

**SOFTWARE PARA PROCESSAMENTO POR
IMAGEM E CÁLCULO DE MASSA DE
FORRAGEM EM PASTAGENS TROPICAIS**

EDSON DA SILVA CASTRO

**SOFTWARE PARA PROCESSAMENTO POR
IMAGEM E CÁLCULO DE MASSA DE
FORRAGEM EM PASTAGENS TROPICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Computação Aplicada da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada.

ORIENTADOR: MILTON ERNESTO ROMERO ROMERO

COORIENTADORES: EVANDRO MAZINA MARTINS

ROBERTO GIOLO DE ALMEIDA

Campo Grande/MS

Agosto de 2016

Castro, Edson da Silva

SOFTWARE PARA PROCESSAMENTO POR IMAGEM E
CÁLCULO DE MASSA DE FORRAGEM EM PASTAGENS
TROPICAIS / Edson da Silva Castro. — Campo Grande/MS,
2016

xiii, 85 f. : il. ; 29cm

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul

Orientador: Milton Ernesto Romero Romero

1. banco de dados; carga de dados históricos; ILPF;
pastagens tropicais; pecuária de precisão; processamento digital
de sinais; software. I. Título.

A Deus.

Aos meus pais, Joviniano de Castro (in memoriam) e Edith Lopes da Silva Castro.

À minha esposa Clarissa Assis de Oliveira Castro.

À minha filha Sarah Beatriz Assis de Oliveira Castro (mini estrela) e aos outros filhos que Deus me agraciou.

Às minhas irmãs, Sueli Aparecida da Silva Castro, Marcia da Silva Castro e Marina da Silva Castro.

A todos os meus familiares e amigos.

Dedico.

Agradecimentos

A **Deus**.

Ao meu orientador, professor **Milton Ernesto Romero Romero**.

Aos meus coorientadores, professores **Evandro Mazina Martins** e **Roberto Giolo de Almeida**.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (**UFMS**).

À Faculdade de Computação (**FACOM-UFMS**).

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (**EMBRAPA**).

Ao Centro Tecnológico em Informática e Eletrônica de Mato Grosso do Sul (**CTEI-MS**).

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (**IFMS**).

Aos meus **pais, irmãs, esposa, filha e amigos**.

A todos os **meus professores** deste programa de mestrado.

Aos **membros da banca avaliadora**.

Ao padre **Tadeu Canavarros**.

Aos professores **Marcelina Teruko Fujii Maschio** e **Marco Hiroshi Naka**.

A todos aqui não mencionados e que contribuíram para a realização deste trabalho.

“Estou aqui para falar pelo direito de cada criança à educação e quero educação para os filhos e filhas de todos os extremistas, especialmente para os filhos e filhas dos talibãs. É por isso que eles atacam escolas todos os dias: porque têm medo da mudança, da igualdade que vamos trazer para a nossa sociedade.”

(Malala Yousafzai)

Resumo

Neste trabalho efetuou-se um estudo com o intuito de desenvolver um novo método acurado para estimar a massa seca de forragem em pastagens tropicais, por meio de visão computacional e processamento digital de sinais. Trabalhou-se inicialmente na segmentação de imagens de folhas e colmos de gramíneas, obtidas de câmeras digitais comuns, através de filtros no domínio da frequência.

Efetuiu-se também a análise, o projeto e o desenvolvimento de um software para cálculo de massa de forragem em pastagens tropicais e geração de uma série de indicadores quantitativos a ela relacionados. Este trabalho fez uso de dados originados de dois experimentos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), da Embrapa Gado de Corte, que se encontravam em planilhas. Detalham-se o planejamento e a execução da carga desses dados históricos para o banco de dados da aplicação. Para gerar maior confiabilidade às informações implementou-se um método para identificação de possíveis *outliers* nos dados.

Abstract

In this work a study in order to develop a new accurate method to estimate the dry matter forage in tropical grasses was made, by computer vision and digital signal processing. Initially worked up with image segmentation of leaves and stems of grasses, obtained from common digital cameras, using filters in the frequency domain.

The analysis, design and development of one software for forage mass calculation in tropical pastures and for generating a series of indicators related to it were made. This work made use of data coming from two experiments of integrated cropping-livestock-forest systems (ILPF), from Embrapa Beef Cattle, that were in spreadsheets. A detailed planning and execution to charge these historical data to the application database was performed. To generate greater reliability to the information, a method for identify possible *outliers* in the data was implemented.

Lista de Figuras

2.1	Bastão graduado	7
2.2	Disco medidor de forragem	7
2.3	Medidor de capacitância	8
2.4	Distribuição geográfica dos sistemas de ILPF - Brasil e Centro Oeste . . .	13
2.5	Croqui da área experimental - Experimento 1.	14
2.6	Níveis de sombreamento analisados em sistemas de ILPF.	15
3.1	Esquema para processamento de imagens por meio de mudanças de domínios RGB e HSV.	20
3.2	Esquema simplificado do processamento com transformadas de Fourier bidimensionais.	21
3.3	Respostas espectrais dos quatro filtros <i>ideais</i> mais comuns, no período $[-\pi, \pi]$. .	24
3.4	Antes e depois do processo de segmentação por limiarização para retirada do fundo magenta - amostra de forragem.	25
3.5	Uma imagem do mundo real e o registro de sua densidade espectral no domínio de Fourier.	26
3.6	Interpretação da densidade espectral da 2D DFT.	27
3.7	Exemplo de filtros passa-baixas e passa-altas.	28
3.8	Exemplos de filtros passa-bandas.	29
4.1	Planilha exemplo com dados da amostragem nº 22	34
4.2	Processo semiautomático para carga de dados históricos de disponibilidades de forragem - visão geral.	41
5.1	Abstração do projeto das visões para cálculo das informações de disponibilidades das frações como camadas de redes de computador.	44
5.2	Descrição diagramática - projeto físico do banco de dados	46
5.3	<i>Design</i> da tela de análise gráfica para conferência e detecção de anomalias nas amostras.	54

6.1	Segmentação por limiarização para discriminação do solo, material morto, material verde: 1) Imagem original da forragem; 2) Discriminação do solo descoberto, da moldura metálica e da régua de madeira; 3) Discriminação do material morto; 4) Discriminação da forragem verde; 5) Pouca informação nas faixas espectrais do azul ao magenta; 6) Correta separação de fundo da cor magenta.	56
6.2	Transformada de Fourier da imagem de um colmo.	57
6.3	Transformada de Fourier da imagem de uma folha verde.	57
6.4	Transformada de Fourier da imagem de uma folha seca.	58
6.5	Transformada de Fourier da imagem contendo uma folha verde e um colmo verde.	58
6.6	Plotagem bidimensional da transformada de Fourier das imagens de 1) uma folha verde, 2) um colmo verde e 3) uma folha e um colmo verdes (sem rotação e rotacionadas em 90^0).	60
6.7	Resmo da plotagem bidimensional da transformada de Fourier (figura 6.6).	61
6.8	Plotagem de superfície da transformada de Fourier das imagens de: 1) uma folha verde, 2) um colmo verde e 3) uma folha e um colmo verdes.	62
6.9	<i>MSForragem</i> : tela de busca por indicadores (ou <i>legenda</i>).	64
6.10	<i>MSForragem</i> : Tela para edição dos dados das avaliações de uma amostragem - recursos adicionais.	65
6.11	<i>MSForragem</i> : Tela para edição dos dados das avaliações de uma amostragem.	66
6.12	<i>MSForragem</i> : Tela de avaliações das disponibilidades de forragem.	68
6.13	<i>MSForragem</i> : Análise para conferência e detecção de possíveis anomalias (<i>outliers</i>) nas amostras - resultados dispostos no formato de tabela.	69
6.14	<i>MSForragem</i> : Análise para conferência e detecção de possíveis anomalias (<i>outliers</i>) nas amostras - resultados dispostos no formato de plotagem gráfica.	71
6.15	<i>MSForragem</i> : Análise para conferência e detecção de possíveis anomalias (<i>outliers</i>) nas amostras - sem informações das demais amostragens do grupo.	72
6.16	<i>MSForragem</i> : Desvios absolutos em torno da mediana (em comparação às medianas das amostras de mesma estação) para todos os indicadores.	74
6.17	<i>MSForragem</i> : Análise de todos os indicadores, discriminada por estação do ano.	75
6.18	Primeiras 55 linhas (de um total de 2965) do plano de execução da consulta relacionada ao Comando/Código 6.1 - representação tabular.	77
6.19	Primeiras 32 linhas (de um Total de 2965) do plano de execução da consulta relacionada ao Comando/Código 6.1 - representação gráfica.	78

Lista de Tabelas

4.1	Mapeamento das células de uma planilha para fins de carga dos dados históricos (exemplo - amostragem nº 22).	36
4.2	Processo de carga dos dados históricos - correção da numeração dos piquetes e limpeza das informações desnecessárias (exemplo - amostragem 22). . . .	37
4.3	Mapeamento dos indicadores (informações das avaliações) disponibilizados pela aplicação para cada avaliação.	38
5.1	Abstração do projeto das visões para cálculo das informações de disponibilidades das frações como camadas de redes de computador (legenda na tabela 4.3).	45
5.2	Resultado da consulta das medianas de todos os indicadores da amostragem de nº 1 cuja descrição inclui a palavra <i>seca</i>	51
6.1	Resultado da consulta relacionada ao Comando/Código 6.1.	79

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Comandos/Códigos	1
1 INTRODUÇÃO	3
2 FUNDAMENTAÇÃO BÁSICA	5
2.1 Estimativa da massa seca de forragem	5
2.1.1 Métodos destrutivos para estimativa da massa seca de forragem	5
2.1.2 Métodos não destrutivos para estimativa de massa seca de forragem	6
2.1.2.1 Bastão graduado	6
2.1.2.2 Disco medidor de forragem	7
2.1.2.3 Medidor de capacitância	8
2.1.2.4 Estimativa visual	8
2.1.2.5 Estimativa visual comparativa	8
2.1.3 Variáveis que interferem no resultado e razões para baixa acurácia dos atuais métodos não destrutivos em pastagens tropicais	9
2.2 Contextualização dos experimentos relacionados ao software	12
2.2.1 Área e período de estudo	12
2.2.1.1 Primeiro experimento	13
2.2.1.2 Segundo experimento	14
2.2.2 Níveis de sombreamento analisados em sistemas de ILPF	15

2.3	Projeto e desenvolvimento do software	16
2.3.1	Banco de dados	16
3	SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS DE FOLHAS E COLMOS DE GRAMÍNEAS ATRAVÉS DE FILTROS NO DOMÍNIO FREQUENCIAL	18
3.1	Processamento digital de sinais e visão computacional	19
3.1.1	2D Discrete Fourier Transform	20
3.1.1.1	Propriedades da 2D Discrete Fourier Transform	21
3.1.1.2	Fast Fourier Transform - FFT	23
3.1.1.3	Principais filtros no domínio da frequência	24
3.2	Separação de alvos amostrais com visão computacional	24
3.3	Objetivo do estudo e caracterização do sinal amostrado	25
3.4	Registro da densidade espectral no domínio da frequência	26
3.5	Interpretação da densidade espectral da 2D DFT	27
3.6	Filtros no domínio da frequência	28
3.7	Resultados e Discussão	30
4	CARGA DE DADOS HISTÓRICOS	31
4.1	Planejamento e análise de requisitos para carga dos dados históricos	31
4.2	Carga dos dados históricos	33
5	ANÁLISE, PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE - MSForragem	42
5.1	Objetivo e análise de requisitos	42
5.2	Projeto físico e implementação dos objetos do banco de dados	43
5.3	Metodologia escolhida para gerenciamento do desenvolvimento do software	53
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
7	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	81
	Referências Bibliográficas	83

Lista de Comandos/Códigos

4.1	Comando SQL para carga dos dados históricos de disponibilidade de forragem.	37
5.1	Fragmento da visão VAvaliacao_seca1: SQL para cálculo do total das frações com informação de matéria seca.	47
5.2	Comando SQL para criação da visão VAvaliacao_seca1.	47
5.3	Fragmento da Visão V_Outlier_Ini.	50
5.4	Consulta das medianas de todos os indicadores da amostragem de nº 1 cuja descrição inclui a palavra <i>seca</i>	51
6.1	Consulta SQL das medianas observadas no primeiro experimento para os grupos de indicadores de nº 4 e 5.	76

Lista de Equações

1	Transformada Direta de Fourier Bidimensional Discreta (2D DFT). . .	21
2	Transformada Inversa de Fourier Bidimensional Discreta (2D DFT). . .	21
3	Propriedade 2D DFT: Separabilidade.	22
4	Propriedade 2D DFT: Translação na Frequência.	22
5	Propriedade 2D DFT: Translação no Tempo.	22
6	Propriedade 2D DFT: Simetria do Conjugado.	22
7	Propriedade 2D DFT: Rotação.	23
8	Propriedade 2D DFT: Convolução no tempo.	23
9	Propriedade 2D DFT: Convolução na Frequência.	23

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

No âmbito do agronegócio, o Brasil construiu, nos últimos quarenta anos, um sistema produtivo altamente competitivo e eficiente. As contribuições provieram principalmente do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e das tecnologias produzidas por profissionais de diversas áreas do conhecimento. Todavia, grande esforço ainda será necessário para garantir a competitividade num cenário internacional com comércios cada vez mais exigentes. Tocante às inovações no agronegócio destacam-se o desenvolvimento de práticas como a agricultura de precisão e a zootecnia de precisão, que visam implantar, avaliar e monitorar, de forma precisa, especializada e específica, os processos dessas áreas. A Tecnologia da Informação vem se despontando como grande aliada, indispensável nesse desenvolvimento.

A pecuária de corte brasileira alcançou alto nível tecnológico, e o pasto continua sendo o principal alimento da dieta dos bovinos (expressivos 90%). É utilizado mesmo em sistemas altamente produtivos, como o manejo rotacionado. Portanto são diretas as relações entre o pasto, o ganho de peso dos animais, e o consequente retorno financeiro obtido com suas engordas. Daí a importância de se calcular a disponibilidade de massa seca de forragem das pastagens para consequente lotação animal.

Dentre os métodos não destrutivos preditores de estimativas de massa de forragem mais utilizados destacam-se o medidor de capacitância, o bastão graduado, o disco medidor de forragem e a estimativa visual. Para determinar a acurácia de quaisquer desses métodos comparam-se os valores obtidos com a massa seca da forragem, obtida por meio do método convencional, que além de destrutivo dispende tempo e recursos financeiros, além de pessoas especializadas.

Visando desenvolver um novo método acurado para estimar a massa seca de forragem de pastagens tropicais, que grande parte apresentam crescimento cespitoso,

alturas de pastejo elevadas e representam a maioria das pastagens brasileiras, objetivou-se desenvolver um aplicativo para processamento de imagens de pastagens, adquiridas de câmeras fotográficas digitais comuns, através de visão computacional e processamento digital de sinais.

Objetivou-se também criar um “Software para Cálculo de Massa Seca de Forragem em Pastagens Tropicais”, com objetivo principal de calcular a massa de forragem, discriminada por frações, gerar uma série de indicadores quantitativos relacionados à massa seca de forragem e prover um método para identificação de possíveis anomalias nas amostras.

Neste trabalho foram utilizados apenas softwares livres, dentre eles:

- Compilador *python*;
- SGBD *PostgreSQL*;
- Versão gratuita do *SQL Power Architect* para projeto físico do banco de dados;
- Biblioteca *opencv* para visão computacional;
- *imageJ* para de processamento de imagens; e
- IDE *Lazarus* para desenvolvimento da interface do software;

Este trabalho é organizado da seguinte forma:

1. Capítulo 2 - Fundamentação Básica: expõem-se algumas considerações necessárias para compreensão do restante desta dissertação;
2. Capítulo 3: Estudo preliminar com objetivo de desenvolver um novo método acurado para estimar a massa seca de forragem em pastagens tropicais;
3. Capítulo 4 - Carga de Dados Históricos de disponibilidade forragem, para o software, fornecidos pela Embrapa Gado de Corte: detalham-se o planejamento, a análise de requisitos e a implementação da carga dos dados históricos;
4. Capítulo 5 - Análise e Projeto do Software: apresentam-se o projeto físico do banco de dados, a implementação dos objetos do banco de dados e o projeto da interface;
5. Capítulo 6 - Resultados e Discussão;
6. Capítulo 7 - Conclusão e Trabalhos Futuros;

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO BÁSICA

Neste capítulo serão expostos alguns conceitos e considerações importantes e introdutórios que servirão de fundamentação básica para a compreensão do restante desta dissertação.

2.1 Estimativa da massa seca de forragem

Para mitigar o erro e uniformizar os cálculos de disponibilidade de forragem e consequente lotação animal, definiu-se o conceito de *massa de forragem*, citado em [1], como:

“quantidade de matéria seca presente instantaneamente acima do nível do solo por unidade de área.”

Normalmente é expressa em kg ha^{-1} .

2.1.1 Métodos destrutivos para estimativa da massa seca de forragem

Para estimar a massa seca de forragem, o método do corte é o mais acurado [2], também conhecido como método convencional. Despende recursos, e consequentemente, limita o número de amostras, diminuindo assim a acurácia, pois embora forneça resultados exatos para pequenas áreas amostradas, caso ocorra muita variabilidade na pastagem como um todo, pode induzir a grandes erros amostrais.

A utilização de forno de micro-ondas doméstico é uma alternativa mais rápida na estimativa de massa seca de forragem [3, 4]. Em [4], os autores relataram ter obtido resultados eficientes, com ótima correlação ao método convencional, e apenas

22 minutos para o processamento de cada amostra, valor muito inferior ao despendido no método convencional. Também descrevem um algoritmo para calibração dos fornos de micro-ondas, de forma a garantir a reprodutibilidade e determinar os valores de temperatura e potência real de trabalho. Todavia o procedimento proposto utilizou amostras de apenas 20g, fazendo-se necessária adequação para amostragens reais de capins tropicais (de maior altura e volume).

Neste trabalho, foi efetuado um estudo exploratório no intuito de obter os detalhes dos procedimentos e do cálculo [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] da massa seca de forragem. Em termos gerais, a forrageira é cortada rente ao solo utilizando segadeiras, tesouras ou outras ferramenta de corte. Identificam-se e colocam-se as amostras em sacos plásticos, mantendo-as armazenadas em freezer até o processamento, no intuito de reduzir as perdas hídricas [1, 7]. Avaliam-se a massa de cada amostra (massa verde), que é então desidratada até massa constante, denominada massa seca da forragem. O método convencional para desidratação utiliza de estufa de circulação de ar forçada, onde cada amostra é acondicionada em sacos de papel e submetida à estufa, por período que varia de 60h a 72h, à temperatura entre 60°C e 70°C, podendo ser diminuído para até 12h a 105°C se o objetivo for apenas a matéria seca. É recomendado utilizar a estufa quando é necessário analisar grande quantidade de amostras.

2.1.2 Métodos não destrutivos para estimativa de massa seca de forragem

Entre os métodos não destrutivos para estimativa de massa seca de forragem tem-se o bastão graduado, o disco medidor de forragem, o medidor de capacitância e a estimativa visual.

Tais métodos surgiram no intuito de economizar tempo e dinheiro. Uma breve explanação destes é feita seguida das variáveis que interferem no resultado e nas razões para a baixa acurácia destes métodos em pastagens tropicais.

2.1.2.1 Bastão graduado

O bastão graduado é um equipamento semelhante a uma régua, com um marcador móvel deslizante. É utilizado para medição de altura do pasto. O equipamento é posicionado verticalmente na pastagem, com a base em contato com o solo; o marcador móvel é então deslizado até a parte superior do equipamento e movimentado em direção ao solo até tocar uma lâmina foliar, momento em que efetua-se a leitura manual da altura [10] (figura 2.1).



Figura 2.1: Bastão graduado

2.1.2.2 Disco medidor de forragem

O disco medidor de forragem é um instrumento que estima a massa seca de forragem levando em consideração a altura da planta e a densidade em função da pressão exercida pelo instrumento (disco) sobre ela. As leituras são armazenadas automaticamente em um computador portátil, por meio de um componente de massa conhecida (disco) que desliza verticalmente ao longo de um eixo central com escala graduada. O valor mensurado é calculado pela diferença entre duas leituras: na primeira, o eixo central é posicionado no início do curso, sob a pastagem, e na segunda, ocorre assim que o eixo central toca o solo, ao ser deslizado verticalmente em relação a ele [10, 11]. É também conhecido como prato ascendente. Apesar da denominação, pode ter forma arredondada ou quadrada (figura 2.2).



Figura 2.2: Disco medidor de forragem

2.1.2.3 Medidor de capacitância

O medidor de capacitância é um dispositivo eletrônico com a vantagem de indicar ao operador a estimativa, de forma automática, em kg ha^{-1} . Seu funcionamento é baseado num sinal produzido por um oscilador de circuito elétrico, captado por um sensor, que mede a quantidade de carga elétrica armazenada [6, 10]. Mais detalhes do projeto são descritos em [6] (figura 2.3).



Figura 2.3: Medidor de capacitância

2.1.2.4 Estimativa visual

A estimativa visual é uma técnica que requer analisar visualmente muitas amostras em conjunto com poucos cortes (método tradicional descrito na seção 2.1.1). É sugerido por Machado [11] uma amostragem tradicional a cada vinte amostragens visuais.

