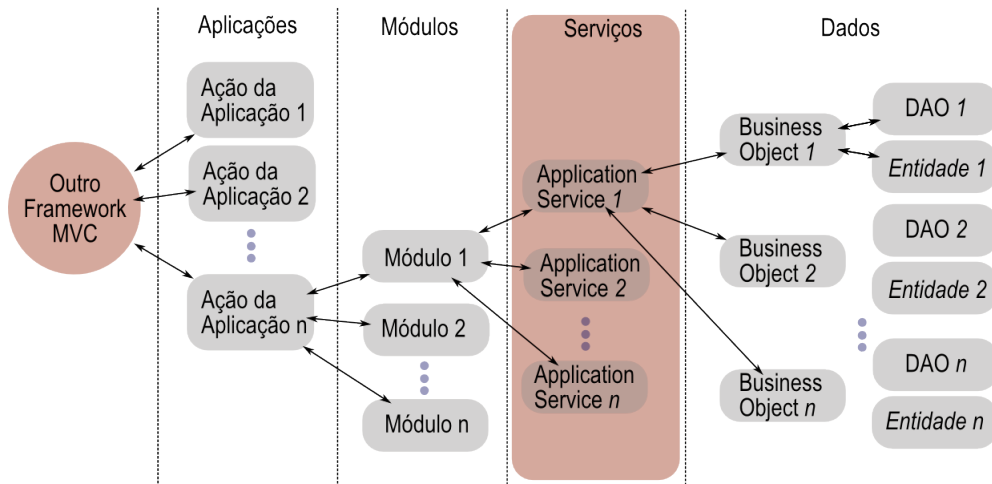
As classes de Serviço não interagem diretamente com bases de dados. A camada de Serviços acessa os dados da aplicação através de classes que representam o modelo de domínio da aplicação. O modelo de domínio da aplicação deve ser representado por um diagrama de classes. Não é necessário transformar o diagrama de classes em tabelas de uma base de dados, pois o Iguassu utiliza um framework objeto relacional que se ocupa disto. O framework objeto relacional utilizado na implementação atual do Iguassu é o JPOX (Java Persistent Objects). Cada classe do diagrama é então implementada por três classes no Iguassu: uma Entidade, um Data Access Object (DAO) e um Business Object. A Entidade contém os atributos da classe em formatos que o framework objeto relacional pode persistir, e o DAO é responsável por interagir com esse framework. O Business Object é quem tem informações sobre o que pode ou não ser feito com os atributos da Entidade e em que momento um objeto pode ser persistido.

Apesar de aparentemente complicado, todas as informações necessárias para se organizar um software pela arquitetura do Iguassu fazem parte do projeto do software e estão disponíveis em diagramas, podendo ser gerada uma grande quantidade de código automaticamente, como:

1. Todas as classes das camadas de Aplicação, Módulos e Dados, a partir do diagrama de classes. A geração automática do código da camada de Dados é facilitada pelo uso dos padrões de projeto citados acima.
2. Todos os serviços de manutenção de dados, conhecidos como CRUD (do inglês Create, Read, Update, Delete), também a partir do diagrama de classes.
3. Serviços que implementam regras de negócio que são apenas combinações dos resultados de outros serviços, sem uso de bibliotecas externas ao software. Esses serviços podem ser gerados a partir de diagramas de processos de negócio ou diagramas de fluxo.

Além disso, todo o código gerado pode usufruir de uma infraestrutura de software que permite multithread e um controle avançado de transações, segurança nos dados, etc.

Os desenvolvedores passam a implementar apenas classes na camada de Serviços, destacada na Figura 8.4. Mesmo assim, implementam apenas serviços que utilizam bibliotecas externas. Um serviço que gera dados para um relatório, por exemplo, pode ser descrito através de um diagrama de processos de negócio. Porém, os dados gerados por esse serviço devem ser tratados por uma ferramenta que os transforma em formatos imprimíveis ou visualizáveis (PDF, HTML, etc). Assim, o desenvolvedor se ocupa de implementar o uso da ferramenta externa de geração de relatórios.



**Figura 8.4:** Arquitetura do Framework Iguassu, com destaque para a camada cujo código não é gerado automaticamente.

O Iguassu poderia gerar também interfaces gráficas baseadas em regras pré-definidas. No entanto, isso demandaria um projeto de interfaces que seja tão padronizado quanto a arquitetura apresentada nas Figuras 8.3 e 8.4. Esse é um trabalho futuro.

Finalmente, para se desenvolver uma aplicação usando o Iguassu são necessários:

1. Modelar o domínio do problema com um diagrama de classes
2. A partir do XMI do diagrama, gerar automaticamente o código das camadas de Aplicação, Módulos e Dados, e o código dos serviços básicos de CRUD
3. Descrever regras de negócio com ferramentas Business Process Management System (BPMS)
4. Gerar código de serviços avançados a partir do BPMS
5. Desenvolver as interfaces gráficas

Há duas motivações principais para o uso do Framework Iguassu neste trabalho:

1. Iniciar um processo de criação de softwares Web modulares no grupo de pesquisa em Biodiesel. Módulos de software poderão ser compartilhados por diferentes aplicações, de forma que as aplicações sejam, pouco a pouco, integradas em um único servidor.
2. Validar o Framework Iguassu. O Framework tinha sido usado apenas por uma aplicação, com interfaces usando a tecnologia OpenLaszlo. Neste trabalho, o framework, foi testado usando interfaces gráficas em Java.