2.1.2.5 Estimativa visual comparativa

Na estimativa visual comparativa, também conhecida por produção comparativa, normalmente utilizam-se dois ou mais avaliadores. Machado e Kichel [11] defendem o estabelecimento de três padrões para comparação. Citam que devem ser efetuadas calibrações visuais, onde cada avaliador fornece seu “*score visual*”. Após a calibração, num primeiro estágio, ocorre a atribuição de notas comparativas, e num segundo, estimam-se a massa seca com base nas notas atribuídas e nos resultados das amostras cortadas [11].

A estimativa visual comparativa é recomendada quando o objetivo é obter resultados mais exatos, mesmo em pastagens de crescimento variado [11].

2.1.3 Variáveis que interferem no resultado e razões para baixa acurácia dos atuais métodos não destrutivos em pastagens tropicais

Segundo Pellegrini [2]:

“a quantificação da produção e utilização da forragem, na experimentação, encontram seus pontos críticos nas características das espécies e na variabilidade da população.”

O capim mais estudado da literatura é o azevém (*Lolium multiflorum*), totalmente homogêneo, e cuja altura de pastejo varia em torno de 5 a 15 cm. Mesmo nesse tipo de capim, os atuais métodos não destrutivos nem sempre são capazes de prever adequadamente a massa seca de forragem [10]. Em [2, 10] os autores relatam dificuldades em efetuar estimativas anuais adequadas utilizando o medidor de capacitância, o bastão graduado e o disco medidor de forragem obtendo resultados inferiores aos 75% requeridos para pasto nativo e azevém.

A grande maioria dos estudos estimam a matéria seca por meio de regressão, correlacionando os dados amostrais com os valores obtidos pelo método convencional [1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11]. A pouca disponibilidade de informações acerca da ecofisiologia das plantas tropicais é tida como um agravante para essa situação [10].

Muitos fatores interferem na acurácia da estimativa de massa da pastagem: ambientais (sazonalidade, temperatura, precipitação, umidade do ar), de manejo (intensidade de pastejo, tempo de pisoteio, fertilização, adubação, densidade de semeadura, densidade da pastagem, regularidade do solo), atributos fisiológicos e estruturais das plantas (índice de área foliar, proporção de material morto, estágio reprodutivo, perfilhamento), umidade da planta, entre outros. É consenso entre os autores pesquisados que em pastagens tropicais tais métodos são menos acurados do que em pastagens temperadas homogêneas.

Fatores ambientais como sazonalidade, temperatura e precipitação, são citados por diversos autores como relevantes na estimativa de disponibilidade de forragem. Independente da espécie estudada, o fator mais determinante para o resultado é a variação de umidade das plantas, atingindo 15% no período das secas e até 90% no período chuvoso [11]. O período chuvoso é o que propicia melhor desenvolvimento e crescimento das gramíneas, com consequente aumento na produção de massa seca

[7]. Um exemplo dessa variação é relatado por Das Graças Amaral [7], para as gramíneas *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens* na região sul de Minas, onde observaram-se 3.000 kg ha^{-1} no período seco e 13.000 e 11.000 kg ha^{-1} no período chuvoso.

Dos artigos analisados neste trabalho apenas em [7,9,11] analisam explicitamente os efeitos positivos da adubação e da fertilização no acúmulo de massa de forragem, embora a maioria dos demais informem como tais procedimentos foram feitos durante seus experimentos.

O disco medidor de forragem é apontado como técnica eficiente para prever a massa de forragem em gramíneas de baixo até médio porte e que apresentem colmos macios [2]. Cauduro et al. [10], ao analisarem pastagens de azevém, que são baixas, observaram baixa acurácia em função da elevação dos colmos no estrato superior, com a evolução do ciclo fenológico. Já em espécies com colmos grandes e/ou rígidos ocorrerá acréscimo no erro amostral, em virtude da resistência oferecida ao equipamento pela planta, que representará apenas a altura da mesma [2]. Tentando contornar esse problema da resistência, os autores tentaram sem sucesso utilizar, em pastagens nativas, uma combinação de discos de três tamanhos (0,1, 0,2 e 0,3 m^2) por três massas (5, 10 e 15 kg m^{-2}). Além da altura, os atributos do pasto, a heterogeneidade espacial da pastagem e a morfologia das espécies nativas foram apontadas como fatores influenciadores do aumento do coeficiente de variação na medida em que se aumentavam as áreas dos discos. Chegou-se à conclusão que a utilização de discos de 0,1 m^2 de área e massa de 5 kg m^{-2} , medidas tradicionalmente utilizadas, apresentavam as melhores correlações, que diminuíam à medida que se aumentavam a área e/ou a massa dos discos.

Outros autores confirmaram que a acurácia das estimativas com disco medidor de forragem são maiores em pastagens rasteiras, e menores em gramíneas com maior proporção de caule/folha, geralmente de grande porte como as pastagens tropicais [2]. A presença de talos mais vigorosos e enrijecidos são apontados como causas dos problemas da aplicação deste equipamento em pastagens tropicais [11].

O pastejo seletivo dos herbívoros é apontado como fator gerador de grandes variações na pastagem, aumentando a dificuldade de avaliação e requerendo maior número de amostras [11]. Esse fator, juntamente com a rigidez dos colmos de espécies cespitosas, foi apontado [2] como causa da baixa correlação das leituras com o disco ascendente.

Após minucioso processo de calibração do medidor de capacitância, em pastagens típicas do Alentejo, região de Portugal, os autores relatam ter obtido ótimos resultados, com coeficiente de determinação na ordem de 0,90 para gramíneas [6]. Contudo, no final

do ciclo fenológico, o processo natural de senescência foliar é observado com consequente aumento de material morto [7], que interfere na quantificação de massa seca. Esse incremento de material morto gerou altas fontes de erro nas estimativas com disco medidor de forragem em Pellegrini et al [2]. Baixo coeficiente de determinação (0,149) foi observado por Cauduro et al [10], mesmo após calibração do equipamento antes de cada amostragem, quando analisadas amostras de azevém (*Lolium multiflorum*) estabelecido em sistema de plantio direto, no qual observa-se elevada quantidade de material morto sob o solo. Frequentes calibrações do disco ascendente também foram necessárias em virtude da pouca sensibilidade do equipamento perante os quatro níveis de massa de forragem analisados [2].

Apenas a altura das folhas são levadas em consideração quando da utilização do bastão graduado. Já o disco medidor de forragem é limitado à altura e/ou densidade e à pressão exercida pelos instrumentos sobre o pasto [10].

A acurácia da estimativa visual depende do conhecimento e da prática do avaliador bem como das espécies e áreas analisadas [11].

Os efeitos da temperatura, da luz solar e/ou do sombreamento no acúmulo de matéria seca de forragem são explorados em [7,12]. A energia solar é fator importante para a fotossíntese das plantas, o aquecimento do ar e do solo com consequente evapotranspiração. Segundo Rodrigues [12] a vegetação possui alta capacidade térmica além de funcionar como receptora e armazenadora da energia solar, na forma de carboidratos. De acordo com Das Graças Amaral [7], em pastagens tropicais a temperatura é supostamente o fator mais importante para o desenvolvimento, responsável pelo processo metabólico das mesmas.

O crescimento da planta é proporcional à quantidade total de luz solar e CO_2 presentes nos processos respiratórios e fotossintéticos [12]. É citado em [7] que:

“o incremento em massa de forragem é o resultado do crescimento dos perfilhos produzidos.”

O número de perfilhos é determinado por fatores de crescimento, em especial, luz, oxigênio, gás carbônico, água e nutrientes [7]. A influência hídrica e da adubação foram anteriormente explanadas neste trabalho. Na presença de luz, água e gás carbônico, nas partes verdes da planta, com destaque para a folha, ocorre o processo fotossintético. O resultado da fotossíntese é o acúmulo de energia em forma de glicose [12].

Alto grau de pastejo implica em aumento do número de perfilhos, geralmente pequenos. Por outro lado, pastagens diferidas caracterizam-se por poucos perfilhos de grande tamanho. Este fato decorre da quantidade de radiação solar que atinge a base do dossel forrageiro [7].

Cerca de 95% de toda massa seca da planta, acumulada durante o seu crescimento, origina-se da fotossíntese de fixação de CO_2 atmosférico. Para garantir altos níveis de biomassa verde, e portanto maior matéria seca, é essencial o equilíbrio das incidências de luz, água, temperatura, nutrientes e gás carbônico, componentes fundamentais do processo fotossintético [12]. A escassez de qualquer desses componentes implica em perda de produtividade. Tal fato é exemplificado por das Graças Amaral [7] ao relatar que em regiões com temperaturas noturnas inferiores a $13^{\circ}C$ (limite crítico) a irrigação praticamente não influencia o desempenho das forrageiras. Em condições favoráveis o processo de irrigação, de forma análoga à precipitação natural, induz positivamente o acúmulo de massa de forragem verde de colmos e folhas e a diminuição da proporção de material morto. Teores adequados de água propiciam maior produção de biomassa em função dos estômatos das plantas estarem mais abertos, favorecendo maiores trocas gasosas [12].

A radiação solar é determinante no processo fotossintético. Em pastagens tropicais, durante a estação seca e fria, caracterizada por dias curtos, pouco úmidos e com baixas temperaturas, a disponibilidade de massa seca de forragem é diminuída [7].

Com sombreamento ocorre alteração na estrutura das plantas em função do aumento da competição por luz. O nível crítico de interceptação luminosa ocorre aos 95%. Acima desse valor a competição resulta numa elevação dos colmos no estrato superior do dossel e no aumento do índice de área foliar. Como resultado diminui-se a quantidade de luz que atinge a parte inferior do dossel e ocorre a senescência e posterior mortalidade dos perfilhos menores [7]. Esse efeito dificulta ainda mais a avaliação da massa seca de forragem.

2.2 Contextualização dos experimentos relacionados ao software

2.2.1 Área e período de estudo

Inicialmente o software (cujas etapas de análise, projeto e desenvolvimento são descritos nesta dissertação) será utilizado para avaliação da massa de forragem, de experimentos relacionados à integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), situados na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande/MS.

Um sistema de ILPF, também chamado de agrossilvipastoril, contribui para a melhoria ambiental em diversos fatores tais como o microclima, o bem-estar animal, a biodiversidade e o sequestro de carbono. Um mapa da distribuição geográfica

de unidades de referência tecnológicas (URTs) da Embrapa, com sistemas de ILPF no Brasil e no Centro Oeste é apresentado na figura 2.4. Na busca de suprir essa escassez, a partir do segundo semestre de 2008 a Embrapa iniciou o Plano de Ação (02.06.1.08.00.03.03) intitulado “Avaliar o efeito de diferentes densidades e arranjos espaciais de espécies arbóreas nas operações de plantio e na produção das lavouras em SILP em Campo Grande, MS”, do qual este trabalho é parte integrante.

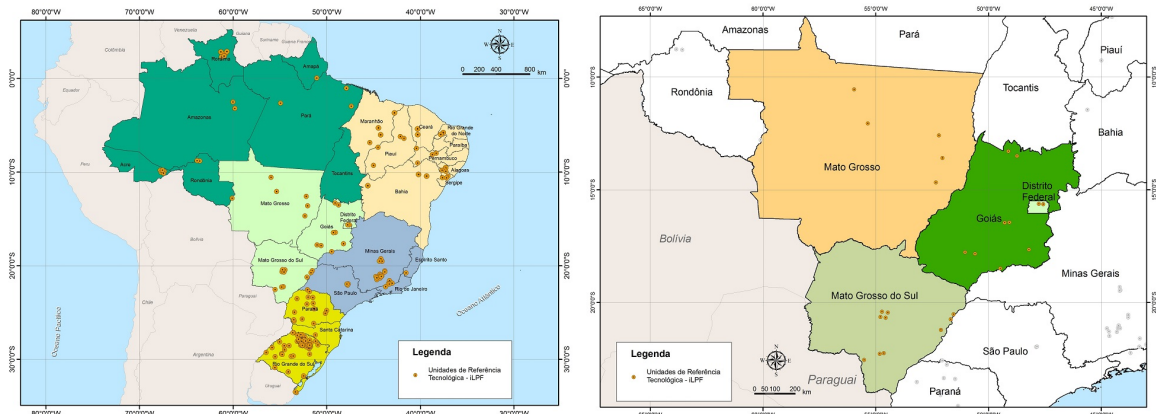


Figura 2.4: Distribuição geográfica dos sistemas de ILPF - Brasil e Centro Oeste

Atualmente, na Embrapa Gado de Corte, existem dois experimentos relacionados à ILPF. O croqui da área experimental referente ao Plano de Ação supracitado é apresentado na figura 2.5.

2.2.1.1 Primeiro experimento

O primeiro experimento, com área total de 18ha, possui dois tratamentos representados por ILPF1 e ILPF2 na figura 2.5 a serem analisados sob pastejo. Árvores de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) encontram-se dispostas em linhas paralelas, com capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) plantado entre elas. No ILPF1 as árvores foram plantadas com espaçamento de 14 metros nas entrelinhas e de 2 metros entre plantas, totalizando 357 árvores ha^{-1} . No ILPF2 o espaçamento é de 22 metros nas entrelinhas das árvores e de 2 metros entre as plantas, num total de 227 árvores ha^{-1} . A terceira coluna do croqui não é objeto de estudo deste trabalho. Entre o ILPF1 e ILPF2 cerca de 100 amostras de forragem são analisadas mensalmente.

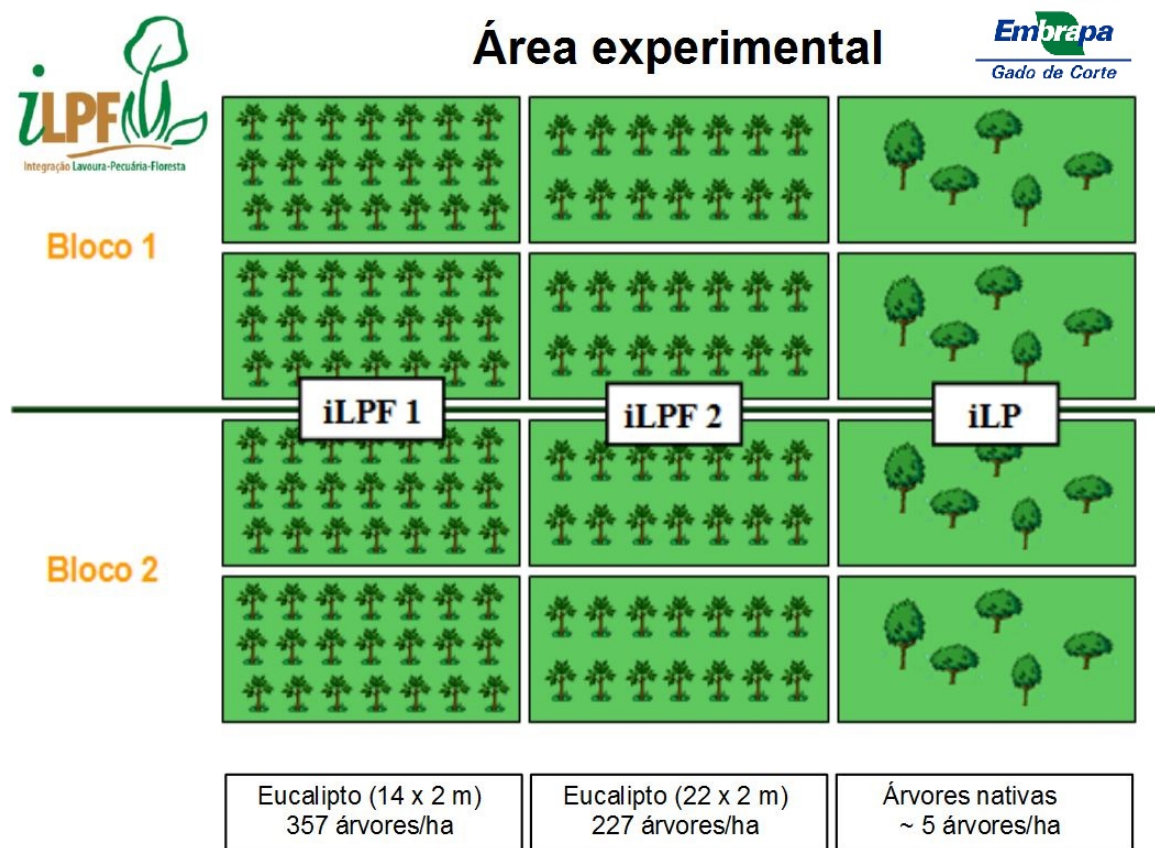


Figura 2.5: Croqui da área experimental - Experimento 1.

Neste experimento as amostragens ocorrem a cada 28 dias e cada amostra contém cerca de 2kg de material e utilizam-se de subamostragem para reduzir o esforço. A altura de pastejo do capim-piatã é mantida entre 25 e 45cm, bem superiores aos valores descritos na seção 2.1.3 para o azevém. Nesse experimento, o capim encontra-se sob pastejo contínuo.

2.2.1.2 Segundo experimento

O segundo experimento é composto de quatro blocos, isolados do gado, localizados nas entrelinhas de um dos tratamentos do ILPF2. Cada bloco possui 14 forrageiras sob crescimento livre, sendo 13 gramíneas e uma leguminosa, onde cada uma ocupa uma parcela de 1,5m x 18m deste. São dispostas em posições diferentes nos blocos conforme sorteio. Analisam-se 280 amostras a cada mês, observados os cinco níveis de sombreamento das árvores descritos na figura 2.6.

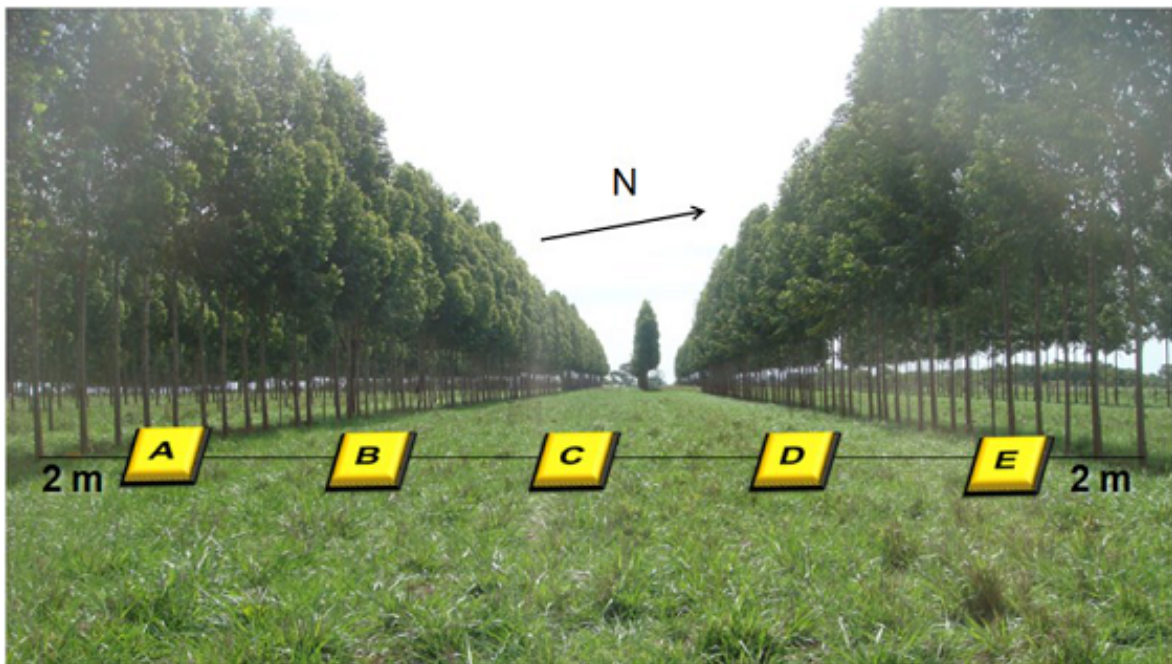


Figura 2.6: Níveis de sombreamento analisados em sistemas de ILPF.

2.2.2 Níveis de sombreamento analisados em sistemas de ILPF

Em sistemas de ILPF, alguns dos efeitos positivos do sombreamento arbóreo são: tendência a melhoria do valor nutritivo das gramíneas forrageiras, com aumento do teor de proteína bruta e da digestibilidade da matéria seca; melhoria do conforto térmico dos animais em pastejo (conceito relacionado ao bem estar animal), com potencial melhoria dos índices produtivos e reprodutivos dos animais [13].

O sombreamento dificulta a avaliação de massa da pastagem, pois provoca alterações na morfofisiologia das plantas [13]. Os efeitos da variação da quantidade de luz e do sombreamento foram abordados na seção 2.1.3.

As gramíneas forrageiras são sensíveis ao efeito de sombreamento em especial na fase de estabelecimento. Neste contexto a escolha do capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) pela Embrapa, se pautou tanto por sua tolerância ao sombreamento quanto por sua melhor qualidade no período da seca [13, 14, 15]. O capim-piatã integra as novas cultivares de forrageiras desenvolvidas para sistemas mais intensivos e eficientes [14].

O sombreamento em ILPF1 é maior que em ILPF2 em função do maior adensamento das árvores. O objetivo desses experimentos é analisar a disponibilidade de massa de forragem em cinco pontos equidistantes entre as entrelinhas das árvores ilustrados na figura 2.6. Desprezam-se as áreas próximas às copas das árvores em 2m.

Independente do tratamento, o ponto central indicado pelo C na figura recebe sol direto quase todo o dia. Em consequência disso as plantas crescem e se desenvolvem mais, acumulando mais massa seca de forragem. Nos pontos B e D o sombreamento é médio. Já nos pontos A e E, próximos à copa das árvores, observam-se grande sombreamento, as plantas são bem menores e menos massa seca é acumulada.

2.3 Projeto e desenvolvimento do software

Nesta seção e suas subseções apresentam-se considerações introdutórias relacionadas ao projeto e ao desenvolvimento do software, necessários para compreensão do restante desta dissertação.

Utilizar-se-ão, dentre outros, de três conceitos importantes: acoplamento, abstração e encapsulamento. O grau de dependência entre os módulos de um sistema refere-se ao acoplamento. O processo de abstração é responsável pela identificação das funcionalidades fundamentais para o software. Encapsular significa esconder a complexidade das construções dos objetos.

Uma IDE (Integrated Development Environment) é um conjunto de ferramentas que juntas compõem um Ambiente de Desenvolvimento Integrado.

A seguir apresentam-se aspectos relacionados a banco de dados.

2.3.1 Banco de dados

Um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) é uma coleção de ferramentas utilitárias e programas necessários para configurar, manter, monitorar e manipular um bancos de dados. Definiu-se o SGBD como sendo o PostgreSQL, pois a Embrapa adota este SGBD relacional para gerenciamento de seus bancos de dados. O PostgreSQL intitula-se o *mais avançado banco de dados de código aberto do mundo* e encontra-se disponível em <https://www.postgresql.org>.

A linguagem SQL (*Structured Query Language*) foi originalmente desenvolvida pela IBM, no projeto *System-R* e atualmente é a mais utilizada em SGBDs relacionais, para criação, consulta e manipulação de dados [16]. Grande parte do sucesso dos bancos de dados comerciais é devido à linguagem SQL [17]. Ela é um padrão para os SGBDs relacionais [16, 17]. Tradicionalmente as versões recebem em seu nome o número do ano de sua criação.

A primeira padronização ocorreu em 1986, chamada de SQL-86, desenvolvida pela *American National Standards Institute* (ANSI) e sofreu algumas modificações em 1989 com o surgimento do padrão SQL-89. Em 1992 foi criado o SQL-92 com colaboração

da *International Standards Organization* (ISO), com importantes revisões e extensões. SQL é uma linguagem com constantes atualizações, nas quais são acrescentados novos recursos [16,17]. A partir da SQL:1999, a linguagem possui um núcleo e um conjunto de extensões. Posteriormente surgiram os três outros padrões, SQL:2006, SQL:2008 [17]. Atualmente o padrão atual estável é o SQL:2011 (ISO/IEC 9075:2011).

Os SGBDRs (Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Relacionais), para serem considerados aderentes a um determinado padrão SQL, devem implementar o núcleo da linguagem, mas as extensões são opcionais [17].

Atualmente a linguagem SQL é bastante extensa. Ela subdivide-se em quatro outras sub-linguagens, que resumidamente são:

- Linguagem de Definição de Dados (DDL): comandos para criação, exclusão e modificação de esquemas;
- Linguagem de Manipulação de Dados (DML): comandos para consulta, inserção, modificação e exclusão de dados;
- Linguagem de Controle de Dados (DCL): comandos de controle de usuários e suas permissões e negações de acesso aos objetos do banco de dados;
- Linguagem Transação de Dados (DTL): comandos para controle das transações do banco de dados.

As funções dos principais comandos da linguagem DML são:

- SELECT: especificar as descrições dos resultados desejados de uma consulta;
- INSERT: Inserir registros numa tabela ou visão;
- UPDATE: Modificar valores de dados de registros de uma tabela ou visão.
- DELETE: Excluir registros de uma tabela ou visão.

Na linguagem SQL o operador *UNION* é responsável pela combinação de várias consultas em um único conjunto de resultados. Já o comando *CREATE* é responsável pela criação de objetos no banco de dados, como por exemplo *CREATE VIEW* cria um objeto conhecido como visão (*view*), sobre uma consulta do banco de dados. Visões não são fisicamente materializadas, mas sim pré-compiladas e pré-otimizadas para executar as consultas SQL a elas associadas, sempre que forem referenciadas em uma consulta.

No PostgreSQL utiliza-se *CAST (expression AS type)* para converter uma expressão de um tipo de dado para outro. Nas expressões numéricas do tipo *NUMERIC(precisão, escala)* tanto as precisões máximas e escalas máximas são configuradas. Observa-se que neste SGBD a precisão dos campos numéricos equivale ao número total de dígitos, incluindo ambos os lados do separador de decimal.

Capítulo 3

SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS DE FOLHAS E COLMOS DE GRAMÍNEAS ATRAVÉS DE FILTROS NO DOMÍNIO FREQUENCIAL

No intuito de desenvolver um novo método acurado para estimar a massa seca de forragem de pastagens tropicais, discriminada por frações, trabalhou-se, preliminarmente, com visão computacional e processamento digital de sinais (do inglês, Digital Signal Processing - DSP).

Para visão computacional utilizou-se *python* como linguagem de programação, e a biblioteca *opencv*, disponível em <http://opencv.org/>. Para DSP utilizou-se o programa de processamento de imagens *imageJ*, disponível em <https://imagej.nih.gov/ij/>.

A seção 3.1 e suas subseções apresentam conceitos introdutórios referentes a processamento digital de sinais e a visão computacional, necessários para a compreensão deste estudo.

3.1 Processamento digital de sinais e visão computacional

Borth et al. [18] expõem que a visão computacional é um conjunto de técnicas e métodos computacionais responsáveis pela “visão” de uma máquina e através dela é possível extrair informações relevantes de uma imagem, bem como efetuar reconhecimento, manipulação e análise dos objetos que a compõem. Num sistema de visão computacional, após a aquisição das imagens e/ou vídeos, os mesmos normalmente passam pelas etapas de pré-processamento, realce, segmentação, extração de características, classificação, reconhecimento e decisão. Dependendo do tipo de aplicação o número de etapas pode variar.

Em DSP, o conceito formal de sinal é [19]:

“Uma quantidade física, representada por uma função de variável independente, é chamada de sinal.”

Um grande número de variáveis independentes são estudadas em DSP, sendo tempo, frequência e espaço as mais utilizadas [19]. Em DSP estudam-se sinais contínuos e discretos.

Tanto em processamento digital de sinais quanto em visão computacional, o termo *processar* denota transformação, manipulação. Transformam-se os sinais para extrair deles informações importantes. Transformações requerem operações e muitas vezes é mais fácil executá-las em um outro domínio [19, 20]. Na figura 3.1 observa-se uma mudança do domínio de cores, do sistema RGB para o sistema HSV. RGB, iniciais em inglês de *red*, *green* e *blue*, é um sistema aditivo de cores que é utilizado na maioria dos equipamentos eletrônicos que armazenam/manipulam imagens. Cada *pixel* de uma imagem nesse padrão é expresso pela combinação das quantidades de vermelho, verde e azul, as componentes RGB. Já no sistema HSV para cada *pixel* armazenam-se as quantidades de sua matiz (*hue*) ou tonalidade, sua saturação (*saturation*) ou pureza, e seu brilho (*brightness*).

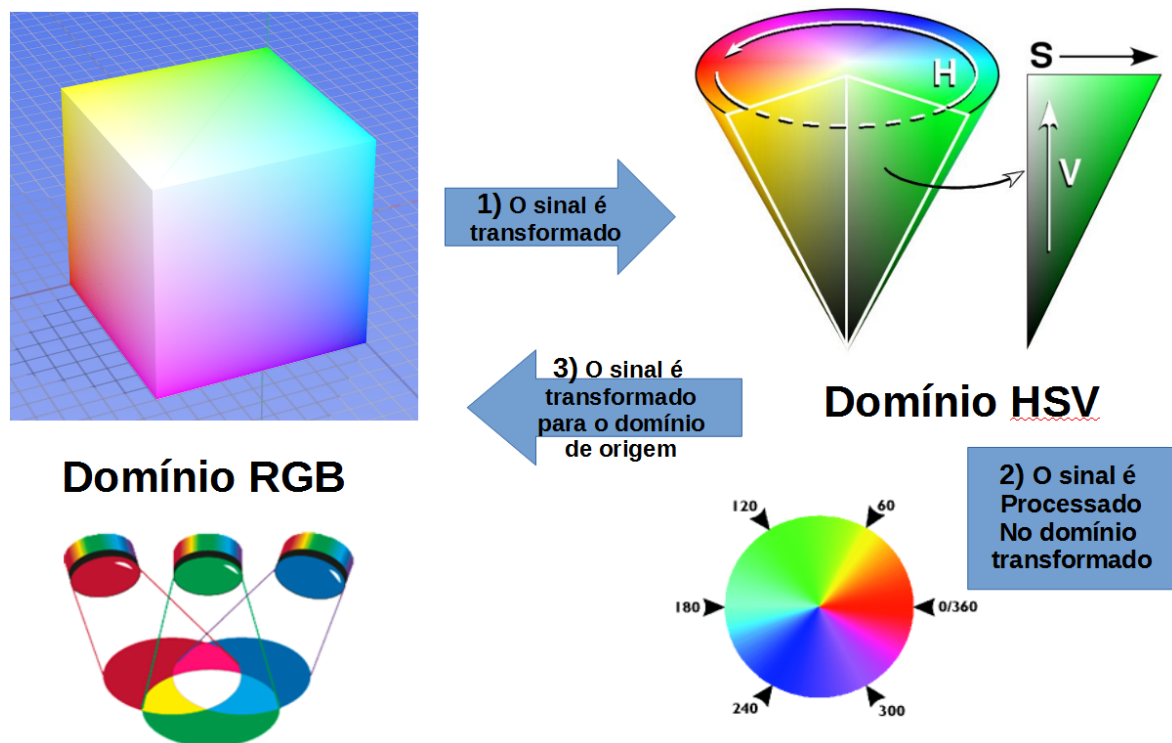


Figura 3.1: Esquema para processamento de imagens por meio de mudanças de domínios RGB e HSV.

3.1.1 2D Discrete Fourier Transform

A Transformada de Fourier é uma ferramenta importante em processamento de sinais. Sua aplicação numa função real resulta numa função complexa, com componentes real e imaginária [20]. Nas equações apresentadas nesta seção o termo $j \triangleq \sqrt{-1}$.

A Transformada de Fourier Discreta (Discrete Fourier Transform - DFT) fornece o conteúdo espectral de um sinal discreto [19], e a Transformada de Fourier Discreta de duas dimensões (2D Discrete Fourier Transform - 2D DFT) opera sobre sinais bidimensionais discretos. Efetua-se um processamento mediante esta transformada quando se interessa analisar e/ou filtrar o conteúdo de frequência de um sinal bidimensional.

A figura 3.2 apresenta o esquema simplificado do processamento com uma 2D DFT. Para tal, um sinal bidimensional é transformado por intermédio desta para o domínio de Fourier; efetuam-se operações neste sinal transformado e por fim utiliza-se de uma 2D DFT inversa para retornar o sinal para o domínio de origem, de forma análoga aos processamentos que utilizam mudança de domínio entre os sistemas de cores RGB e SHV (figura 3.1).

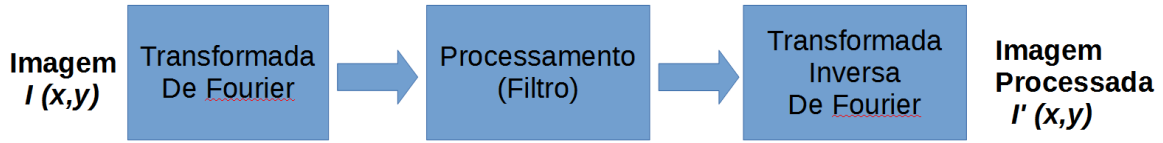


Figura 3.2: Esquema simplificado do processamento com transformadas de Fourier bidimensionais.

É crescente o interesse da comunidade científica por algoritmos relacionados a reconhecimento de padrões. A aplicação da 2D DFT em imagens permite o reconhecimento de padrões de frequências nelas contidos.

As equações 3.1 e 3.2 efetuam a 2D DFT direta e inversa, respectivamente. Essas e as demais equações desta sessão foram adaptadas de [19,20]. As transformadas direta e inversa também são denominadas equações de síntese e análise, respectivamente.

Transformada Direta:

$$\mathfrak{F}(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{\left[-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right]} \quad (3.1)$$

Equação 1: Transformada Direta de Fourier Bidimensional Discreta (2D DFT).

Transformada Inversa:

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} \mathfrak{F}(u, v) e^{\left[j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right]} \quad (3.2)$$

Equação 2: Transformada Inversa de Fourier Bidimensional Discreta (2D DFT).

3.1.1.1 Propriedades da 2D Discrete Fourier Transform

A seguir apresentam-se as propriedades da 2D DFT utilizadas neste estudo:

Separabilidade:

$$\begin{aligned}\mathfrak{F}(u, v) &= \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} e^{\left[\frac{-j2\pi ux}{N}\right]} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{\left[\frac{-j2\pi vy}{N}\right]} \\ &\quad \text{para } u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1 \text{ e} \\ f(x, y) &= \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} e^{\left[\frac{-j2\pi ux}{N}\right]} \sum_{v=0}^{N-1} \mathfrak{F}(u, v) e^{\left[\frac{-j2\pi vy}{N}\right]} \\ &\quad \text{para } x, y = 0, 1, 2, \dots, N-1.\end{aligned}\tag{3.3}$$

Equação 3: Propriedade 2D DFT: Separabilidade.

Translação na Frequência:

$$f(x, y) e^{[j2\pi(u_0x+v_0y)/N]} \Longleftrightarrow \mathfrak{F}(u - u_0, v - v_0)\tag{3.4}$$

Equação 4: Propriedade 2D DFT: Translação na Frequência.

Translação no Tempo:

$$f(x - x_0, y - y_0) \Longleftrightarrow \mathfrak{F}(u, v) e^{[-j2\pi(ux_0+vy_0)/N]}\tag{3.5}$$

Equação 5: Propriedade 2D DFT: Translação no Tempo.

Simetria do Conjugado:

$$\begin{aligned}\mathfrak{F}(u, v) &= \mathfrak{F}^*(-u, -v) \\ \left| \mathfrak{F}(u, v) \right| &= \left| \mathfrak{F}(-u, -v) \right|\end{aligned}\tag{3.6}$$

Equação 6: Propriedade 2D DFT: Simetria do Conjugado.

Rotação:

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta & y &= r \sin \theta \\ u &= \omega \cos \phi & v &= \omega \sin \phi \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$f(r, \theta + \theta_0) \iff \mathfrak{F}(\omega, \phi + \theta_0)$$

Equação 7: Propriedade 2D DFT: Rotação.

Convolução no tempo:

$$f(x, y) * g(x, y) \iff \mathfrak{F}(u, v) \mathfrak{G}(u, v) \quad (3.8)$$

Equação 8: Propriedade 2D DFT: Convolução no tempo.

Convolução na Frequência:

$$f(x, y) g(x, y) \iff \mathfrak{F}(u, v) * \mathfrak{G}(u, v) \quad (3.9)$$

Equação 9: Propriedade 2D DFT: Convolução na Frequência.

Um dos principais desdobramentos da propriedade *separabilidade* da 2D DFT (equação 3.3) é possibilitar a implementação para sua obtenção mediante a aplicação sequencial de duas 1D DFT.

3.1.1.2 Fast Fourier Transform - FFT

Atualmente, os programas de processamento de imagem, para obter a Transformada de Fourier Discreta, implementam o algoritmo FFT (*Fast Fourier Transform*), com complexidade computacional $O(n \log n)$ enquanto que a tradicional DFT tem complexidade $O(n^2)$. FFT pertence à lista dos algoritmos *top 10* do século 20 segundo a IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) [21] e é considerado em [22] como o mais importante algoritmo numérico dos nossos tempos.

Neste trabalho as transformadas de Fourier foram produzidas com o auxílio do *imageJ* pela aplicação da 2D FFT.

3.1.1.3 Principais filtros no domínio da frequência

Um filtro é uma função que separa o espectro em banda passante e banda não-passante. Na figura 3.3 apresentam-se as respostas espectrais ideais dos quatro tipos de filtros mais comuns: *low pass* (LP), *high pass* (HP), *band pass* (BP) e *band stop* (BS) [19].

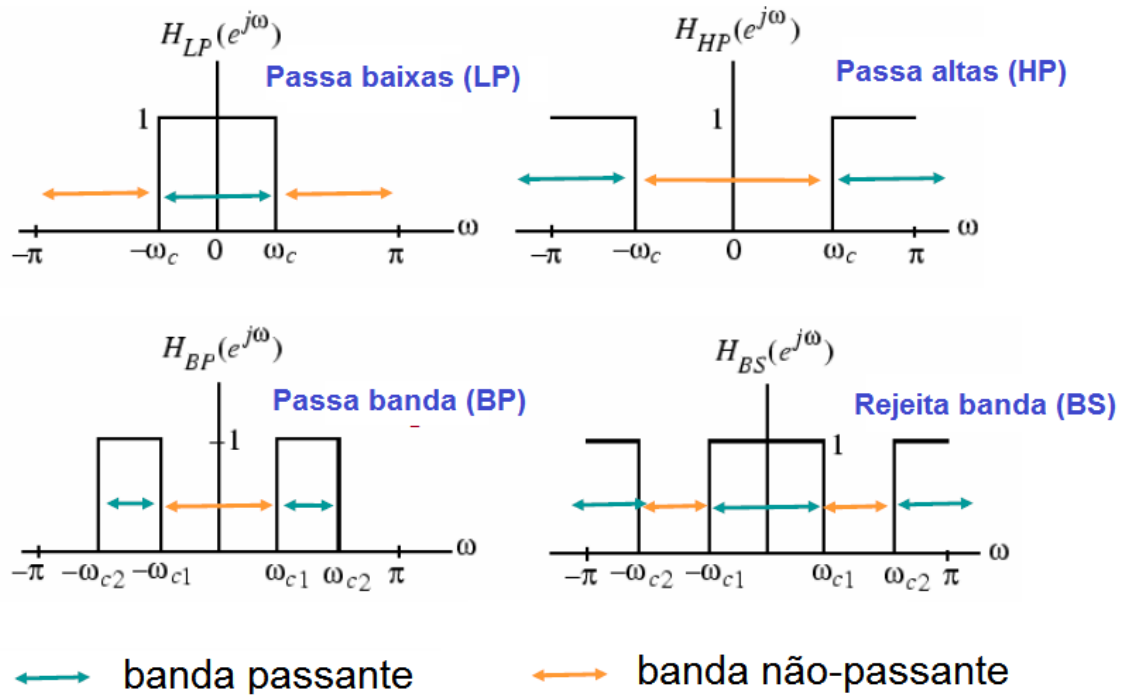


Figura 3.3: Respostas espectrais dos quatro filtros *ideais* mais comuns, no período $[-\pi, \pi]$.

3.2 Separação de alvos amostrais com visão computacional

Adquiriram-se imagens através de câmeras fotográficas digitais comuns, de vários ângulos, nas áreas amostrais descritas na seção 2.2.1. Nelas observaram-se ruídos: árvores de eucalyptos, variações de iluminação, partes de amostradores, galhos, folhas secas, fezes de animais. A influência de alguns desses ruídos foram minimizados ainda na etapa de aquisição das imagens. Eliminou-se o ruído resultante dos galhos, retirando-os da área amostral. Os demais ruídos necessitaram ser suprimidos por visão computacional.

3.3 Objetivo do estudo e caracterização do sinal amostrado

Este estudo refere-se à área de Processamento Digital de Sinais (do inglês, Digital Signal Processing - DSP). Estudaram-se *sinais* discretos: *imagens* de pastagens capturadas por máquinas fotográficas digitais.

O objetivo deste estudo é identificar, em imagens digitais de pastagens, os padrões de frequência das folhas e dos colmos, para poder segmentar nelas as regiões referentes a essas frações, através de filtros destes padrões no domínio da frequência. Este estudo foi desenvolvido num ambiente controlado, cujas imagens para análise eram obtidas de pastagem cortada e tinham um fundo magenta, como exemplificado na figura 3.4.



antes



depois

Figura 3.4: Antes e depois do processo de segmentação por limiarização para retirada do fundo magenta - amostra de forragem.

3.4 Registro da densidade espectral no domínio da frequência

A figura 3.5 exemplifica a aplicação da 2D DFT direta (equação 3.1) sobre uma imagem do mundo real (domínio espacial) e exemplifica o registro de sua densidade espectral no domínio de Fourier (domínio da frequência).

Neste exemplo, a imagem digital do mundo real possui M pixels na horizontal por N pixels na vertical. Costumeiramente a origem de coordenadas $(0,0)$ de uma imagem digital no domínio espacial encontra-se no canto superior esquerdo da imagem. Cada pixel da imagem é representado como uma função $I[m,n]$.

Em Fourier registram-se densidades espectrais, representadas por uma função $\mathfrak{F}(u,v)$. A origem de coordenadas $(0,0)$ deste domínio, conhecida como *DC Term*, encontra-se centrada horizontal e verticalmente. Os valores de u variam de $-M/2$ até $M/2$, enquanto que v assume valores entre $-N/2$ até $N/2$. Em relação ao eixo das abcissas aumentam-se as frequências horizontais na medida em que se observam maiores valores de u , tomados em módulo. De maneira semelhante, em relação ao eixo das ordenadas, maiores valores de $|v|$ representam pontos de maior frequência vertical.