#### 8.2.4 Análise das Imagens do Experimento

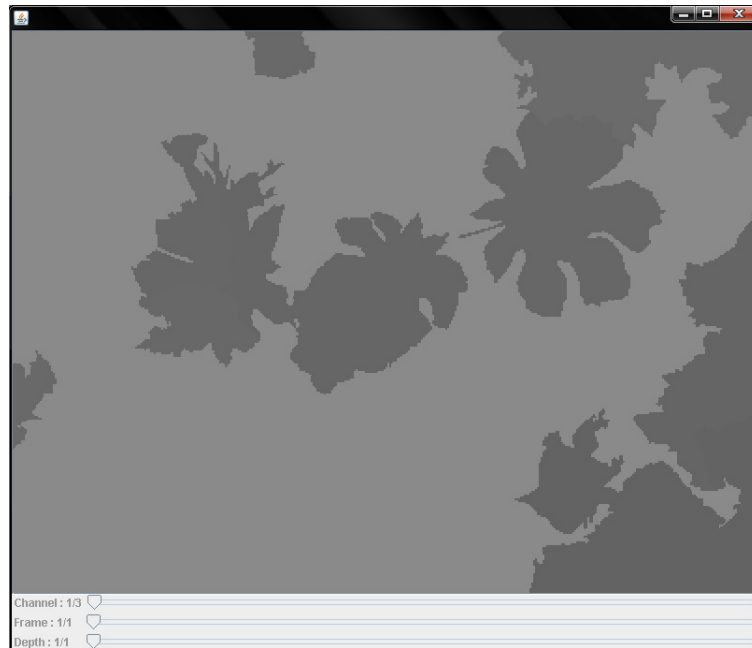
Para medir a área de incidência de radiação solar na cultura, foi convencionado que essa área corresponde à quantidade de pixels correspondente ao solo visível.

Com o intuito de segmentar estas regiões de pixels, o usuário utilizou uma interface interativa do software desenvolvido, inserindo marcadores de acordo com a área de interesse de sua pesquisa, como mostra a Figura 8.5 e o resultado da operação na Figura 8.6.



**Figura 8.5:** Inserção dos marcadores para segmentar a imagem e o resultado da operação.

Com o intuito de obter uma boa relação do tamanho dos pixels da imagem com a área real correspondente, a inserção do objeto de referência impede que as variações na altura da câmera interfiram nas dimensões da imagem. Portanto o trabalho consistiu em segmentar o solo e o objeto de referência na imagem e, em seguida, apresentar dados legíveis ao usuário, medir o número de pixels do solo e



**Figura 8.6:** Resultado da Segmentação por Watershed por marcadores da Figura 8.5.

o número de pixels do objeto de referência, obtendo a área do solo em pixels. Para obter a área em unidade de medidas reais, foi aplicada a relação:

$$N_{ps} + N_{po} = A_s \quad (8.1)$$

$$N_{po} = A_{or} \quad (8.2)$$

onde  $N_{ps}$  é o número de pixels de solo visível,  $N_{po}$  é o número de pixels do objeto de referência,  $A_s$  é a área de solo visível e  $A_{or}$  é a área do objeto de referência.

### 8.2.5 Geração de Relatório

Com todos os testes armazenados no banco de dados, foi desenvolvida uma interface que permite geração de um relatório com os dados e as imagens deste experimento. Ao selecionar o nome do experimento e executar a ação associada ao componente (botão), o Iguassu é ativado e, como descrito anteriormente, carrega todos os dados pertinentes ao relatório selecionado, compõe uma mensagem web de resposta e devolve a responsabilidade da execução para a interface organizar os dados na forma de relatório, dando uma segunda opção de arquivamento do experimento ao pesquisador.

## Capítulo 9

# Resultados e Discussão

Os resultados deste trabalho podem ser divididos em duas etapas. Primeiramente a aquisição e o processamento das imagens obtidas, seguidos pelo desenvolvimento do software.

### 9.1 Aquisição e Processamento de Imagens

#### 9.1.1 Uso do Espaço de Cor LAB

Visando facilitar a segmentação e evitando trabalhar com imagens coloridas, vários pré-processamentos para realçar os objetos da imagem e tentativas de segmentação, de forma automática, utilizando o ImageJ® foram aplicados nas imagens capturadas. Porém não apresentaram resultados muito satisfatórios, por apresentarem diversos elementos que apenas são separados de forma mais criteriosa, como as pequenas áreas de solo entre as folhas.

Dentre essas tentativas, a separação das componentes no espaço de cor LAB apresentou um excelente resultado de contraste entre folhas e solo no canal  $a$ , apresentando uma alternativa direta ao método de segmentação de solo e plantas proposto por (ONYANGO; MARCHANT, 2003). Apesar de não se tratar de um filtro e possuir uma complexidade proporcional ao tamanho da imagem, o custo da transformação para o espaço LAB não consome tanto processamento quanto uma filtragem, mas é considerável devido à precisão dos cálculos aplicados nesta conversão, pelo fato de não existir uma conversão direta do espaço RGB e para o LAB.