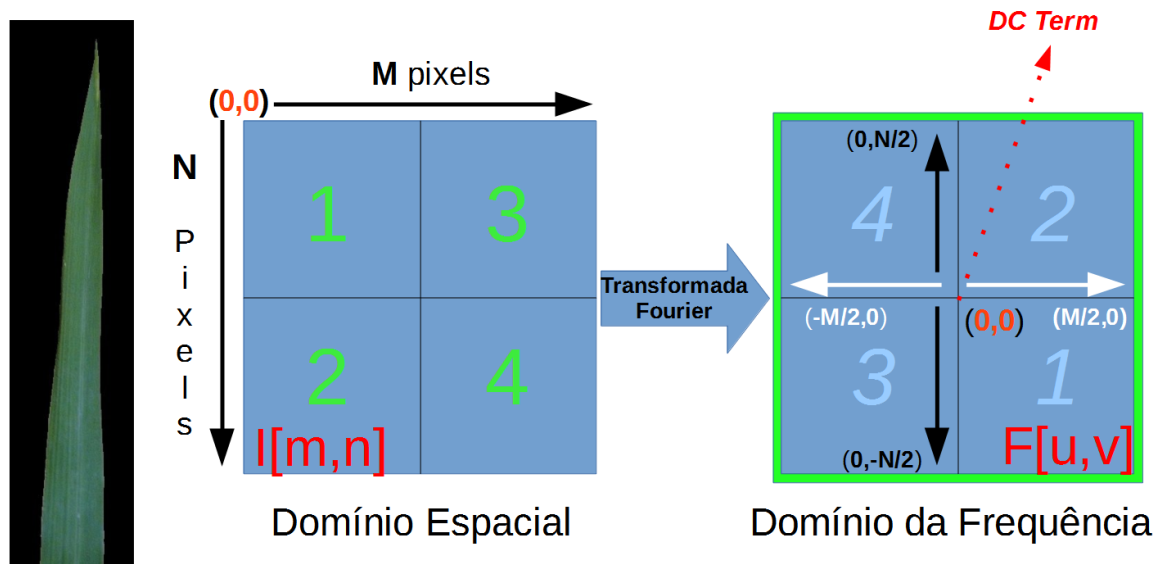


Figura 3.5: Uma imagem do mundo real e o registro de sua densidade espectral no domínio de Fourier.

3.5 Interpretação da densidade espectral da 2D DFT

DFT

A figura 3.6 ilustra a aplicação da 2D DFT Direta (equação 3.1) em uma imagem original, no domínio do espaço. A imagem central representa a original já no domínio transformado (frequência). Nela destacam-se oito pontos de análise, numerados de 1 até 8, que nesta seção serão denominados apenas de pontos de análise. A seguir explicam-se como efetuar a interpretação da densidade espectral no domínio da frequência.

As imagens ao redor da imagem central foram obtidas através da aplicação da 2D DFT inversa (equação 3.2) nos pontos de análise, e serão referidas como padrões resultantes.

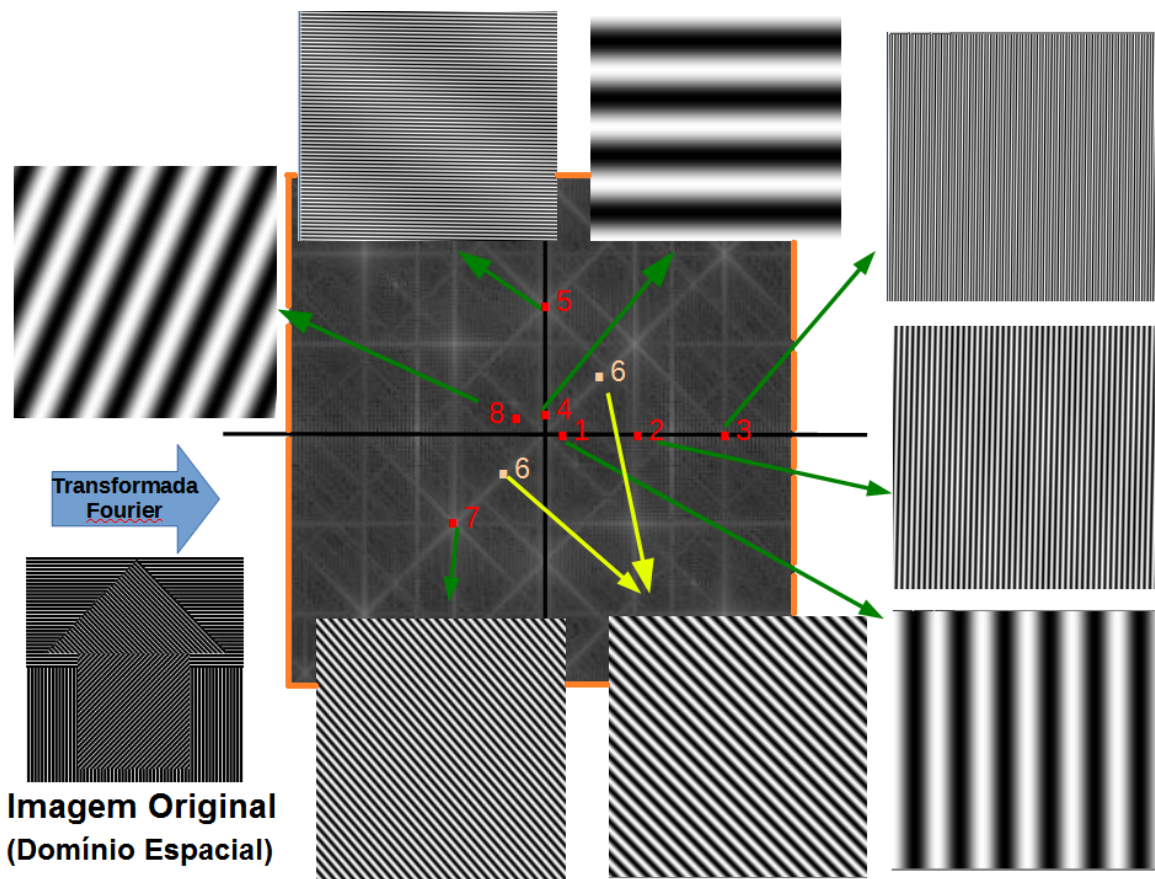


Figura 3.6: Interpretação da densidade espectral da 2D DFT.

Nota-se que a análise dos pontos de nº 1, 2 e 3 resultam em imagens com padrões verticais largos, médios e finos, respectivamente. Pontos localizados sobre o eixo das abcissas ($v=0$) resultam em padrões verticais. De maneira análoga, os pontos situados sobre o eixo das ordenadas ($u=0$), como os de nº 4 e 5, resultam em padrões horizontais.

De forma genérica, a largura desses padrões é inversamente proporcional ao conteúdo de frequência neles contidos. Nota-se também que quanto mais próximo um ponto estiver da origem, mais largo será seu padrão resultante, que é de menor frequência e, quanto mais ele distar da origem mais fino será seu padrão resultante, maior frequência.

Pontos fora dos eixos principais resultarão em padrões inclinados. A inclinação depende das contribuições de suas componentes u e v .

A propriedade simetria do conjugado (equação 3.6) pode ser visualizada graficamente nos dois pontos de nº 6 localizados em diferentes quadrantes e que resultam num mesmo padrão.

3.6 Filtros no domínio da frequência

Nesta seção exemplificam-se alguns tipos de filtros no domínio da frequência, introduzidos na seção 3.1.1.3.

A figura 3.7 exemplifica os filtros passa-baixas e passa-altas e na 3.8 mostram-se três filtros passa-bandas com diferentes parâmetros.



Figura 3.7: Exemplo de filtros passa-baixas e passa-altas.

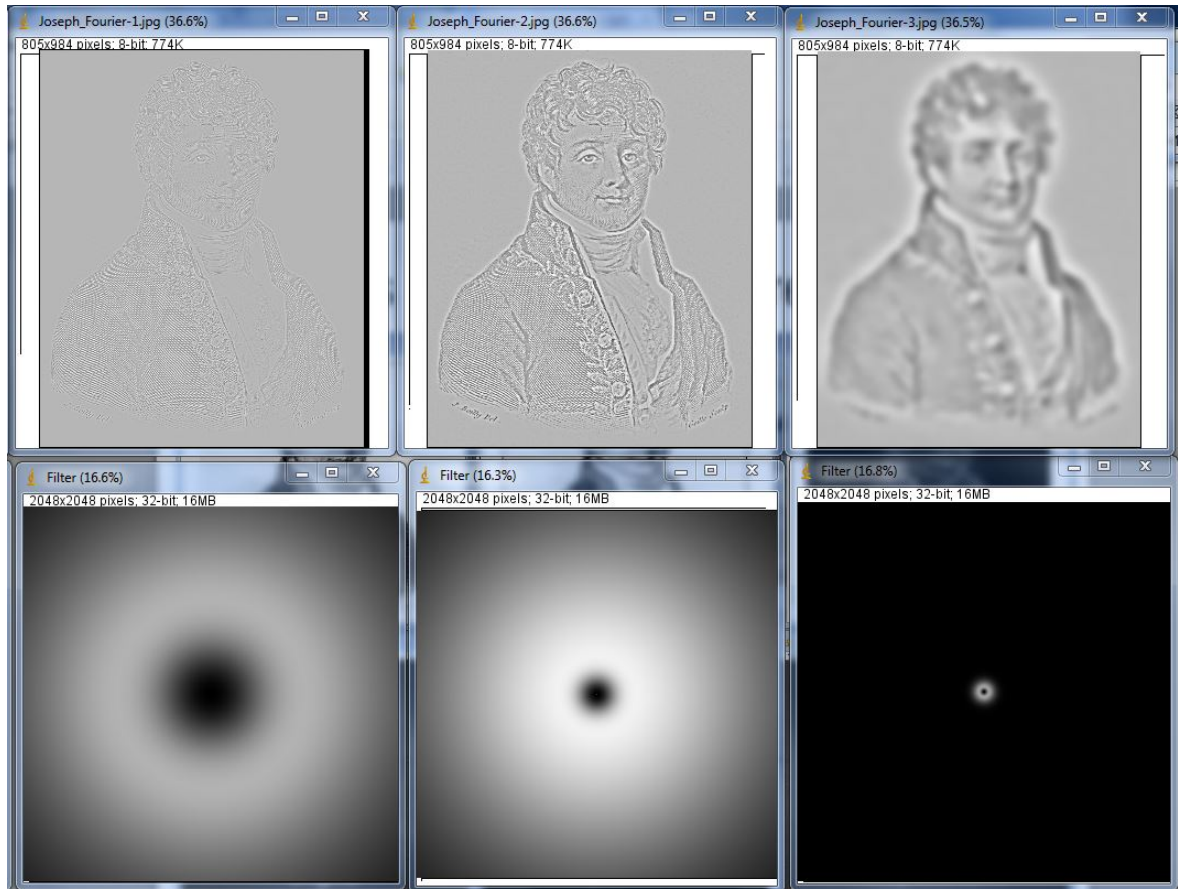


Figura 3.8: Exemplos de filtros passa-bandas.

Para aplicá-los no imageJ, primeiramente efetua-se a 2D FFT na imagem original. Nos dois exemplos, selecionam-se no domínio transformado as faixas espectrais a serem desconsideradas (banda não-passante) e excluem-nas. Efetua-se, em seguida, a 2D FFT inversa, e obtém-se a imagem já filtrada.

Polikar [19] afirma que a convolução discreta é uma das operações mais importantes dos sistemas de processamento de sinais. Segundo ele a propriedade de convolução no domínio do tempo, apresentada na equação 3.8 para o caso bidimensional, é de fundamental importância nos filtros. A função $g(x,y)$ desta propriedade representa o filtro que se deseja aplicar. A operação de convolução envolve muitos cálculos, mas por esta propriedade, convolver no domínio do tempo equivale a multiplicar no domínio da frequência, que resulta numa redução significativa no número de cálculos. Dessa forma, ao invés de efetuar a convolução da imagem ($f(x,y)$) com o filtro ($g(x,y)$), aplica-se a transformada de Fourier sobre estas obtendo-se $\mathfrak{F}(u,v)$ e $\mathfrak{G}(u,v)$, multiplica-se ponto a ponto as funções $\mathfrak{F}$ e $\mathfrak{G}$ e em seguida efetua-se a transformada inversa, resultando na imagem filtrada.

3.7 Resultados e Discussão

Os resultados referentes à segmentação de imagens de folhas e colmos de gramíneas através de filtros no domínio da frequência são dissertados e discutidos no capítulo [6](#).

Capítulo 4

CARGA DE DADOS HISTÓRICOS

Efetuaram-se a carga de dados de 27 amostragens de disponibilidade de forragem, fornecidas pela Embrapa Gado de Corte, para o banco de dados (SGBD PostgreSQL) do software. Elas ocorreram entre 31/08/2009 e 11/02/2014, continham dados de amostragens de vários pesquisadores e encontravam-se em planilhas no formato Excel.

4.1 Planejamento e análise de requisitos para carga dos dados históricos

As etapas de planejamento da estratégia para carga e de análise dos requisitos de dados ocorreram concomitantemente.

Definido o SGBD a ser utilizado seguiu-se a etapa de Planejamento da Carga dos Dados. Inicialmente trabalhou-se em compreender quais os dados deveriam ser importados das planilhas, como esses dados estavam organizados e quais as informações deveriam ser geradas a partir destes dados.

Optou-se por efetuar um processo semiautomático para carga de dados, pois os dados dos diferentes experimentos não favoreceram a utilização de ferramentas automáticas de ETL, do inglês *Extract Transform Load* (Extração Transformação Carga).

De forma sucinta, assim que os requisitos para carga eram identificados para uma planilha ou conjunto de planilhas semelhantes gerava-se um arquivo CSV (Comma-separated values) com os dados a serem exportados. Estes dados eram então copiados para uma tabela auxiliar já no banco de dados, processados e carregados para as tabelas destino, conforme detalhado ainda neste capítulo.

Identificaram-se os atributos das planilhas e procedeu-se a análise dos valores e

domínios dos atributos, tamanhos, tipos de dados, unicidades e nulidades. Planejou-se então as regras de transformação destes para os campos das tabelas.

Inicialmente efetuou-se a identificação dos atributos a serem carregados para o Banco de Dados. A principal entidade observada é *Amostragem* e contém as informações básicas dos experimentos, como data da realização, localização e tamanho das molduras. Para cada planilha criou-se um atributo identificador (*ID*). Nos experimentos com gramíneas tropicais realizados nessa unidade da Embrapa comumente utilizam-se molduras quadradas para demarcação das amostras com tamanho de $1m^2$. Esse tamanho é justificado devido a heterogeneidade espacial desse tipo de gramínea, de forma a propiciar que todos os componentes estruturais da planta estejam devidamente representados na área amostral, conforme previsto em [23]. Apenas duas amostragens, realizadas nos dias 31/08/2009 e 11/05/2010 foram realizadas com molduras de tamanho de $0,25m^2$.

Criou-se o atributo grupo na tabela *Amostragem*, que é útil para agrupar as várias amostragens de um pesquisador. Discutir-se-á em mais detalhes a utilidade deste atributo no capítulo 6.

Em todas as amostragens os dados eram organizados por piquetes e pontos amostrais (tabelas *Piquete* e *Ponto*). Os piquetes são numerados de 1 a 12. Os 4 primeiros referem-se ao sistema ILPF1, os de nº 5 até 8 ao ILPF2 e por fim os de nº 9 até 12 são do sistema ILP, conforme descrito em 2.2.1. Na figura 2.6, que descreve os níveis de sombreamento analisados em sistema de ILPF destes experimentos, observam-se apenas 5 pontos de interesse: ‘A’, ‘B’, ‘C’, ‘D’ e ‘E’, enquanto nas planilhas esses são em número de 27.

Algumas amostragens possuíam características que complementavam a designação dos pontos amostrais, as quais foram mapeadas na tabela *rótulo*: ‘SOL’, ‘SOMBRA’, ‘ALT 15’, ‘ALT 30’, ‘OUTONO’, ‘INVERNO’, ‘PRIMAVERA’ e ‘VERÃO’.

Uma amostra é então identificada pela combinação dos atributos amostragem, piquete, ponto e rótulo. A tabela *Ponto_amostragem* foi projetada para armazenar os dados de altura(cm), cobertura de solo(%), massa verde(g) e liteira(g) das amostras. Já a tabela *Avaliacao_ponto_amostragem* acomoda os dados de massa verde total da amostra(g) e massa verde da subamostra(g), bem como os dados das avaliações de disponibilidades das frações (lâmina, colmo, morto, inflorescência, sorgo e liteira), expressas em gramas, antes e após o processo de secagem 1. Registraram-se também nessa tabela a massa dos sacos(g) de cada uma das frações.

4.2 Carga dos dados históricos

A figura 4.1 mostra uma planilha com dados da amostragem de nº 22, ocorrida no dia 20/10/2011, e servirá para exemplificar o processo de carga dos dados históricos.

Na figura 4.1 observam-se várias células mescladas, como por exemplo o intervalo de B6 até B12 que foram juntadas e representam um único dado, a amostra A do piquete de nº 1. As referências às células mescladas são feitas indicando o nome da primeira célula do intervalo, enquanto que nas demais células deste inexistem informações.

Para a carga dos dados históricos iniciou-se pela linearização dos dados das amostras. Para cada planilha (ou conjunto de planilhas semelhantes) mapeou-se as células que continham a primeira amostra (combinação de id_amostragem, piquete, ponto e rótulo) juntamente com todos os dados associados àquela amostra. No exemplo da tabela 4.2, referente à amostragem de nº 22, as células A6, B6, C6, E6 e G6 representam piquete, ponto, massa verde total geral, massa verde total analisada e lâmina seca respectivamente. Efetuados os mapeamentos das células para todos os atributos da primeira amostra, copiavam-se as fórmulas para as células inferiores. Observa-se que neste exemplo mapearam-se apenas os nove primeiros atributos da amostra de nº 22, a qual referia-se à estação do ano *primavera*.

Na amostragem de exemplo (tabela 4.2) não foram registradas as disponibilidades das frações verdes (lâmina, colmo, morto, inflorescência, sorgo, liteira e invasora) nem os pesos dos sacos referentes a estas frações. Assumiram-se valores zerados para tais campos e adaptaram-se os cálculos prevendo esta situação. Fato semelhante é observado na maioria das amostragens.

Todo o processo de carga fora efetuado através de instruções SQL. Inseriram-se os registros das amostragens, mantendo-se o mesmo atributo identificador (*ID*) registrado anteriormente nas planilhas. Inseriram-se também os 12 piquetes, seguindo o descrito na seção 4.1.

As informações dos tratamentos, para cada piquete, foram atualizados após o processo de carga, com informações fornecidas pela Embrapa.

Criaram-se as tabelas *Ponto_amostragem_importa* e *Avaliacao_ponto_amostragem_importa* (vide figura 5.2) como auxiliares no processo de carga. Os dados dos arquivos em formato CSV eram então copiados para essas tabelas auxiliares, processados e carregados para os destinos. Em ambas tabelas inseriam-se informações juntadas referentes às amostras, pontos, rótulos e piquetes.

Limparam-se as informações desnecessárias *criadas* pelo processo de geração do CSV, tais como os pontos iguais a zero do exemplo da amostragem de nº 22 - vide antes (tabela 4.2) e depois (tabela 4.2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	22													
2	Data corte:	20/10/2011												
3			Média											
4	Piquete		Peso verde	Peso verde	Peso verde	Fração	Peso seco (g/m²)	Teor de MS (%)	Proporção (%)	Proporção (kg MS/ha)	PMSV Folha + colmo	Relação F/C	Relação V/M	Proporção P/PI
5	amostra		total (g/m²)	total kg/ha	sub-amostra									
6	1	A	392,05	3920,50	328,70	Lâmina	33,40		15%	398,37	53,20	1,69	0,32	0,15
7						Infl.	0,00		0%	0,00				0,00
8						Colmo	19,80		9%	236,16				0,09
9						Morto	168,70		76%	2012,13				0,76
10						Serra pi ha	0,00		0%	0,00				1,00
11						Brach. **	0,00		0%	0,00				
12						TOTAL	221,90		68%	2646,67				2646,67
13		B	450,25	4502,50	335,00	Lâmina	24,00		11%	322,57	40,10	1,49	0,23	0,11
14						Infl.	0,00		0%	0,00				0,00
15						Colmo	16,10		7%	216,39				0,07
16						Morto	176,30		81%	2369,52				0,81
17						Serra pi ha	0,00		0%	0,00				1,00
18						Brach. **	0,00		0%	0,00				
19						TOTAL	216,40		65%	2908,48				2908,48
20		C	386,80	3868,00	356,40	Lâmina	23,40		11%	253,96	45,70	1,05	0,27	0,11
21						Infl.	0,00		0%	0,00				0,00
22						Colmo	22,30		10%	242,02				0,10
23						Morto	170,80		79%	1853,69				0,79
24						Serra pi ha	0,00		0%	0,00				1,00
25						Brach. **	0,00		0%	0,00				
26						TOTAL	216,50		61%	2349,67				2349,67
27		D		0,00		Lâmina			#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
28						Infl.			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
29						Colmo			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
30						Morto			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
31						Serra pi ha			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
32						Brach. **			#DIV/0!	#DIV/0!				
33						TOTAL	0,00		#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
34		E		0,00		Lâmina			#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
35						Infl.			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
36						Colmo			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
37						Morto			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
38						Serra pi ha			#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!
39						Brach. **			#DIV/0!	#DIV/0!				
40						TOTAL	0,00		#DIV/0!	#DIV/0!				#DIV/0!

Figura 4.1: Planilha exemplo com dados da amostragem n° 22

Como dito anteriormente, nas células mescladas de uma planilha apenas a primeira célula do intervalo contém informações. Desta forma necessitou-se corrigir a numeração dos piquetes, pois pelo mapeamento recuperavam-se o número do piquete apenas para a primeira amostra a ele relacionada.

Os registros da tabela *Ponto_amostragem_importa*, com informações juntadas, eram então processados, seguindo um processo conhecido como normalização de relações. Como resultado deste processamento os dados eram decompostos e povoavam-se as tabelas *Ponto*, *Rotulo* e *Ponto_amostragem*, conforme descrito logo a seguir. De forma análoga decompunham-se as informações juntadas registradas na tabela *Avaliacao_ponto_amostragem_importa* e povoavam-se as tabelas *Ponto*, *Rotulo* e *Avaliacao_ponto_amostragem*. Lembra-se que as tabelas *amostragem* e *piquete* já estavam devidamente povoadas quando do início deste processamento.

O processo de decomposição dos dados iniciava-se com a identificação dos distintos valores de rótulos presentes em *Ponto_amostragem_importa* e que ainda não constavam na tabela *Rotulo*. Inseriam-se em *Rotulo* os rótulos identificados. Procedia-se de forma semelhante com os pontos amostrais. Repetia-se todo o processo analisando os registros de *Avaliacao_ponto_amostragem_importa*.

Tabela 4.1: Mapeamento das células de uma planilha para fins de carga dos dados históricos (exemplo - amostragem nº 22).

\$A\$1	A6	B6	Estação	C6	E6			G6
id_Amostragem	Piquete	Ponto	Rótulo	MV_tot_geral	MV_tot_analisada	lamina_verde	lamina_saco	lamina_seca
22	1	A	PRIMAVERA	392,05	328,7	0	0	33,4
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	0
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	19,8
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	168,7
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	0
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	0
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	221,9
22	0	B	PRIMAVERA	450,25	335	0	0	24
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	0
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	16,1
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	176,3
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	0
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	0
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	216,4
22	0	C	PRIMAVERA	386,8	356,4	0	0	23,4
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	23,40
22	0	0	PRIMAVERA	0	0	0	0	0

Tabela 4.2: Processo de carga dos dados históricos - correção da numeração dos piquetes e limpeza das informações desnecessárias (exemplo - amostragem 22).

\$A\$1	A6	B6	Estação	C6	E6
id_Amostragem	Piquete	Ponto	Rótulo	MV_tot_geral	MV_tot_analisada
22	1	A1	PRIMAVERA	392.05	328.7
22	1	A2	PRIMAVERA	450,25	335
22	1	B1	PRIMAVERA	386,8	356,4

A carga dos dados de disponibilidade de forragem para a tabela *Avaliacao_ponto_amostragem* é exemplificada através do Comando/Código 4.1. Como dito anteriormente, e mostrado na tabela 4.2, não foram registradas as disponibilidades de todas as frações. Para tal, criou-se no banco de dados a função definida pelo usuário *fnNullToZero*, que assume valores zerados caso receba como parâmetro um valor nulo ou o valor informado, caso contrário.

Comando/Código 4.1: Comando SQL para carga dos dados históricos de disponibilidade de forragem.

```

1      INSERT INTO avaliacao_ponto_amostragem
2      (
3          id_amostragem,
4          piquete,
5          id_ponto,
6          id_rotulo,
7          massa_verde_total,
8          massa_verde_subamostra,
9          lamina_verde, lamina_saco, lamina_seca,
10         colmo_verde, colmo_saco, colmo_seco,
11         morto_verde, morto_saco, morto_seco,
12         inflorescencia_verde, inflorescencia_saco,
13         inflorescencia_seca,
14         sorgo_verde, sorgo_saco, sorgo_seco,
15         liteira_verde, liteira_saco, liteira_seca,
16         invasora_verde, invasora_saco, invasora_seca
17     )
18     SELECT
19         id_amostragem,
20         piquete,
21         Ponto.id AS Ponto_id,
22         Rotulo.id AS id_rotulo,

```

```

23         fnNullToZero(massa_verde_total_geral),
24         fnNullToZero(massa_verde_total_analisada),
25         fnNullToZero(lamina_verde), fnNullToZero(lamina_saco),
26         fnNullToZero(lamina_seca),
27         ...      /* mapeamento dos outros campos */
28         fnNullToZero(invasora_verde),
29         fnNullToZero(invasora_saco),
30         fnNullToZero(invasora_seca)
31     FROM avaliacao_ponto_amostragem_importa Importa
32     JOIN Ponto ON Importa.Ponto = Ponto.Ponto
33     JOIN rotulo ON
34         ( upper(Importa.rotulo) = rotulo.rotulo
35         OR
36         (Importa.Rotulo is null and rotulo.rotulo is null)
37         )
38     ORDER BY id_amostragem,
39             Importa.piquete, Importa.Rotulo, Importa.Ponto
40

```

A tabela 4.3 resume o mapeamento das informações a serem disponibilizadas pela aplicação para cada avaliação. No contexto deste trabalho estas informações serão referenciadas como *indicadores*. Em função do grande número deles criou-se uma estrutura do tipo chave-valor, na qual para cada chave (sigla) mapeou-se um valor (descrição do indicador). Tentou-se utilizar as mesmas siglas e/ou valores outrora descritos nas planilhas. Armazenaram-se tais entradas de chave-valor na tabela *Legenda* para prover buscas ao usuário tanto pelas siglas (chaves) quanto pelas descrições (valores). Detalham-se estas buscas no capítulo 6.

Tabela 4.3: Mapeamento dos indicadores (informações das avaliações) disponibilizados pela aplicação para cada avaliação.

Chave (Sigla)	Valor (Descrição do Indicador)
Massa_Verde_Total	Massa verde total da amostra (g)
Massa_Verde_Total_Kg_ha	Massa verde total (kg/ha)
Massa_Verde_Subamostra	Massa verde total da subamostra (g)
Lamina_Verde	Lâmina verde (g)
Colmo_Verde	Colmo verde (g)
Morto_verde	Morto verde (g)
Inflores_Verde	Inflorescência verde (g)
Sorgo_Verde	Sorgo verde (g)

Continua na próxima página

Tabela 4.3 – *Continuação da página anterior*

Chave (Sigla)	Valor (Descrição do Indicador)
Liteira_Verde	Liteira verde (g)
Invasora_Verde	Invasora verde (g)
Total_Verde	Total das parcelas verdes (g)
Lâmina	Lâmina seca (g)
Colmo	Colmo seco (g)
Morto	Morto seco(g)
Inflores	Inflorescência seca(g)
Sorgo	Sorgo seco(g)
Liteira	Liteira seca(g)
Invasora	Invasora seca (g)
Total_Seca	Total da parcelas secas (g)
teor_ms_total	Teor de Matéria Seca Total (%)
F:C	Relação folha:colmo
V:Mpi	Relação verde:morto do piatã
Massa_Seca_kg_ha	Matéria Seca Total (kg/ha)
MSf%mt	Porcentagem de matéria seca da folha na subamostra seca total
MSc%mt	Porcentagem de matéria seca do colmo na subamostra seca total
MSm%mt	Porcentagem de matéria seca do material morto na subamostra seca total
MSi%mt	Porcentagem de matéria seca da inflorescência na subamostra seca total
MSl%mt	Porcentagem de matéria seca da liteira na subamostra seca total
MSb%mt	Porcentagem de matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total
PMSVpi	Peso da matéria seca verde do piatã (g MS/m ²)
PMSf	Peso da matéria seca da folha na subamostra seca total (kg MS/ha)
PMSc	Peso da matéria seca do colmo na subamostra seca total (kg MS/ha)
PMSm	Peso da matéria seca do material morto na subamostra seca total (kg MS/ha)

Continua na próxima página

Tabela 4.3 – *Continuação da página anterior*

Chave (Sigla)	Valor (Descrição do Indicador)
PMSi	Peso da matéria seca da inflorescência na subamostra seca total (kg MS/ha)
PMSl	Peso da matéria seca da liteira na subamostra seca total (kg MS/ha)
PMSb	Peso da matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total (kg MS/ha)
PMSt	Peso da matéria seca total na subamostra seca total (kg MS/ha)
PMVt	Peso da matéria verde total na subamostra (kg MS/ha)
MSf%p	Porcentagem de matéria seca da folha na amostra de piatã (sem invasora)
MSc%p	Porcentagem de matéria seca do colmo na amostra de piatã (sem invasora)
Msm%p	Porcentagem de matéria seca do material morto na amostra de piatã (sem invasora)
Msm%i	Porcentagem de matéria seca do material morto na amostra de piatã (sem invasora)
conf1_1	Conferência: "PMSf" + "PMSc" + "PMSm" + "PMSb"
conf1_2	Conferência: "PMSt"
conf1	Conferência: ("PMSf" + "PMSc" + "PMSm" + "PMSb") / "PMSt"
conf2_1	Conferência: "MSf%mt" + "MSc%mt" + "Msm%mt"
conf2_2	Conferência: "PMSb" / "PMSt"
conf2	Conferência: ("MSf%mt" + "MSc%mt" + "Msm%mt") + ("PMSb" / "PMSt")

O processo semiautomático para carga de dados históricos de disponibilidades de forragem pode então ser resumido, de forma cíclica, conforme a figura 4.2.

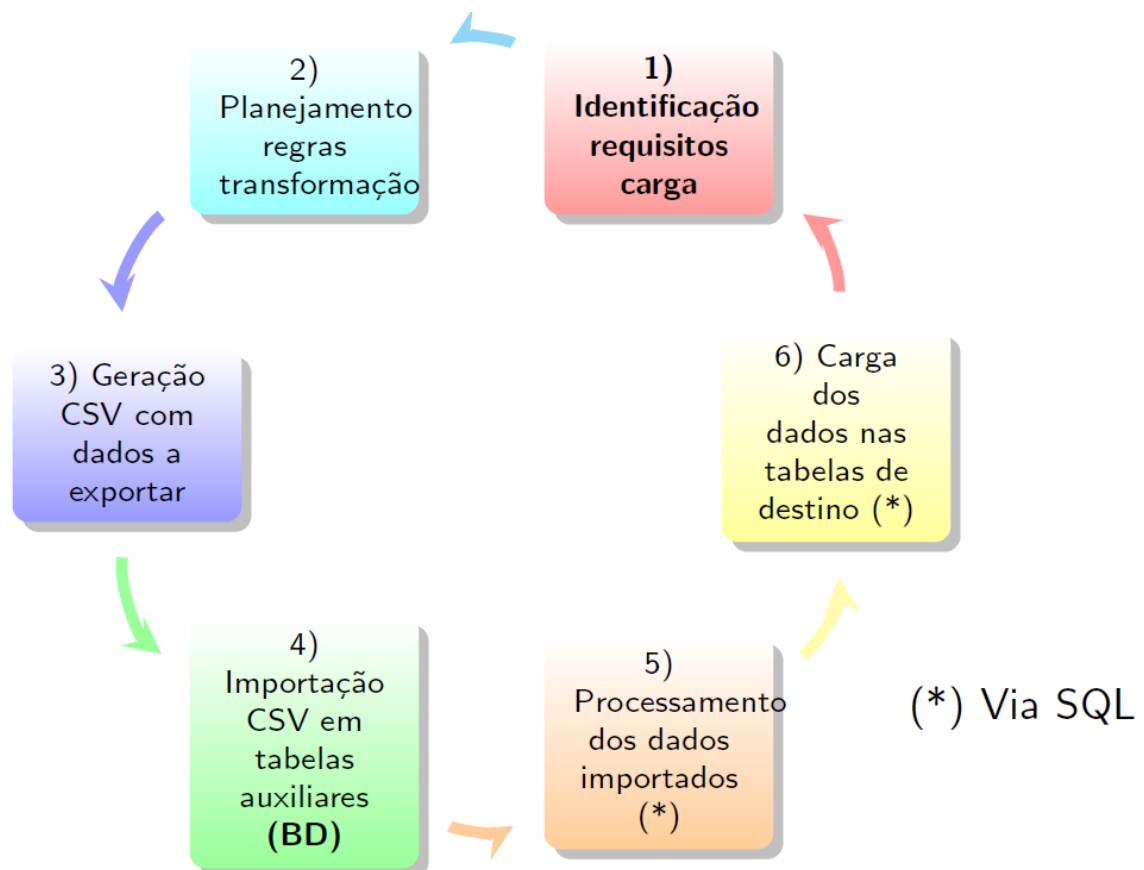


Figura 4.2: Processo semiautomático para carga de dados históricos de disponibilidades de forragem - visão geral.

Capítulo 5

ANÁLISE, PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE - MSForragem

A fundamentação básica para compreensão deste capítulo encontra-se na seção [2.3](#).

Neste capítulo discutir-se-ão as atividades de análise, projeto e implementação do software, denominado **MSForragem**, que será chamado, em alguns momentos, apenas de software ou sistema, e seus usuários serão denominados apenas de usuário.

5.1 Objetivo e análise de requisitos

O objetivo geral do software *MSForragem* é disponibilizar as avaliações de altura e cobertura de solo e da massa de forragem, discriminada por frações (lâmina, colmo, morto, inflorescência e liteira), para pastagens tropicais, gerar para cada avaliação, os indicadores quantitativos relacionados à massa seca de forragem, descritos na tabela [4.3](#), e prover um método para identificação de possíveis anomalias nas amostras. Num primeiro momento o software será utilizado em experimentos de ILPF da Embrapa Gado de Corte.

O objetivo específico, já discutido, foi o processo de carga dos dados históricos, detalhado no capítulo [4](#).

A seguir citam-se resumidamente algumas das atividades de engenharia de requisitos desenvolvidas, descritas como importantes em [\[24\]](#).

1. Identificaram-se os usuários iniciais da aplicação: pesquisadores da Embrapa e os estagiários envolvidos em projetos de avaliação da produção de capins, e

características estruturais, em sistemas ILPF.

2. A viabilidade da construção do software foi conferida pelos pesquisadores da Embrapa.
3. Especificaram-se os requisitos de negócio, que em suma referem-se ao objetivo principal do software.
4. Utilizou-se da técnica de prototipação para validação dos requisitos.
5. Efetuaram-se revisões nas especificações dos requisitos desde a concepção do sistema até sua entrega.

5.2 Projeto físico e implementação dos objetos do banco de dados

Realizou-se o projeto físico do banco de dados através de uma abordagem de desenvolvimento ágil para codificação dos objetos.

O início do projeto físico foi apresentado nas seções 4.1 e seguintes. A figura 5.2 (página 46) representa a descrição diagramática do projeto físico. Com fins didáticos, coloriu-se o diagrama com 5 cores, de forma a agrupar os objetos conforme sua função: laranja - tabelas auxiliares no processo de carga de dados históricos; preto - tabelas que conterão os dados da aplicação, cadastrados pelos usuários ou provenientes do processo de carga; azul - visões de banco de dados (abordadas a seguir) resultantes do processo de análise de informações; vermelho - visões resultantes do processo de síntese de informações; verde - visão auxiliar para facilitar as buscas nos metadados do banco de dados.

Criaram-se as tabelas, suas chaves primárias e chaves estrangeiras conforme representado na figura 5.2. Criou-se também uma restrição de unicidade através de um índice único (chave alternativa), sobre os campos `id_amostragem`, `piquete`, `id_ponto` e `id_rotulo` da tabela *Ponto_amostragem*. Sua utilização resulta em acréscimo de performance pois muitas consultas operam sobre estes campos.

Neste projeto utilizaram-se três técnicas de virtualização de dados: visões de banco de dados (*database views*), funções (*functions*) e visões materializadas (*materialized views*). A utilização dessas técnicas costuma ser de grande benefício, principalmente em projetos ágeis [25].

Ainda no início do processo de análise de requisitos identificaram-se as oportunidades de criação das visões de banco de dados, antes mesmo da codificação

de outros objetos do banco, em conformidade com [25], no qual também exalta-se a importância das visões, as elenca como a ferramenta mais importante para virtualização de dados disponível para o DBA.

A utilização de visões proporcionou, inclusive, a validação dos dados carregados das planilhas, como será discutido adiante.

Nesta seção as visões de banco de dados serão chamadas apenas de visões (*views*). Discutir-se-ão somente as avaliações de disponibilidades das frações, que representam mais de 90% do projeto. As informações de altura e cobertura de solo foram construídas de forma análoga.

Planejaram-se as visões para cálculo das informações de disponibilidade das frações de maneira semelhante a protocolos de rede de computadores, onde cada visão pode ser entendida como uma camada de rede, cuja função é prover os serviços (cálculos) às visões das camadas superiores, e esconder do usuário a complexidade das construções das camadas inferiores. Este planejamento é exemplificado na figura 5.1 e na tabela 5.1.

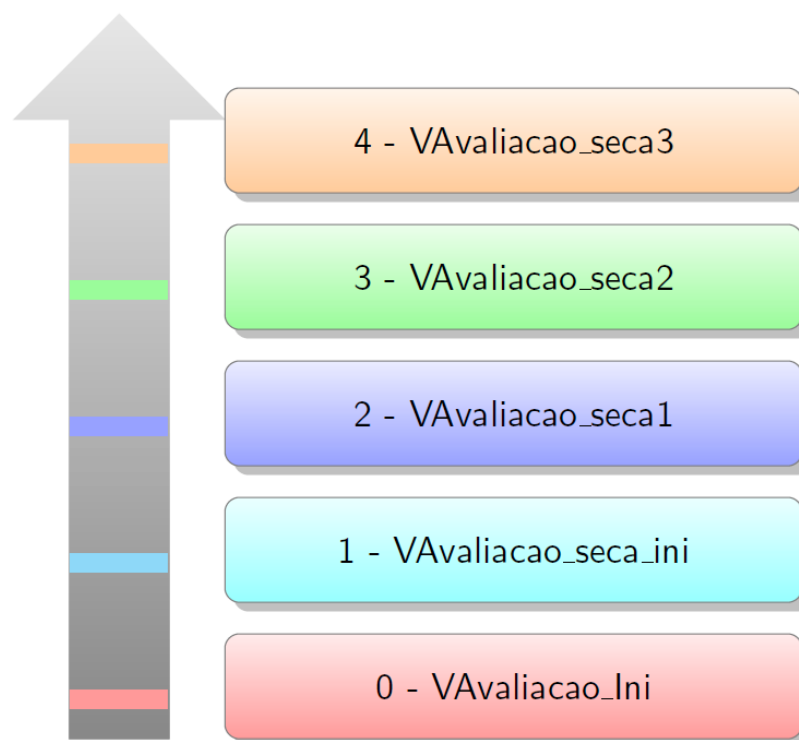


Figura 5.1: Abstração do projeto das visões para cálculo das informações de disponibilidades das frações como camadas de redes de computador.

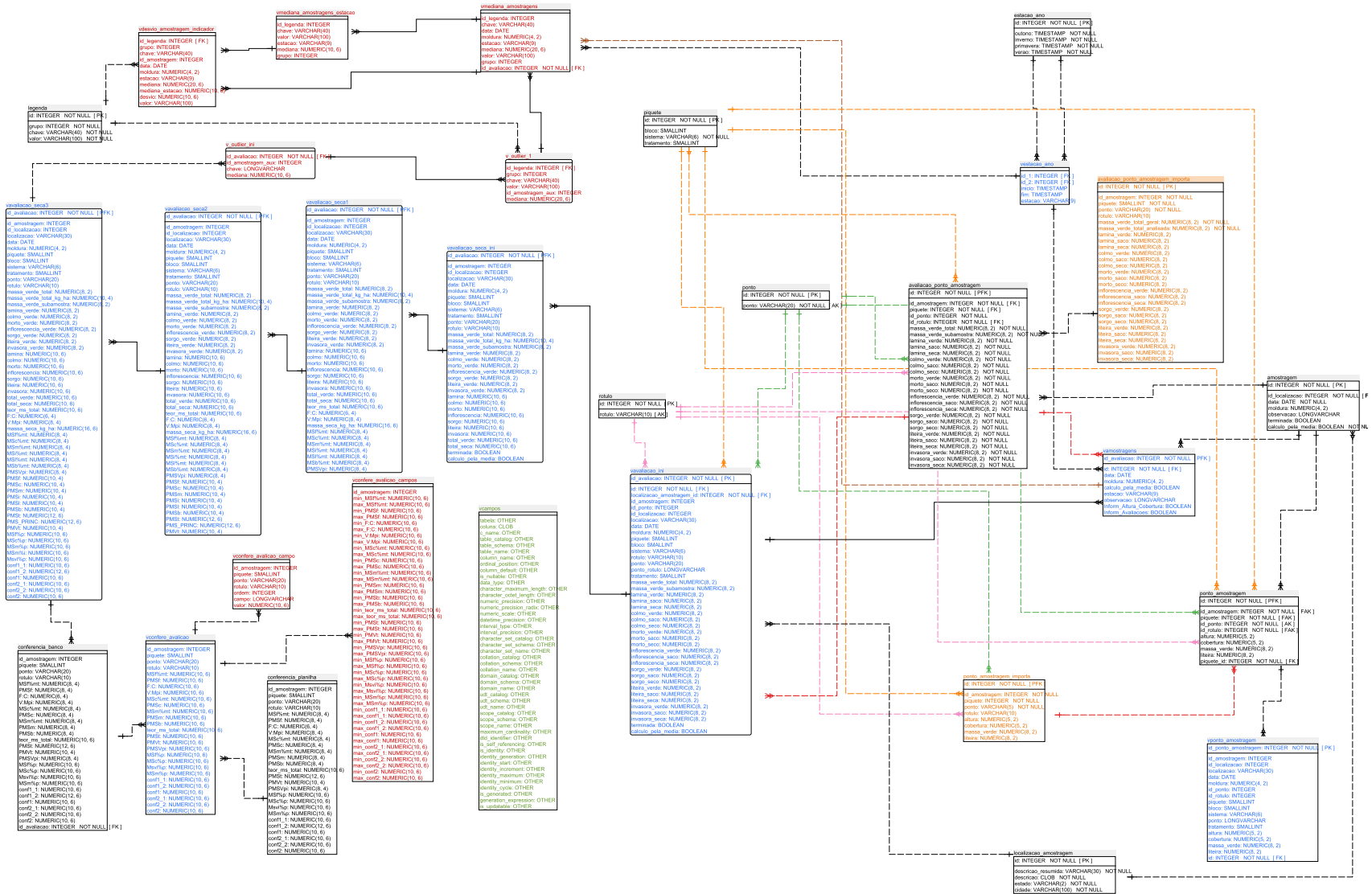
O projeto das visões iniciou-se com a criação de uma *view* de nome VAvaliacao_Ini, cuja função é juntar as informações de várias tabelas do banco de dados (*Avaliacao_ponto_amostragem*, *Ponto*, *Piquete*, *Amostragem* e

Localizacao_amostragem), já ordenadas pelo ID da amostragem, piquete, rótulo e ponto. Produziu-se com tal criação a possibilidade de consultar a quaisquer informações das tabelas base utilizadas nas junções, sem a necessidade de referenciá-las diretamente, referenciando apenas à visão.