Além disso, como o processamento é feito apenas na componente  $a$  do espaço LAB, é como se este fosse feito em uma imagem em escala de cinza, o que reduz ainda mais o custo computacional, caso fosse aplicado sobre uma imagem colorida.

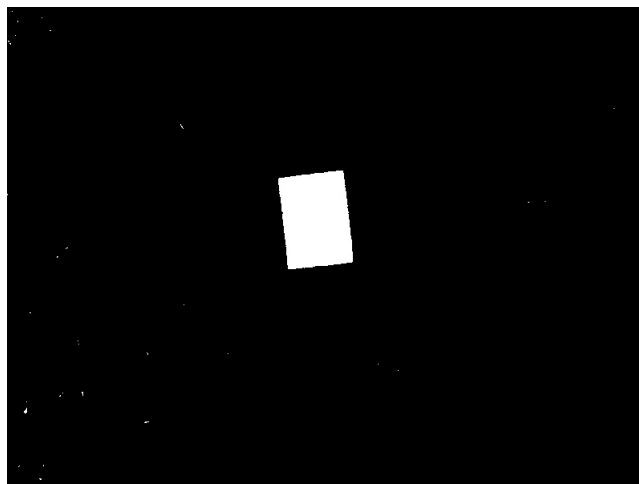
### 9.1.2 As técnicas de Morfologia Matemática

Devido ao fato de ter sido inserido um elemento “estranho” na imagem (objeto de referência), questionou-se a possibilidade deste interferir na análise da imagem, porém a separação de componentes no espaço LAB também se mostrou favorável em um pré-processamento da folha. Por ser um espaço de cor que isola luminância e cromaticidade, a folha na cor branca é facilmente identificada na componente  $b$ , o que permitiu segmentá-la facilmente, aplicando uma operação de abertura por um quadrado seguido de *threshold*. Esta operação foi possível pelo fato de as bordas da imagem estarem paralelas às linhas da cultura.

A Figura 9.1 mostra o destaque da folha em relação ao restante da imagem na componente  $b$  da imagem e a Figura 9.2



**Figura 9.1:** Imagem original e realce do objeto de referência (papel sulfite), visualizando apenas a componente  $b$ .



**Figura 9.2:** Segmentação da imagem 9.1.

Outro fator importante no uso do espaço de cor LAB é que o alto contraste - entre folhas e solo - permitiu a introdução de métodos automáticos para segmentar a imagem, mas os “espaços vazios”, onde os vegetais se concentram, eram ignorados, o que poderia falhar na correção da análise. Para este fim, foi aplicado o Watershed por marcadores de forma interativa, o que permitiu que as segmentações de pequenas áreas fossem mais precisas e incluídas na medição de área.

Mesmo que as plantas não possuem uma forma exata de crescimento, há uma idéia de como esse crescimento irá se comportar, uma vez que a segmentação é feita de forma interativa, o Watershed foi muito satisfatório pelo fato de que não ter sido encontrado nenhum modelo que defina, com exatidão, como cada folha irá crescer e posicionar.

Estes resultados podem ser vistos na Figura 9.3, que mostra o número de marcadores utilizados em uma das imagens do experimento, na Figura 9.4 que mostra a segmentação em nível de cinza e na Figura 9.5 na forma binária para fazer a contagem de pixels.



**Figura 9.3:** Marcadores em uma das imagens do experimento.

No que se refere à análise de imagens, como há perda de informação nas conversões de espaço de cor e pelo fato da utilização do formato JPEG (que é um formato que possui perdas), o erro na quantificação dos pixels da área de interesse é aceitável no contexto em que os cálculos estão sendo feitos, devido ao fato de que a segmentação é feita de forma interativa pelo pesquisador, o que auxilia minimizar os erros.



**Figura 9.4:** Segmentação da imagem 9.3 em níveis de cinza.



**Figura 9.5:** Segmentação da imagem 9.3 na forma binária.

### **9.1.3 Sistema de Referenciamento**

O sistema de referenciamento aplicado para cada imagem foi um dos fatores que permitiu a realização do histórico do experimento pois, além disto, através de uma seqüência de imagens de um mesmo ponto, da técnica de subtração de imagens e do período de aquisição permite-se extrair dados do crescimento da cultura através de operações de subtração nesta seqüência de imagens.

## 9.2 Desenvolvimento de Software

### 9.2.1 Validação do Framework

O Framework Iguassu foi sugerido como suporte para o desenvolvimento deste sistema, com o intuito de se tornar um framework padrão para as aplicações envolvidas do Projeto Biodiesel.

No entanto, o framework está em fase de desenvolvimento, e é necessário que diversas aplicações o utilizem para que as principais necessidades de desenvolvedores sejam detectadas e implementadas. O software deste trabalho demandou atualizações no Iguassu, que não suportava e agora suporta:

- Interfaces gráficas em Java. Para isso, foi gerada apenas uma classe auxiliar em Java para transformar uma lista de objetos Java em mensagem Web (em XML).
- Persistência de imagens em banco de dados. Até o momento não existia a persistência de arquivos binários na base de dados.

Além das novas necessidades, foram também detectados erros de implementação nas classes de infraestrutura do Iguassu. O reporte dos erros foi feito ao desenvolvedor e, a partir dele, foram feitas as correções e melhorias na organização do código.

A performance do framework também foi avaliada. O uso de frameworks gera acréscimos nos tempos de execução de serviços. Foram detectados trechos de código que podem ser otimizados na implementação do framework.

### 9.2.2 Adversidades de Implantação do Iguassu

A implantação do Framework Iguassu, apesar da sua proposta de simplificação de trabalho, não apresenta uma configuração inicial muito intuitiva, exigindo do administrador do servidor conhecimento em serviços web, servlets e aplicações específicas, como o Apache® Tomcat®. A elaboração de um manual para desenvolvedores e para usuários, além de permitir uma configuração correta do framework, apresentaria conceitos em padrões de projeto, modularização e arquitetura orientada a serviços. O uso do Iguassu neste trabalho motivou os projetistas do framework a desenvolver uma aplicação exemplo e um tutorial.

A geração de código do Iguassu não está completa. A codificação que deveria ser gerada automaticamente ainda é feita de forma individual pelo programador. Desta maneira, a complexa organização do software faz com que a implementação seja extremamente burocrática e demorada.

Concluiu-se que o Iguassu precisa de ajustes para que seja realmente uma ferramenta de aumento de produtividade. Para isso, ainda existe uma quantidade importante de desenvolvimento a ser feita.

### **9.2.3 Criação de um Banco de Dados dos Experimentos**

O desenvolvimento desse sistema permitiu a organização de um banco de dados de informações sobre consórcios de oleaginosas, contendo vários registros de experimentos em diversas situações. Esse conhecimento será usado como suporte para melhoria das pesquisas realizadas pelo Projeto Biodiesel, além da possibilidade de aplicação das informações para a escolha da melhor cultura para cada ambiente específico, melhorando a produção, mesmo quando houver limitações de áreas agrícolas.

### **9.2.4 Desenvolvimento da Aplicação**

A construção desse software permitiu um melhor gerenciamento dos experimentos de consórcio de plantas oleaginosas, pois, além de possibilitar um registro de seu histórico através da geração de relatórios pelo Iguassu, permite a adição de módulos, nesta aplicação, que incrementam a capacidade de gerenciamento e análises das características não só em uma cultura, mas em todo o campo. Esse programa dispensa outros aplicativos, tais como processadores de texto e planilhas eletrônicas, que também podem gerenciar e analisar atividades, mas atuam de forma isolada, dificultando a organização e a visualização de todo o trabalho. Assim, a utilização desse software promoverá maior eficiência na condução e avaliação dos projetos.

Um dos grandes motivos da utilização do Framework Iguassu foi o fato de exigir que o desenvolvedor trabalhasse bem na modelagem do sistema para transferir a responsabilidade do controle da aplicação para o framework. A Figura 9.6 apresenta o diagrama de classes utilizado para o desenvolvimento do sistema.

Uma opção feita no desenvolvimento do software foi por deixar o processamento mais oneroso na máquina do cliente para não sobrecarregar o servidor, com o intuito de dividir a carga de processamento e estudar esta viabilidade de apenas armazenar diretivas ou instruções na base de dados que permitam que o filtro seja aplicado sem prejuízo na imagem ao invés de guardar cada análise feita na base de dados, exigindo desta uma grande capacidade de armazenamento, ou seja, o custo computacional é feito pelo cliente e o servidor fica apenas com o custo de gravar e enviar dados relacionados ao experimento, como pode ser observado na modelagem - Figura 9.6.