Tabela 5.1: Abstração do projeto das visões para cálculo das informações de disponibilidades das frações como camadas de redes de computador (legenda na tabela 4.3).

Camada	Nome da Visão	Campos Providos pela Visão
4	VAvaliacao_seca3	MSf%p, MSc%p, MSm%p, MSm%i, Msvi%p, conf1_1, conf1_2, conf1, conf2_1, conf2_2, conf2
3	VAvaliacao_seca2	PMSf, PMSc, PMSm, PMSi, PMSl, PMSb, PMSt, PMS_PRINC, PMVt
2	VAvaliacao_seca1	teor_ms_total, F:C, V:Mpi, massa_seca_kg_ha, MSf%mt, MSc%mt, MSm%mt, MSi%mt, MSI%mt, MSb%mt, PMSVpi
1	VAvaliacao_seca_ini	massa_verde_total_kg_ha, lamina, colmo, morto, inflorescencia, sorgo, liteira, invasora, total_verde, total_seca
0	VAvaliacao_Ini	id_avaliacao, id_amostragem, id_ponto, id_localizacao, localizacao, data, moldura, piquete, bloco, sistema, rotulo, ponto, ponto_rotulo, tratamento, massa_verde_total, massa_verde_subamostra, lamina_verde, lamina_saco, lamina_seca, colmo_verde, colmo_saco, colmo_seco, morto_verde, morto_saco, morto_seco, inflorescencia_verde, inflorescencia_saco, inflorescencia_seca, sorgo_verde, sorgo_saco, sorgo_seco, liteira_verde, liteira_saco, liteira_seca, invasora_verde, invasora_saco, invasora_seca, terminada, calculo_pela_media

Figura 5.2: Descrição diagramática - projeto físico do banco de dados



O Comando/Código 5.1 mostra o cálculo do total de frações com informação de matéria seca, apelidado de *total_seca*, nesta visão. Observa-se que *total_seca* é resultante de outros quatorze campos.

Comando/Código 5.1: Fragmento da visão VAvaliacao_seca1: SQL para cálculo do total das frações com informação de matéria seca.

```
1 SELECT
2
3     ...
4
5     (      (lamina_seca - lamina_saco) +
6             (colmo_seco - colmo_saco) +
7             (morto_seco - morto_saco) +
8             (inflorescencia_seca - inflorescencia_saco) +
9             (sorgo_seco - sorgo_saco) +
10            (liteira_seca - liteira_saco) +
11            (invasora_seca - invasora_saco)
12    ) AS total_seca
13
14    ...
15 FROM VAvaliacao_Ini
```

Projetou-se cada visão com uma função específica, evitando a projeção de quaisquer campos desnecessários e/ou redundantes. Embora esta estratégia gere um número maior de visões no banco de dados, um menor esforço será despendido caso uma manutenção for requerida, como também corroborado em [25].

A criação da visão *VAvaliacao_seca1* é exemplificada no Comando/Código 5.2. Nela utilizam-se dos campos providos pela visão *VAvaliacao_seca_ini* que por sua vez é servida dos campos de *VAvaliacao_Ini*. As duas visões de base encapsulam suas funcionalidades e *VAvaliacao_seca1* apenas as utiliza, sem necessidade de conhecer "como" aquelas foram implementadas. Filtram-se apenas os registros que possuem pelo menos uma das frações com informação de matéria seca. Para tal escreve-se apenas *WHERE total_seca > 0* sem fazer qualquer referência aos quatorze campos dos quais *total_seca* é derivado. Incluíram-se verificações do erro para evitar divisões por zero, frequentes nas planilhas fornecidas para carga de dados. No referido SQL testaram-se todos os denominadores das divisões através de expressões do tipo *CASE WHEN 'campo' = 0 THEN NULL* e projetaram-se valores nulos caso divisões por zero fossem ocorrer. *VAvaliacaoSeca1* efetua várias conversões numéricas para tipos *NUMERIC(precisão, escala)*.

Comando/Código 5.2: Comando SQL para criação da visão VAvaliacao_seca1.

```
1 CREATE OR REPLACE VIEW VAvaliacao_seca1 AS
2 SELECT
3     id_avaliacao ,
4     id_amostragem ,
5     id_localizacao ,
6     localizacao ,
7     data ,
8     moldura ,
9     piquete ,
10    bloco ,
11    sistema ,
12    tratamento ,
13    ponto ,
14    rotulo ,
15    massa_verde_total ,
16    massa_verde_total_kg_ha ,
17    massa_verde_subamostra ,
18    lamina_verde ,
19    colmo_verde ,
20    morto_verde ,
21    inflorescencia_verde ,
22    sorgo_verde ,
23    liteira_verde ,
24    invasora_verde ,
25    lamina ,
26    colmo ,
27    morto ,
28    inflorescencia ,
29    sorgo ,
30    liteira ,
31    invasora ,
32    total_verde ,
33    total_seca ,
34    cast( CASE WHEN massa_verde_subamostra = 0 THEN NULL
35           ELSE total_seca / massa_verde_subamostra
36         END AS numeric(10,6)
37         ) AS Teor_MS_Total ,
38    cast( CASE WHEN colmo = 0 THEN NULL
39           ELSE lamina/colmo
40         END as numeric(6,4)
41        ) AS "F:C", --Relação folha:colmo (g/m2)
42    cast( CASE WHEN morto = 0 THEN NULL
43           ELSE (lamina + colmo)/morto
```

```

44         END as numeric(8,4)
45     ) "V:Mpi", --Relação verde:morto do piatã (g/m2)
46     cast( CASE WHEN massa_verde_subamostra = 0 THEN NULL
47           ELSE massa_verde_total_kg_ha * (total_seca /
massa_verde_subamostra)
48         END AS numeric(16,6)
49     ) AS massa_seca_kg_ha, -- massa_verde_total_kg_ha *
Teor_MS_Total
50     cast(lamina / total_seca as numeric(8,4)) AS "MSf%mt", --
Porcentagem de matéria seca da folha na subamostra seca total
51     cast(colmo / total_seca as numeric(8,4)) AS "MSc%mt", --
Porcentagem de matéria seca do colmo na subamostra seca total
52     cast(morto / total_seca as numeric(8,4)) AS "MSm%mt", --
Porcentagem de matéria seca do material morto na subamostra seca
total
53     cast(inflorescencia / total_seca as numeric(8,4)) AS "MSi%mt"
, --Porcentagem de matéria seca da inflorescencia na subamostra
seca total
54     cast(liteira / total_seca as numeric(8,4)) AS "MSl%mt", --
Porcentagem de matéria seca da liteira na subamostra seca total
55     cast(invasora / total_seca as numeric(8,4)) AS "MSb%mt",
56     --Porcentagem de matéria seca da braquiária invasora na
subamostra seca total
57     cast( (lamina + colmo) as numeric(8,4)) AS "PMSVpi" --Peso da
matéria seca verde do piatã (g MS/m2)
58 FROM VAvaliacao_seca_ini
59 WHERE total_seca > 0

```

Uma das tarefas mais dispendiosas em tempo para execução dos experimentos era a conferência das informações geradas nas planilhas à procura de inconsistências. A solução desenvolvida neste trabalho para auxiliar nesta tarefa e gerar maior confiabilidade às informações residiu na identificação de possíveis *outliers* nas amostras. Em estatística, *outlier* é um valor atípico, normalmente inconsistente e considerado como uma anomalia, e que dista demasiadamente dos outros valores da população amostrada. Os resultados são apresentados na aplicação de forma tabular e gráfica, conforme discutido adiante no capítulo 5.3.

A metodologia utilizada para detecção de possíveis *outliers* baseou-se na observação dos desvios absolutos em torno da mediana, que segundo [26] é bastante aplicável na detecção de *outliers*, e tida como uma medida de dispersão estatística robusta, pouco influenciada pelos *outliers*. Os cálculos referentes a este método foram implementados diretamente no banco de dados.

Para identificação dos possíveis *outliers* projetou-se uma visão de nome *V_outlier_ini* que calcula, para todas as amostragens, a mediana dos quarenta e oito indicadores listados na tabela Legenda 4.3, armazenados numa estrutura chave-valor. O Comando/Código 5.3 lista um fragmento da criação desta visão. Nela especificam-se a união de quarenta e oito consultas. Naturalmente esta visão se utiliza das funcionalidades encapsuladas nos campos de *VAvaliacao_seca3*, sem necessidade de reimplementação. Cada consulta é responsável pelos cálculos da mediana (função de agregação) referente a um único indicador (chave). Em todas essas consultas os resultados são agrupados tanto pela amostragem quanto pelo indicador.

Comando/Código 5.3: Fragmento da Visão V_Outlier_Ini.

```
1 CREATE OR REPLACE VIEW V_Outlier_Ini AS
2     SELECT id_amostragem,
3            'Massa_Verde_Total' AS chave, -- indicador
4            MEDIAN(Massa_Verde_Total) AS MEDIANA
5     FROM VAvaliacao_seca3
6     WHERE Massa_Verde_Total <> 0
7     group by id_amostragem, chave
8 UNION
9     SELECT id_amostragem,
10            'Massa_Verde_Total_Kg_ha' AS chave,
11            MEDIAN(Massa_Verde_Total_Kg_ha) AS MEDIANA
12     FROM VAvaliacao_seca3
13     WHERE Massa_Verde_Total_Kg_ha <> 0
14     group by id_amostragem, chave
15 UNION
16 ...
17 UNION
18 ...
19     SELECT id_amostragem,
20            'conf2' AS chave,
21            MEDIAN("conf2") AS MEDIANA
22     FROM VAvaliacao_seca3
23     WHERE "conf2" <> 0
24     group by id_amostragem, chave
25 ORDER BY id_amostragem, chave
```

Dado que a versão utilizada do PostgreSQL (9.5) não possui uma função nativa para cálculo de medianas utilizou-se neste trabalho da implementação sugerida na documentação oficial da *wiki* do próprio SGBD, descrita na biblioteca *ulib_agg*, para criar no banco de dados uma nova função de agregação definida pelo usuário, a qual denominou-se *MEDIAN*.

O SQL completo para criação de *V_outlier_ini* possuiu 335 linhas de código, respeitando a forma de escrita do Comando/Código 5.3. Embora pareça relativamente grande, sua construção foi simples. Cada uma das consultas que o compõe são logicamente iguais e referem-se a um indicador da tabela Legenda. Dessa forma escreveu-se um SQL auxiliar sobre Legenda, que retornava para cada chave(indicador) o texto do SQL para cálculo da mediana sobre os valores do campo de nome igual àquela chave na *view VAvaliacao_seca3* seguidos da palavra *UNION*. Ao final, para se obter o código completo, bastou reunir esses textos, retirar a cláusula *UNION* do último e especificar a condição de ordenação.

Projetou-se a visão *V_Outlier_1*, cuja função é apenas juntar, pelo campo *chave*, a visão *V_outlier_ini* com a tabela Legenda. Esta visão possibilitou consultar, de forma simples, a mediana de quaisquer indicadores associados a quaisquer amostragens, como pode ser verificado no Comando/Código 5.4, resultado na tabela 5.2.

Comando/Código 5.4: Consulta das medianas de todos os indicadores da amostragem de nº 1 cuja descrição inclui a palavra *seca*.

```

1      SELECT grupo, chave, valor, mediana
2      FROM V_Outlier_1
3      WHERE id_amostragem = 1 AND valor ilike '%seca%'
4      ORDER BY by id_legenda
5

```

Tabela 5.2: Resultado da consulta das medianas de todos os indicadores da amostragem de nº 1 cuja descrição inclui a palavra *seca*.

Grupo	Chave (Sigla)	Valor (Descrição do Indicador)	Mediana
3	Lâmina	Lâmina seca (g)	39,0850
3	Invasora	Invasora seca (g)	22,6900
3	Total_Seca	Total da parcelas secas (g)	94,2500
4	teor_ms_total	Teor de Matéria Seca Total (%)	0,2736
4	Massa_Seca_kg_ha	Matéria Seca Total (kg/ha)	6027,0068
5	MSf%mt	Porcentagem de matéria seca da folha na subamostra seca total	0,4237
5	MSc%mt	Porcentagem de matéria seca do colmo na subamostra seca total	0,2768
5	MSm%mt	Porcentagem de matéria seca do material morto na subamostra seca total	0,0017

Continua na próxima página

Tabela 5.2 – Continuação da página anterior

Grupo	Chave (Sigla)	Valor (Descrição do Indicador)	Mediana
5	MSb%mt	Porcentagem de matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total	0,2588
6	PMSVpi	Peso da matéria seca verde do piatã (g MS/m ²)	62,8000
6	PMSf	Peso da matéria seca da folha na subamostra seca total (kg MS/ha)	2445,7444
6	PMSc	Peso da matéria seca do colmo na subamostra seca total (kg MS/ha)	1622,8822
6	PMSm	Peso da matéria seca do material morto na subamostra seca total (kg MS/ha)	11,8115
6	PMSb	Peso da matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total (kg MS/ha)	1380,3909
6	PMSt	Peso da matéria seca total na subamostra seca total (kg MS/ha)	5685,2959
7	MSf%p	Porcentagem de matéria seca da folha na amostra de piatã (sem invasora)	0,6090
7	MSc%p	Porcentagem de matéria seca do colmo na amostra de piatã (sem invasora)	0,3857
7	MSm%p	Porcentagem de matéria seca do material morto na amostra de piatã (sem invasora)	0,0022

A seguir explicam-se as funcionalidades e detalhes de três *views*, construídas especificamente para geração de relatórios: *VMediana_Amostragens*, *VMediana_Amostragens_Estacao* e *VDesvio_Amostragem_Indicador*. A primeira tem como base *V_Outlier_1* e sua função é projetar informações complementares das amostragens (data, moldura e estação do ano). Na segunda, que se utiliza da primeira, calculam-se por agregação as medianas dos valores medianos observados para cada indicador e estação do ano. Já a terceira utiliza-se da segunda para análise de todos os indicadores, discriminados por estação do ano. Nela calculam-se os desvios percentuais absolutos da mediana observada para cada combinação amostragem/indicador em

relação à mediana de todas as amostragens daquele indicador tais que a estação do ano seja a mesma da amostragem de comparação.

5.3 Metodologia escolhida para gerenciamento do desenvolvimento do software

Para gerenciamento do desenvolvimento do software aplicou-se uma adaptação da metodologia *Rapid Application Development (RAD)* - Desenvolvimento Rápido de Aplicações. Em projetos iterativos de software, chama-se *time-box* a quantidade máxima de tempo determinada para realizar uma iteração. Nestes projetos as equipes também são chamadas de times. Um projeto RAD é normalmente desenvolvido por equipes pequenas, contendo de quatro até seis pessoas. Assim como em toda metodologia ágil, a documentação dos requisitos costuma ser reduzida. É adequada a projetos de sistemas altamente iterativos, combinados com técnicas de prototipação, com *time-box* variando de 30 a no máximo 120 dias (desde a análise de requisitos até a entrega) [27].

Como em todo projeto de engenharia, para que se pudesse desenvolver de forma rápida e garantir qualidade foi necessário integrar as melhores práticas de gerenciamento de projetos, bem como utilizar-se de ferramentas e técnicas de desenvolvimento adequadas.

Uma das características mais marcantes da metodologia RAD reside na utilização de componentes de software reutilizáveis, principalmente aqueles amplamente testados por uma comunidade de desenvolvedores e engenheiros de software. Optou-se pela IDE *Lazarus* após várias revisões de componentes, necessários para o desenvolvimento de toda a aplicação. A figura 5.3 representa o *Design* de uma tela da aplicação, onde pode-se observar alguns dos componentes utilizados.

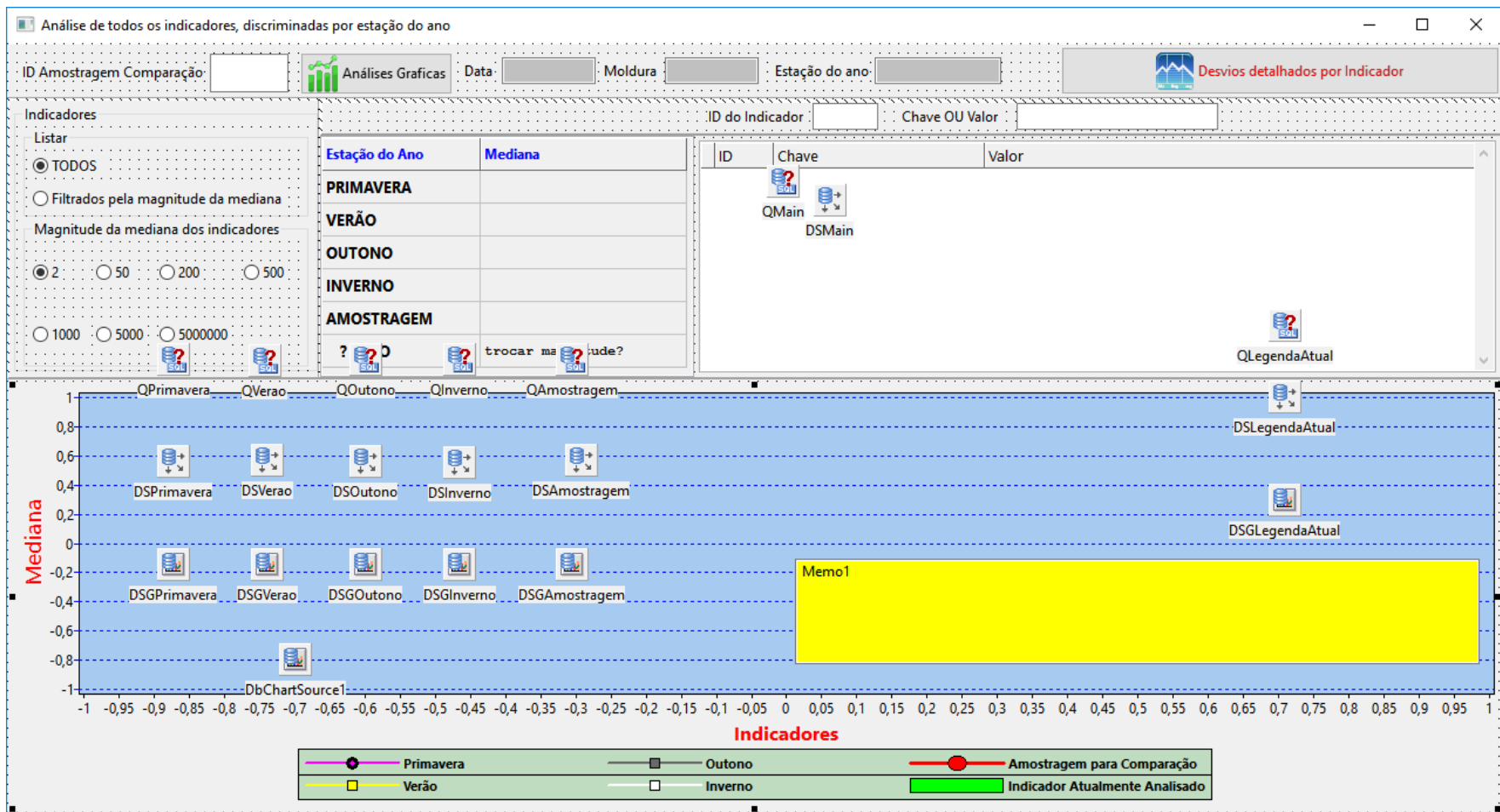


Figura 5.3: Design da tela de análise gráfica para conferência e detecção de anomalias nas amostras.