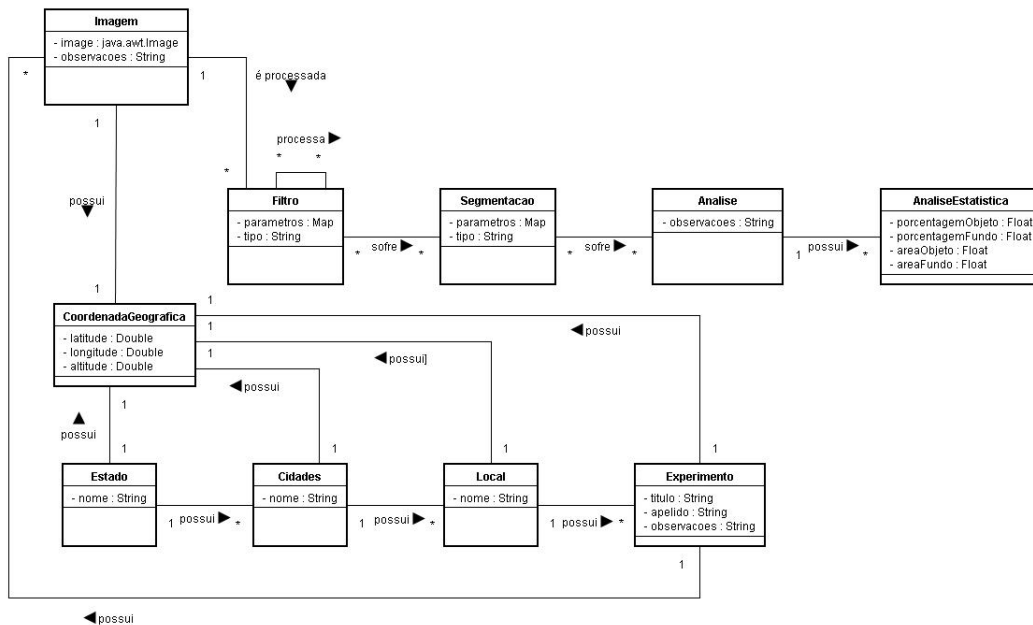


Figura 9.6: Diagrama de Classes do sistema desenvolvido.

A Figura 9.7 apresenta a tela de inserção dos dados gerais do experimento, sobre o qual o usuário trabalha todas as análises de imagens.

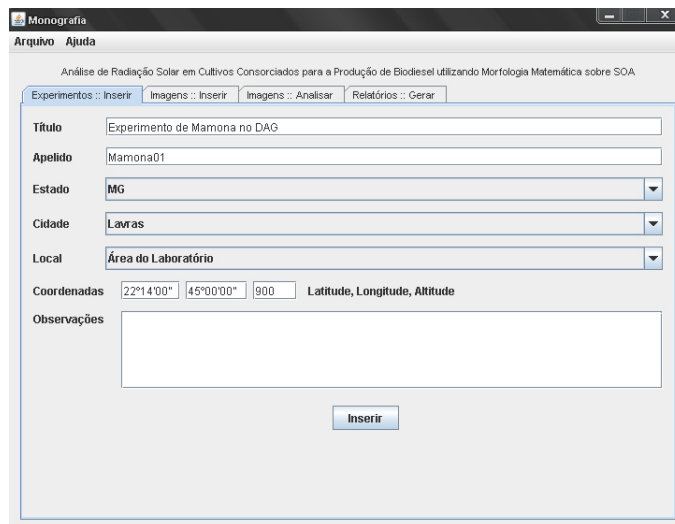
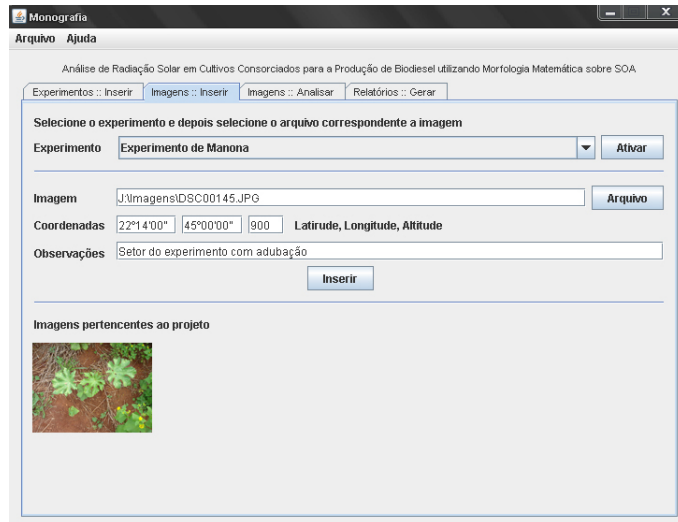


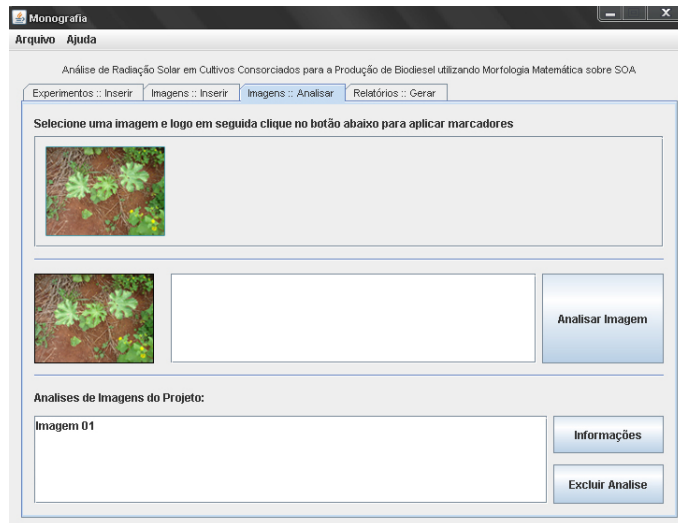
Figura 9.7: Tela de Inserção do Experimento.

A Figura 9.8 apresenta a tela que permite ao usuário selecionar as imagens capturadas em campo e as enviá-las ao banco de dados.



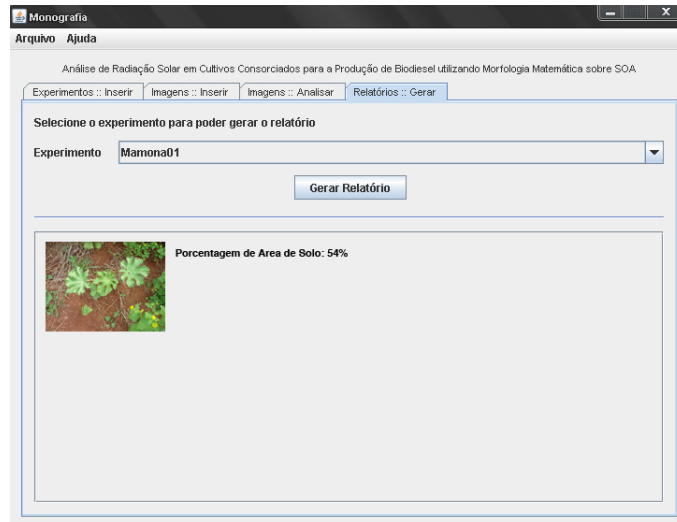
**Figura 9.8:** Tela de Inserção das Imagens capturadas em campo.

A Figura 9.9 apresenta a tela que permite ao usuário selecionar, dentre as imagens do experimento, aquela em que ele deseja fazer as análises de forma interativa.



**Figura 9.9:** Tela de Organização das Análises de Imagens.

A Figura 9.10 apresenta a tela que permite ao usuário exibir um relatório geral de todas as imagens inseridas no experimento, mostrando a imagem e a relação de porcentagem de área livre de incidência de radiação.



**Figura 9.10:** Tela de Geração do Relatório do Experimento.

### 9.2.5 Modularização

A principal motivação em se utilizar o Iguassu e a linguagem de programação JAVA foram as suas capacidades de modularização. Essa característica permite compartilhar módulos em diferentes aplicações. O uso de imagens no Projeto Biodiesel ocorre tanto em aplicações no campo quanto em laboratório. Cada uma dessas aplicações possui seu próprio software, que pode utilizar o mesmo módulo de imagens, o mesmo banco de dados, o mesmo servidor Web e o mesmo módulo de controle de acesso, autenticação e autorização.

Além disso, a capacidade de modularização permite a criação de aplicações, mesmo simples, de forma mais ágil e centralizada para as necessidades do Projeto Biodiesel.

### 9.2.6 Processamento Digital de Imagens em Java

A principal dificuldade encontrada na área de processamento de imagens utilizando a linguagem Java foi devido ao fato de que as bibliotecas pesquisadas e utilizadas não utilizam métodos diretos de manipulação dos objetos nativos da linguagem *java.awt.image* e *java.awt.BufferedImage* e sim criam seus próprios objetos de manipulação de imagem e a conversão entre estes tipos não estava presente ou não é feita de forma intuitiva.

O que se observa é que estas bibliotecas ou extensões de processamento de imagem para Java, geralmente, são específicas e dependentes, não permitindo a extração de módulos para executar uma determinada função, além de diversas falhas na documentação, muitas vezes incompleta.

### **9.3 Relação de custos**

Devido ao alto custo de uma imagem de satélite, e esta possuir a capacidade de segmentar satisfatoriamente uma área vegetal devido à presença de sensores no equipamento, cujo comprimento de onda as folhas respondem muito bem, outras alternativas de baixo custo podem ser implementadas. O acoplamento da máquina digital em um tripé, deixando a lente paralela à superfície onde está instalada a cultura apresentou resultados satisfatórios que permitem uma boa relação entre a imagem e a área real, de forma a poder organizar melhor o experimento, implicando a redução dos custos para permitir o uso da tecnologia em pequenas propriedades agrárias.

# Capítulo 10

## Conclusão

### 10.1 Conclusão

A necessidade de um melhor aproveitamento de sua área de cultivo, tem levado um investimento em estudos sobre otimização no uso do solo. Uma das opções para esta otimização é a utilização de cultivos consorciados. Porém estudos para determinar quais cultivos consorciar necessitam de especialização, por exemplo, um centro de pesquisa implicando algumas vezes em um custo não muito acessível ao pequeno produtor.

Como possível alternativa a este problema, foi desenvolvido um software que analisa uma das variáveis fundamentais para determinação de qual ou quais cultivos podem ser praticados em uma determinada área, o aproveitamento da radiação solar, fator de suma importância quando se trata de cultivos consorciados, por meio de processamento digital de imagens.

Buscando a customização do software de acordo com as necessidades, o software foi modularizado para permitir que profissionais da área ofereçam consultoria utilizando desse software como apoio na tomada de decisão e permitir que, através de demanda, outros serviços sejam acoplados (desenvolvidos) para incrementar esta oferta.

Uma vez que o Framework Iguassu é o responsável por manipular e tratar as informações enviadas pelo usuário, a sua validação constante se faz necessária para poder manter e continuar oferecendo um suporte a integridade dos módulos a serem desenvolvidos, gerando uma solução de software a todo segmento da cadeia produtiva do Biodiesel.

Assim sendo aliou-se à necessidade do pequeno produtor, a oportunidade de incentivos para estudos com biocombustíveis e tecnologia computacional viável de forma a contribuir com o desenvolvimento sustentável.