Capítulo 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente discutir-se-ão os resultados da segmentação de imagens de folhas e colmos de pastagens através de filtros no domínio da frequência. Logo após serão discutidos os resultados relevantes do software *MSForragem*.

Os resultados da discriminação de alvos amostrais podem ser observados na figura 6.1. A técnica utilizada é conhecida por segmentação por limiarização. Mudou-se do domínio de cores para efetuar a segmentação conforme anteriormente ilustrado na figura 3.1. Realizou-se a discriminação do solo, do material morto, do material verde e da moldura metálica utilizada nas amostragens. Obteve-se correta separação da forragem com um fundo da cor magenta.

Para efetuar a segmentação das folhas e dos colmos da figura 3.4, trabalhou-se em identificar os padrões de frequência das folhas e dos colmos. Observou-se, primeiramente, a transformada de Fourier de três imagens contendo apenas um exemplar de colmo verde, folha verde, folha seca, e uma quarta imagem contendo um colmo verde e uma folha verde, representadas nas figuras 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 respectivamente, todas previamente separadas do fundo.

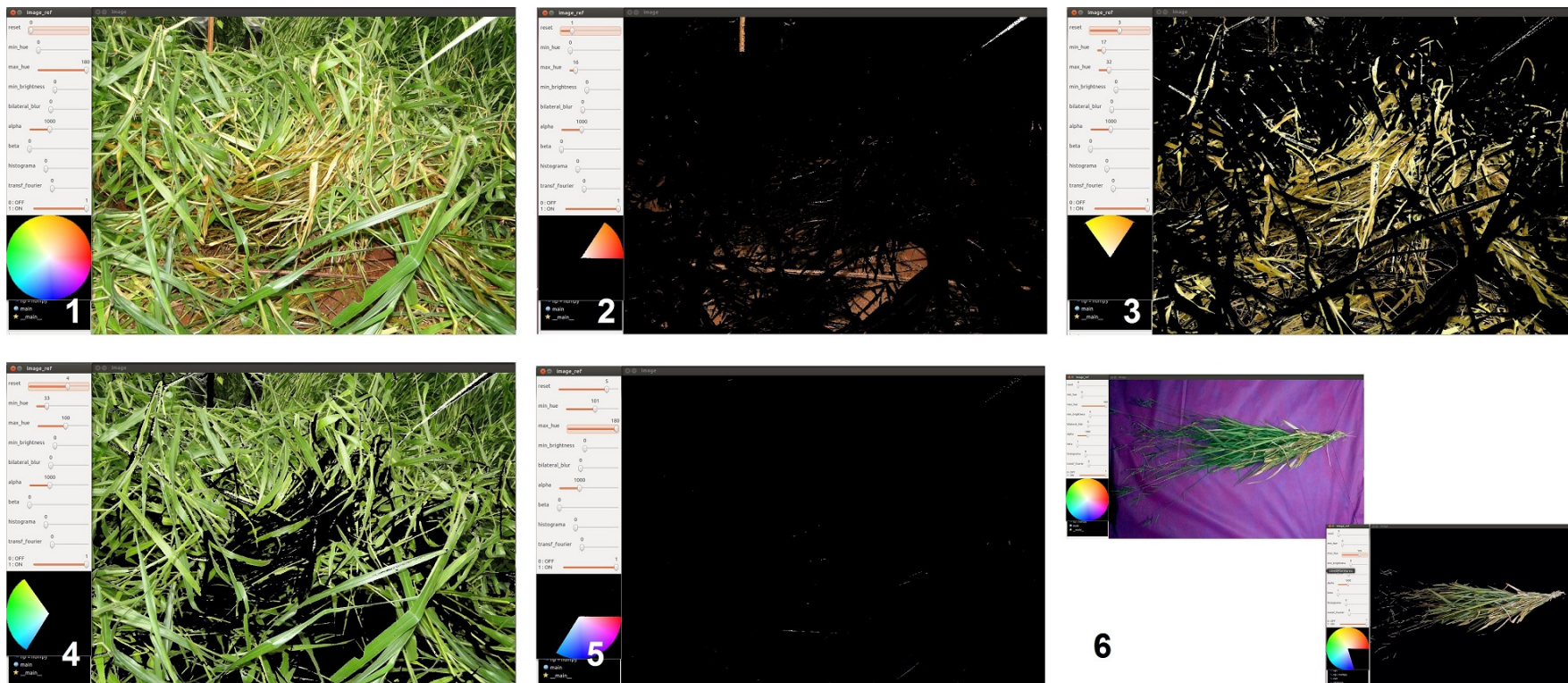


Figura 6.1: Segmentação por limiarização para discriminação do solo, material morto, material verde: 1) Imagem original da forragem; 2) Discriminação do solo descoberto, da moldura metálica e da régua de madeira; 3) Discriminação do material morto; 4) Discriminação da forragem verde; 5) Pouca informação nas faixas espectrais do azul ao magenta; 6) Correta separação de fundo da cor magenta.

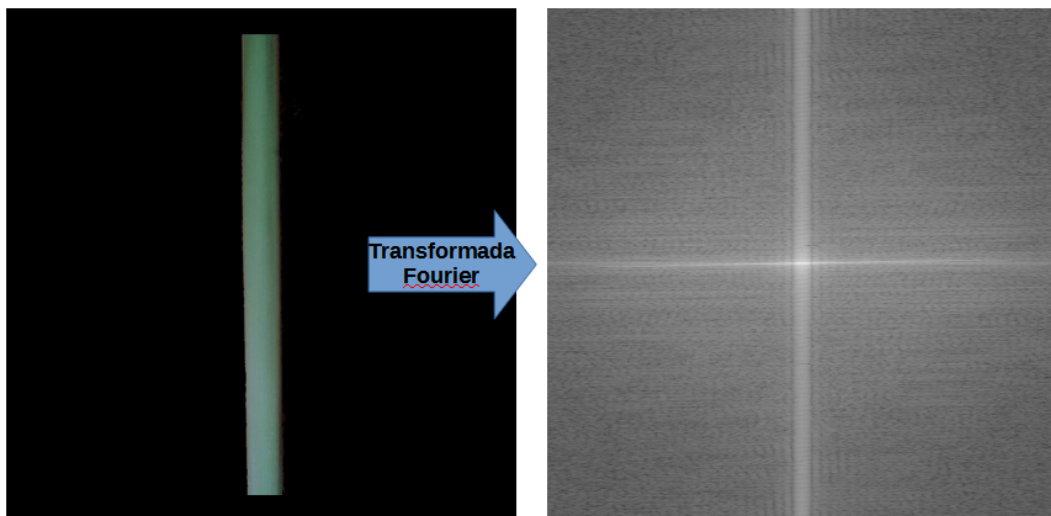


Figura 6.2: Transformada de Fourier da imagem de um colmo.

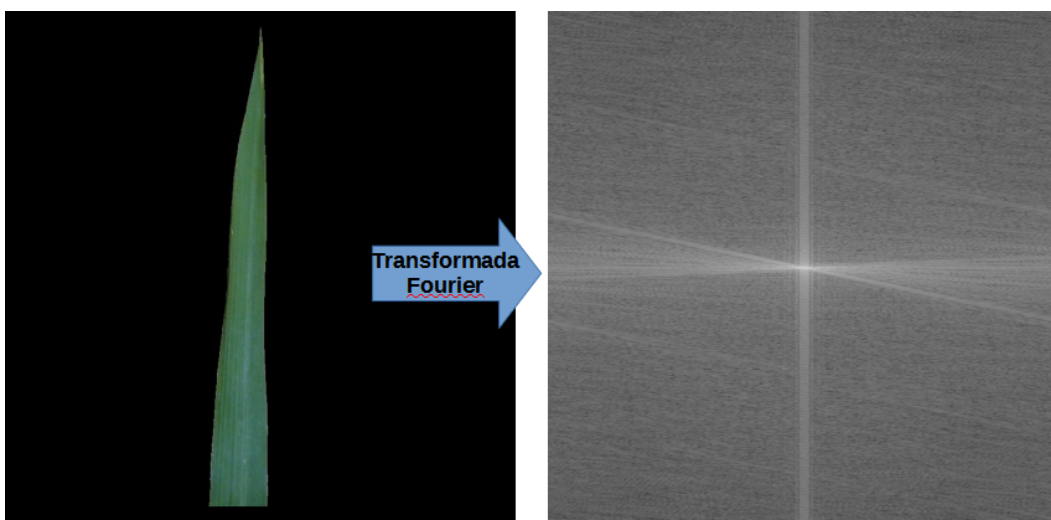


Figura 6.3: Transformada de Fourier da imagem de uma folha verde.

Efetuuou-se primeiramente uma análise visual destas quatro transformadas, seguindo as orientações de como interpretá-las, descritas na seção 3.5. Quanto mais esbranquiçadas as regiões dessas imagens, maior a densidade espectral nelas contidas. Nota-se em todas uma marcante faixa vertical que circunda o eixo das ordenadas, que significa que as imagens originais possuem várias linhas horizontais de baixa frequência. Em contrapartida, na figura 6.2 (colmo) observam-se padrões verticais e horizontais de baixa e média frequência.

As transformadas da folha verde (figura 6.3) e da folha seca (figura 6.4) são visualmente parecidas. Na folha seca tem-se maiores padrões de alta frequência em

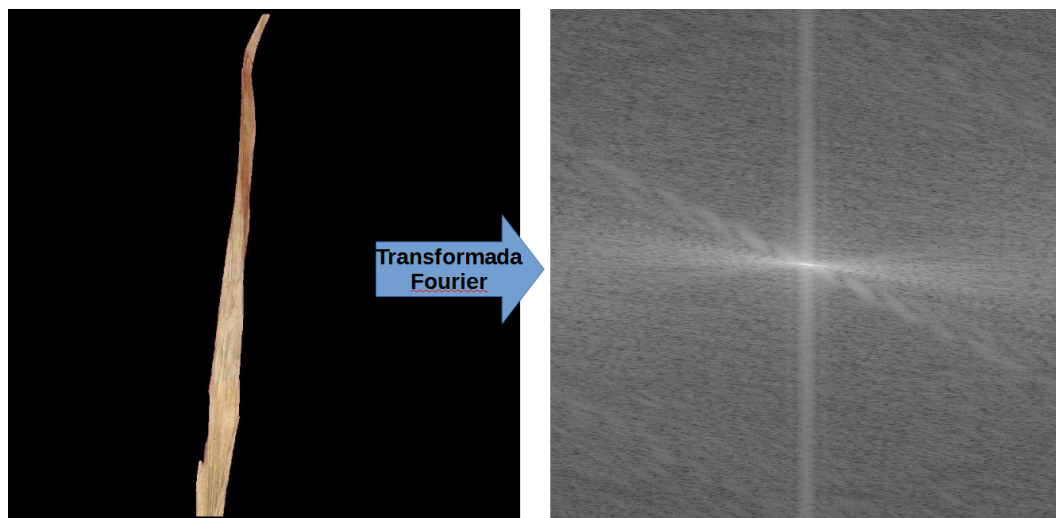


Figura 6.4: Transformada de Fourier da imagem de uma folha seca.

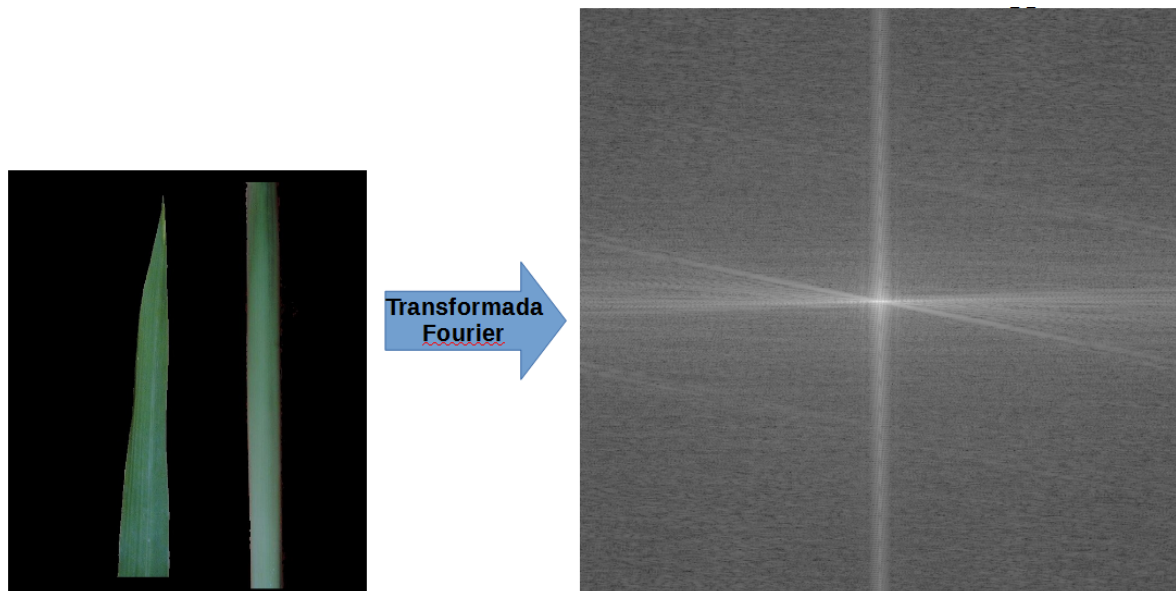


Figura 6.5: Transformada de Fourier da imagem contendo uma folha verde e um colmo verde.

relação à folha verde. Em ambas, alguns padrões inclinados próximos ao eixo das abcissas, ou seja, maior contribuição vertical do que horizontal.

Na transformada da imagem que contém uma folha verde e um colmo verde (figura 6.5) observam-se tanto características do colmo quanto da folha. O que ocorre neste caso é a soma das frequências presentes nas duas outras imagens originais.

A análise visual não foi suficiente para determinar os padrões de frequência da folha e do colmo. Efetuaram-se, portanto, plotagens bidimensionais para analisar as densidades espectrais das frações de pastagem, figura 6.6, a primeira sem rotação,

que representa o perfil vertical, e a segunda rotacionada de 90^0 representando o perfil horizontal. O resumo desta plotagem encontra-se na figura 6.7. Nestas plotagens, no eixo das abcissas listam-se as frequências e no eixo das ordenadas a densidade espectral. As frequências são mínimas no centro e aumentam tanto para a esquerda quanto para a direita.

Por fim, foram feitas plotagens de superfície para analisar as imagens transformadas (figura 6.8). Com as plotagens de superfície foi possível analisar as imagens bidimensionais e visualizá-las tridimensionalmente, como função de duas variáveis. Para gerar a plotagem foi usado o *plugin* ‘Interactive 3D Surface Plot’ do imageJ, com a opção de visualização ‘Spectrum Lut’. Nesta construção, maiores valores de um ponto no eixo z representam maiores densidades espectrais naquele ponto. Outra maneira utilizada para verificar a densidade espectral foi a observação das cores do gráfico, que crescem do verde, passando pelos tons de azul, do mais claro para o mais escuro, até chegar ao vermelho.

Os resultados relacionados à segmentação de imagens de folhas e colmos, obtidos neste estudo, são preliminares. Nos padrões horizontais da figura 6.7, nota-se que as densidades espectrais do colmo verde e da folha verde claramente se diferenciam, principalmente nas médias frequências. Esse fato também pode ser observado nas plotagens de superfície. Todavia, os padrões verticais desta figura diferem muito pouco, de forma que a segmentação das imagens de folhas e colmos não foi completa.

Tavares et al. [28], analisando fotografias de um dossel florestal na Amazônia Central, afirmam que a separação completa da vegetação viva das senescentes ou mortas, e a discriminação das folhas verde-claras das demais folhas vivas, embora não possível apenas por meio de análises no espectro visível, é factível analisando outras faixas espectrais. Acredita-se, portanto, baseado neste estudo e em Tavares et al. que noutras faixas espectrais contenha conteúdo de frequência suficiente para estimar a massa seca de forragem.

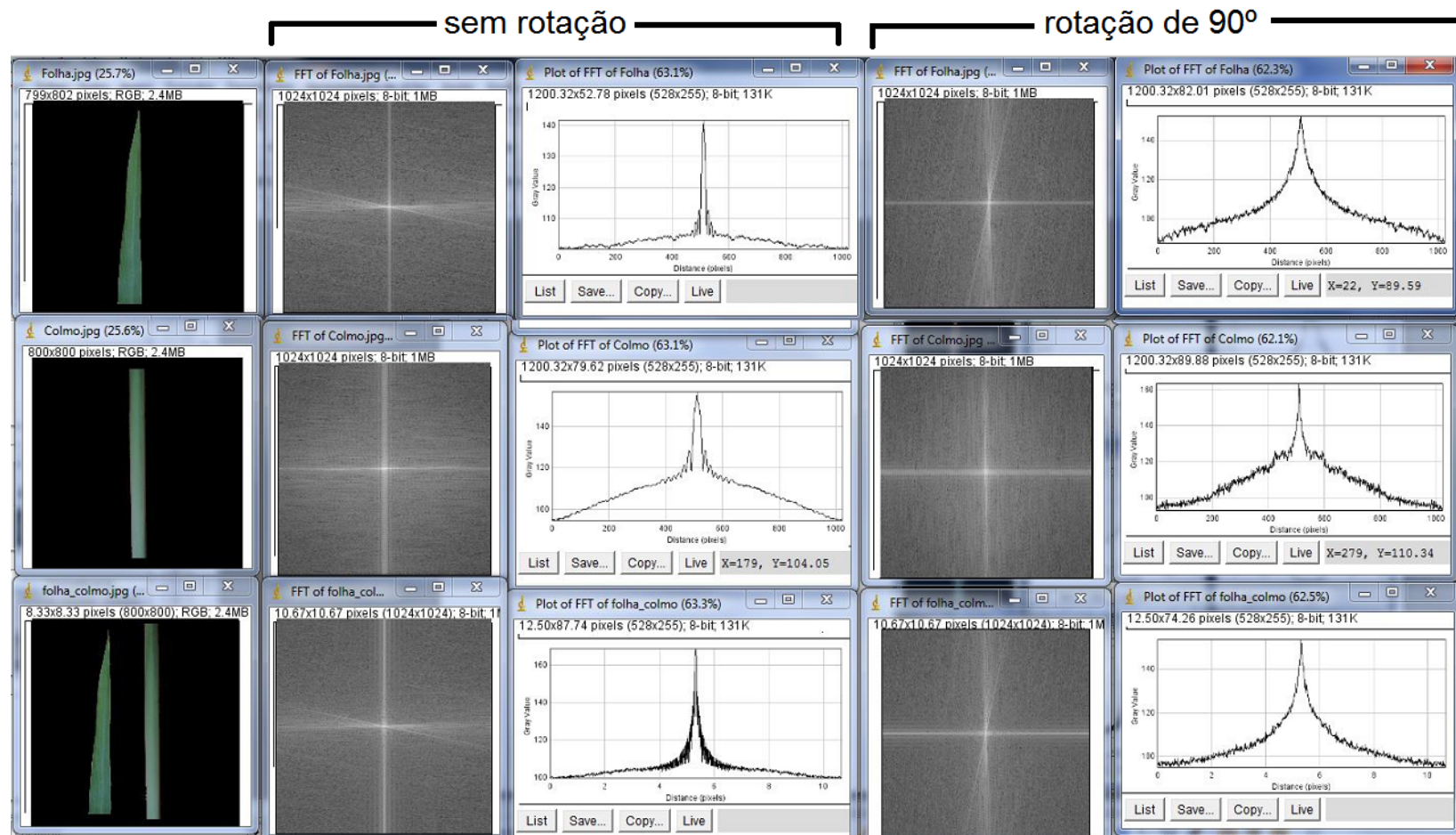
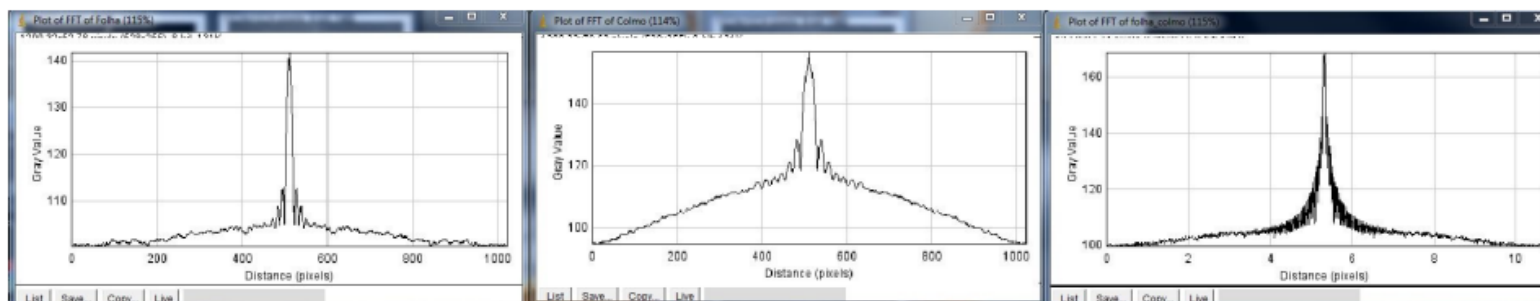
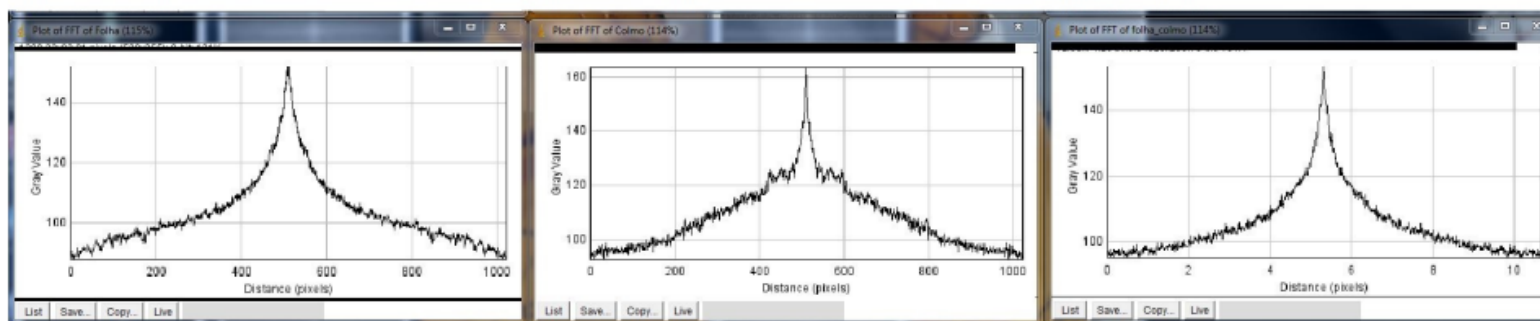


Figura 6.6: Plotagem bidimensional da transformada de Fourier das imagens de 1) uma folha verde, 2) um colmo verde e 3) uma folha e um colmo verdes (sem rotação e rotacionadas em 90°).