## 10.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, propõe-se:

- Aprimorar e estudar as ferramentas de processamento digital de imagens para, através do histórico do experimento, criar uma superfície de crescimento da área de interceptação de radiação solar direta.
- Verificar a viabilidade e a interferência da análise da radiação solar difusa por processamento de imagens através de imagens coloridas.
- Criar serviços novos e complementares a este projeto, através da validação do Framework Iguassu, com o intuito de atender de forma rápida a demanda por aplicações do Projeto Biodiesel.
- Pesquisar e estudar técnicas de processamento digital de imagens para combinar técnicas que possam identificar e segmentar as culturas utilizadas em cultivos consorciados.
- Pesquisar a melhor forma de distribuir o processamento das atividades entre o cliente e o servidor, em uma arquitetura orientada a serviços.
- Continuar a validação do Framework Iguassu, de forma a solidificar a ferramenta como base de integridade para o desenvolvimento de futuros serviços.
- Estender este serviço de análise de radiação solar direta para áreas de cultivos consorciados de grande porte.

# Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, M. P. de; ALBUQUERQUE, M. P. de. *Processamento de Imagens: Métodos e Análises*. Novembro 2000. Artigo para o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF.

AZEVEDO, D.; LIMA, E. F.; SANTOS, J. W.; BATISTA, F. A. S.; NÓBREGA, L.; VIEIRA, D. J.; R., P. J. População de plantas no consórcio mamoneira/caupi. i. produção e componentes da produção. *Revista Oleaginosas e Fibrosas*, v. 3, p. 13–20, 1999.

BRASIL, C. C. da Presidência da República Federativa do. *Lei número 11.097, de 13 de janeiro de 2005*. Janeiro 2005. Disponível em: <[http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097\\_13jan2005.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097_13jan2005.pdf)>.

CAPPELARO, E. A.; MENDONÇA, F. C.; TEIXEIRA, J. *Você sabe o que é uma câmera digital?* Agosto 2007. Internet, acessado em 20 de agosto de 2007. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/licenciatura/trabalhos/camera.htm>>.

CARVALHO, A. A. de. *Estudo para implementação de Algoritmos clássicos para processamento digital de imagens*. Julho 2003. Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal de Lavras.

CARVALHO, A. J. de. *Desempenho técnico-econômico de sistemas intercalares do feijoeiro-comum em lavouras de café (Coffea arabica) adensado*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Lavras, 2005.

CASTRO, P. R. de Camargo e. *Ecofisiologia da Produção Agrícola*. [S.l.]: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1987. 249 p.

CEBALLOS, J. C.; BOTTINO, M. J. Estimativa de radiação solar por satélite desempenho do modelo operacional gl1.2. In: *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. [S.l.]: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004.

CHAGAS, J. M.; ARAÚJO, G. A. A.; VIEIRA, C. O consórcio de culturas e razões de sua utilização. *Informe Agropecuário*, v. 118, p. 92, 1984.

- CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. [S.l.]: INPE, 1993. 205 p.
- CONSORTIUM, W. *Extensible Markup Language (XML)*. Abril 2008. Internet, acessado em 21 de abril de 2008. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/>>.
- CONSORTIUM, W. *Simple Object Access Protocol (SOAP) 1.1*. Abril 2008. Internet, acessado em 21 de abril de 2008. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508/>>.
- CORPORATION, A. *Modo de Cores LAB*. Maio 2008. Internet, acessado em 16 de maio de 2008. Disponível em: <[http://help.adobe.com/pt\\_BR/Photoshop/10.0/](http://help.adobe.com/pt_BR/Photoshop/10.0/)>.
- CORREIA, L. H. A. *Aulas de Redes de Computadores*. Janeiro 2006. Apostila de Estudos da Disciplina de Redes de Computadores, acessada em 31 de janeiro de 2006. Disponível em: <<http://alunos.dcc.ufla.br/file.php/07%20-%20Aulas/capitulo01.pdf>>.
- DOUGHERTY, E. R.; LOTUFO, R. A. *Hands-On Morphological Image Processing*. [S.l.]: SPIE-International Society for Optical Engine, 2003.
- EPTV. *Biodiesel Social*. Março 2008. Reportagem exibida pelo Jornal Regional da EPTV - 2ª Edição em 07/03/2008. Disponível em: <<http://www.eptv.com>>.
- FOGAGNOLI, M. *Desenvolvimento da Metodologia para Análise de Atributos da Cor Através do Processamento Digital de Imagens*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- FREIRE, A. *Mistura maior de biodiesel será obrigatória em julho, diz ANP*. Março 2008. Internet, acessado em 20 de maio de 2008. Disponível em: <<http://g1.globo.com/>>.
- G1, P. de N. *Lula critica UE por culpar Brasil por alta do preço dos alimentos*. Maio 2008. Internet, acessado em 20 de maio de 2008. Disponível em: <<http://g1.globo.com/>>.
- GAMMA, E.; HELM, R.; JOHNSON, R.; VLISSIDES, J. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1994. 416 p.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento Digital de Imagens*. 2. ed. [S.l.]: Addison-Wesley Publishing Company, INC, 1992. 509 p.
- LEFÈVRE, S. *Supervised Watershed*. Março 2008. Internet, acessado em 22 de março de 2008. Disponível em: <<http://dpt-info.u-strasbg.fr/~lefevre/>>.

LIMA, F. Z. de. *Análise da Eficiência do Uso da Radiação Solar da Água pela Cultura da Soja (Glycine max (L.) Merrill), Submetida a estresse de Luz e Água*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, 2002.

MARANI, A.; EPHRATH, J. Penetration of radiation into cotton crop canopies. *Crop Science*, v. 25, p. 309, 1985.

MONTEIRO, J. V.; SCHMIDT, P. A.; FRAGA, A. C.; NETO, P. C. Influência do túnel de crescimento da cultura da mamona (*ricinus communis* L.) em cultivo consorciado. In: *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel*. [S.l.]: 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel, 2004.

NETO, P. C.; FRAGA, A. C.; ANDRADE, M. J. B.; GUIMARÃES, R. J.; BOTREL, E. P.; DANFÁ, S.; CARVALHO, E. R.; JÚNIOR, M. A. D.; DOURADO, D. C.; AVELAR, R. C.; QUINTILIANO, A. A. Arranjos populacionais de mamona, feijão e café podado, para produção alimentar e energética. In: *Anais do 2º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel*. [S.l.]: 2º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel, 2005.

NETO, P. C.; FRAGA, A. C.; FERREIRA, J. B.; CASTRO, H. P. de; AVELAR, R. C.; DOURADO, D. C.; JÚNIOR, M. A. D.; DANFÁ, S.; QUINTILIANO, A. A. Mamona em consórcio com com lavoura de café recepado. In: *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel*. [S.l.]: 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel, 2004.

NETO, P. C.; FRAGA, A. C.; MONTEIRO, J. V.; SCHMIDT, P. A.; FERREIRA, J. B.; CASTRO, H. P. de; AVELAR, R. C.; ELISEI, R. Arranjos populacionais de mamona, cultivados em consórcio com lavoura de café recepado. In: *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel*. [S.l.]: 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel, 2004.

NETO, P. C.; FRAGA, A. C.; MONTEIRO, J. V.; SCHMIDT, P. A.; SILVA, C. A. B. e; MORAES, N. M. F.; HORLE, D. C.; QUINTILIANO, A. A. Diferentes arranjos de mamona, feijão e café podado, para produção alimentar e energética em sistema de agricultura familiar. In: *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel*. [S.l.]: 1º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biodiesel, 2004.

- NICOLAU, L. A. *Sistema de Informação Geográfico-Gerencial Aplicado à Gestão da Qualidade na Segurança Pública*. Julho 2005. Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal de Lavras.
- ONYANGO, C. M.; MARCHANT, J. A. Segmentation of row crop plants from weeds using colour and morphology. *Computer and Eletronics in Agriculture*, v. 39, p. 141–155, 2003.
- PARENTE, E. J. de S. *Processo de Produção de Combustíveis a Partir de Frutos ou Sementes Oleaginosas – Biodiesel*. Outubro 1983. Patente: Privilégio de Inovação, PI8007957, 14 de junho de 1983 (depósito); 08 de outubro de 1983 (concessão).
- PETRÓLEO, A. N. do. *Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005*. Janeiro 2005. Internet, acessado em 17 de agosto de 2007. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/>>.
- PINO, M. A. I. T. del; RODARTE, J. F. *Desenho Técnico I*. [S.l.]: UFLA, 2000.
- RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G. *The Unified Modeling Language Reference Manual*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1999. 568 p.
- SAÚDE, A. V. *Aulas sobre Conectividade e Distância*. Junho 2007. Guia de Estudos da Disciplina de Visão Computacional, acessado em 13 de agosto de 2007. Disponível em: <[http://alunos.dcc.ufla.br/file.php/14% -/Aulas/aula03a06.pdf](http://alunos.dcc.ufla.br/file.php/14%20-%20Aulas/aula03a06.pdf)>.
- SEARA, D. M. *Algoritmos Para Detecção de Bordas*. Março 2008. Internet, acessado em 30 de março de 2008. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~visao/1998/seara/index.html>>.
- SEVERINO, L. S.; FILHO, J. L. da S.; SANTOS, J. B. dos; ALENCAR, A. R. de. *Plantio de Algodão Adensado no Oeste Baiano: Safra 2002-2003*. [S.l.], 2004.
- WANGENHEIM, A. V. *Introdução a Visão Computacional*. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 32 p.
- WANGENHEIM, A. V. *Técnicas de Segmentação Simples no Espaço de Valor*. Março 2008. Internet: <http://www.inf.ufsc.br/~visao/threshold.html>, acessado em 30 de março de 2008.
- WIKIPEDIA. *RGB Color Space*. Março 2008. Internet, acessado em 30 de março de 2008. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/rgb\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/rgb_color_space)>.
- ZANETTI, P.; DELFINE, S.; ALVINO, A. A mathematical approach for estimating light absorption by a crop from continuous radiation measurements and restricted absorption data. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 22, p. 71–81, 1999.