H
o
r
i
z
o
n
t
a
i
sV
e
r
t
i
c
a
i
s

1) Folha Verde

2) Colmo Verde

3) Folha e Colmo Verdes

Figura 6.7: Resmo da plotagem bidimensional da transformada de Fourier (figura 6.6).

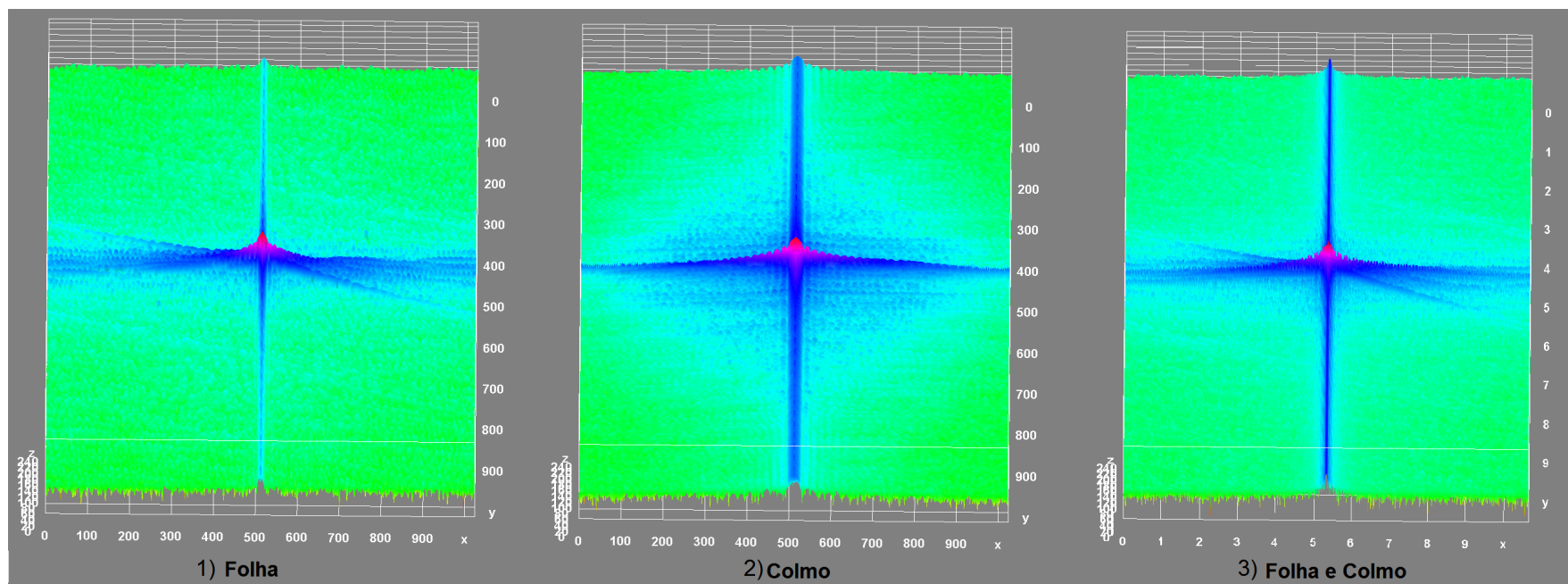


Figura 6.8: Plotagem de superfície da transformada de Fourier das imagens de: 1) uma folha verde, 2) um colmo verde e 3) uma folha e um colmo verdes.

Discutir-se-ão agora os resultados relevantes do software *MSForragem*.

Quando do processo de carga de dados históricos, observou-se que em algumas planilhas existiam alguns cálculos para conferência das informações. Importaram-se os valores dessas conferências e compararam-se com as informações geradas no banco de dados. Efetuados os cálculos dos erros associados a essas comparações conclui-se que as informações geradas eram consistentes e que algumas diferenças decorriam do processo de copiar e colar células nas planilhas.

Em função do grande número de indicadores disponibilizados no software criou-se uma tela de busca (figura 6.9), que provê ao usuário opções de filtros pelas siglas dos indicadores (chaves), por suas descrições (valores), e também pelos grupos aos quais estes indicadores pertencem. Na maioria das telas do sistema apenas as siglas dos indicadores são informadas, de forma que esta tela pode ser utilizada como auxiliar pelo usuário iniciante no sistema para consulta do significado das siglas e familiarização com elas. O acesso a esta tela fora disponibilizado em várias outras do sistema.

O software permite o cadastro de novas avaliações, bem como a entrada e a edição dos dados destas avaliações. A figura 6.11 mostra a tela de edição das avaliações, exemplificando a amostragem de nº 17. Nela listam-se dados ordenados por piquete, ponto amostral e rótulo, os quais podem ser preenchidos diretamente no *grid*, sem a necessidade de acessar outra tela, o que gera economia de tempo no cadastro. Ao usuário oportunizou a filtragem por um piquete específico. Para facilitar o cadastro e/ou conferência dos dados, o software oferece ao usuário a possibilidade de escolher quais colunas serão mostradas: lâmina, morto, inflorescência, liteira, colmo, invasora e/ou sorgo. Este recurso é mostrado na imagem superior da figura 6.10. Sempre que o usuário acessa esta tela selecionam-se automaticamente as colunas que possuem ao menos um valor preenchido (considerando massa verde e massa seca).

Partindo da premissa que os dados relacionados à massa total, à massa verde e à massa seca ficam disponíveis ao pesquisador em momentos diferentes, o software dá a opção do usuário escolher editar apenas os campos relacionados a alguns deles. A imagem inferior da figura 6.10 exemplifica a listagem apenas dos campos relacionados à massa seca.

Criou-se um assistente para geração automática de novas amostras de uma amostragem. Nela escolhem-se os piquetes, pontos amostrais e rótulos a gerar. Por padrão o sistema apresenta marcados os piquetes de números 1 até 12 e somente os pontos A, B, C, D e E. A geração ocorre pela combinação dos piquetes, pontos e rótulos marcados. Na opção padrão inserem-se na tabela *Avalicao_Ponto_Amostragem* 60 novos registros (amostras). A utilização do assistente é possível mesmo quando uma amostragem já possui amostras e neste caso duplicatas são automaticamente



ID	Grupo	Chave	Valor
1	1	Massa_Verde_Total	Massa verde total da amostra (g)
2	1	Massa_Verde_Total_Kg_ha	Massa verde total (kg/ha)
3	1	Massa_Verde_Subamostra	Massa verde total da subamostra (g)
4	2	Lamina_Verde	Lâmina verde (g)
5	2	Colmo_Verde	Colmo verde (g)
6	2	Morto_verde	Morto verde (g)
7	2	Inflores_Verde	Inflorescência verde (g)
8	2	Sorgo_Verde	Sorgo verde (g)
9	2	Liteira_Verde	Liteira verde (g)
10	2	Invasora_Verde	Invasora verde (g)
11	2	Total_Verde	Total das parcelas verdes (g)
12	3	Lâmina	Lâmina seca (g)
13	3	Colmo	Colmo seco (g)
14	3	Morto	Morto seco(g)
15	3	Inflores	Inflorescência seca(g)
16	3	Sorgo	Sorgo seco(g)
17	3	Liteira	Liteira seca(g)
18	3	Invasora	Invasora seca (g)
19	3	Total_Seca	Total da parcelas secas (g)
20	4	teor_ms_total	Teor de Matéria Seca Total (%)
21	4	F:C	Relação folha:colmo (g/m2)
22	4	V:Mpi	Relação verde:morto do piatã (g/m2)
23	4	Massa_Seca_kg_ha	Matéria Seca Total (kg/ha)
24	5	MSF%mt	Porcentagem de matéria seca da folha na subamostra seca total
25	5	MSc%mt	Porcentagem de matéria seca do colmo na subamostra seca total
26	5	MSm%mt	Porcentagem de matéria seca do material morto na subamostra seca total
27	5	MSi%mt	Porcentagem de matéria seca da inflorescência na subamostra seca total
28	5	MSl%mt	Porcentagem de matéria seca da liteira na subamostra seca total
29	5	MSb%mt	Porcentagem de matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total
30	6	PMSVpi	Peso da matéria seca verde do piatã (g MS/m2)
31	6	PMSf	Peso da matéria seca da folha na subamostra seca total (kg MS/ha)
32	6	PMSc	Peso da matéria seca do colmo na subamostra seca total (kg MS/ha)
33	6	PMSm	Peso da matéria seca do material morto na subamostra seca total (kg MS/ha)
34	6	PMSi	Peso da matéria seca da inflorescência na subamostra seca total (kg MS/ha)
35	6	PMSl	Peso da matéria seca da liteira na subamostra seca total (kg MS/ha)
36	6	PMSb	Peso da matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total (kg MS/ha)
37	6	PMSt	Peso da matéria seca total na subamostra seca total (kg MS/ha)
38	6	PMVt	Peso da matéria verde total na subamostra (kg MS/ha)
39	7	MSF%p	Porcentagem de matéria seca da folha na amostra de piatã (sem invasora)
40	7	MSc%p	Porcentagem de matéria seca do colmo na amostra de piatã (sem invasora)
41	7	MSm%p	Porcentagem de matéria seca do material morto na amostra de piatã (sem invasora)
42	7	MSm%i	Porcentagem de matéria seca do material morto na amostra de piatã (sem invasora)
43	8	conf1_1	Conferência: "PMSf" + "PMSc" + "PMSm" + "PMSb"
44	8	conf1_2	Conferência: "PMSt"
45	8	conf1	Conferência: ("PMSf" + "PMSc" + "PMSm" + "PMSb") / "PMSt"
46	8	conf2_1	Conferência: "MSF%mt" + "MSc%mt" + "MSm%mt"
47	8	conf2_2	Conferência: "PMSb" / "PMSt"
48	8	conf2	Conferência: ("MSF%mt" + "MSc%mt" + "MSm%mt") + ("PMSb" / "PMSt")

Figura 6.9: *MSForragem*: tela de busca por indicadores (ou *legenda*).

desconsideradas.

O software possui um assistente para exclusão múltipla de amostras de uma amostragem. De forma análoga ao assistente descrito no parágrafo anterior, o usuário escolhe os piquetes, pontos amostrais e rótulos a excluir. É possível excluir uma amostra única ou até todas amostras, respeitando as combinações escolhidas.

Disponibilizaram-se para as avaliações de altura/cobertura de solo, dois outros assistentes semelhantes aos descritos nos dois parágrafos anteriores.

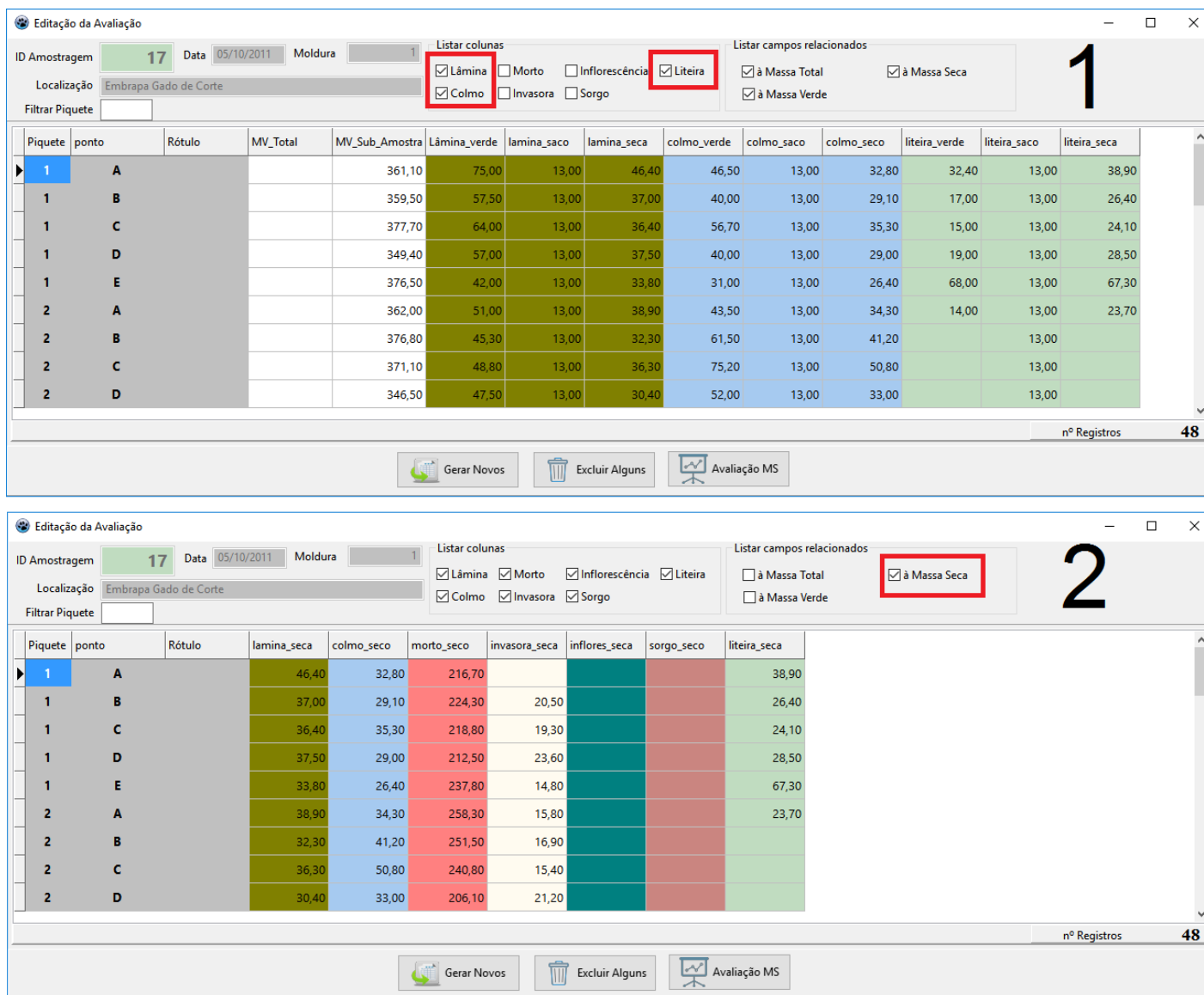


Figura 6.10: *MSForragem*: Tela para edição dos dados das avaliações de uma amostragem - recursos adicionais.

Edição da Avaliação

ID Amostragem: 17 Data: 05/10/2011 Moldura: 1

Localização: Embrapa Gado de Corte

Filtrar Piquete:

Listar colunas:

☒ Lâmina ☒ Morto ☐ Inflorescência ☒ Liteira

☒ Colmo ☒ Invasora ☐ Sorgo

Listar campos relacionados:

☒ à Massa Total ☒ à Massa Seca

☒ à Massa Verde

Piquete	ponto	Rótulo	MV_Total	MV_Sub_Amostra	Lâmina_verde	lamina_saco	lamina_seca	colmo_verde	colmo_saco	colmo_seco	morto_verde	morto_saco	morto_seco	invasora_verde	invasora_saco	invasora_seca	liteira_verde	liteira_saco	liteira_seca
1	A		361,10		75,00	13,00	46,40	46,50	13,00	32,80	207,20	48,00	216,70		13,00		32,40	13,00	38,90
1	B		359,50		57,50	13,00	37,00	40,00	13,00	29,10	226,00	48,00	224,30	19,00	13,00	20,50	17,00	13,00	26,40
1	C		377,70		64,00	13,00	36,40	56,70	13,00	35,30	223,50	48,00	218,80	18,50	13,00	19,30	15,00	13,00	24,10
1	D		349,40		57,00	13,00	37,50	40,00	13,00	29,00	207,40	48,00	212,50	26,00	13,00	23,60	19,00	13,00	28,50
1	E		376,50		42,00	13,00	33,80	31,00	13,00	26,40	232,50	48,00	237,80	3,00	13,00	14,80	68,00	13,00	67,30
2	A		362,00		51,00	13,00	38,90	43,50	13,00	34,30	247,00	48,00	258,30	6,50	13,00	15,80	14,00	13,00	23,70
2	B		376,80		45,30	13,00	32,30	61,50	13,00	41,20	261,00	48,00	251,50	9,00	13,00	16,90		13,00	
2	C		371,10		48,80	13,00	36,30	75,20	13,00	50,80	241,60	48,00	240,80	5,50	13,00	15,40		13,00	
2	D		346,50		47,50	13,00	30,40	52,00	13,00	33,00	226,00	48,00	206,10	21,00	13,00	21,20		13,00	
2	E		410,50		72,00	13,00	42,70	57,00	13,00	36,40	237,50	48,00	261,60	19,60	13,00	21,80	24,40	13,00	31,60
3	A		356,50		104,50	13,00	58,10	27,20	13,00	24,50	163,50	48,00	201,10	8,50	13,00	16,00	52,80	13,00	56,00
3	B		365,70		86,60	13,00	48,20	34,80	13,00	25,80	194,50	48,00	225,10	20,00	13,00	21,00	29,80	13,00	37,10
3	C		281,30		66,00	13,00	48,10	24,00	13,00	24,60	155,00	48,00	195,00	4,80	13,00	14,30	31,50	13,00	38,20
3	D		273,10		62,50	13,00	40,50	19,00	13,00	20,30	122,80	48,00	160,00	18,80	13,00	20,20	50,00	13,00	52,40
3	E		280,60		50,00	13,00	40,40	19,00	13,00	21,30	135,40	48,00	153,60	11,50	13,00	18,60	64,70	13,00	64,60
4	A		386,40		49,00	13,00	36,40	21,20	13,00	23,00	292,00	48,00	285,30	6,00	13,00	15,90	18,20	13,00	27,50
4	B		407,20		82,20	13,00	42,90	41,00	13,00	31,00	274,00	48,00	264,30		13,00		10,00	13,00	20,30
4	C		412,20		58,20	13,00	36,10	53,00	13,00	35,80	301,00	48,00	281,00		13,00			13,00	
4	D		413,00		53,50	13,00	33,40	44,00	13,00	30,40	300,00	48,00	273,60	7,50	13,00	15,80	8,00	13,00	18,80
4	E		407,20		42,00	13,00	30,40	55,00	13,00	39,30	300,00	48,00	281,50		13,00		10,20	13,00	20,60
5	A		368,60		29,00	13,00	27,60	19,00	13,00	21,20	264,10	48,00	252,20	46,50	13,00	33,20	10,00	13,00	20,30
5	B		372,90		37,90	13,00	33,10	35,00	13,00	29,10	269,00	48,00	257,70	31,00	13,00	29,60		13,00	
5	C		394,90		38,50	13,00	29,10	67,40	13,00	42,90	196,00	48,00	201,40	93,00	13,00	56,30		13,00	
5	D		359,30		45,00	13,00	37,10	37,10	13,00	29,60	211,00	48,00	217,10	66,20	13,00	51,60		13,00	
5	E		368,80		46,00	13,00	34,70	72,30	13,00	43,30	183,50	48,00	188,80	55,00	13,00	38,80	12,00	13,00	22,20
6	A		373,80		73,20	13,00	43,00	47,30	13,00	32,20	214,40	48,00	238,80	14,40	13,00	18,50	24,50	13,00	32,30
6	B		369,00		54,50	13,00	34,40	37,50	13,00	27,30	236,70	48,00	245,20	36,30	13,00	26,40	4,00	13,00	16,00

nº Registros: 48

Gerar Novos Excluir Alguns Avaliação MS

Figura 6.11: MSForragem: Tela para edição dos dados das avaliações de uma amostragem.

Disserta-se agora sobre um dos recursos mais importantes do *MSForragem*, a tela de avaliações de uma amostragem (figura 6.12). Nela disponibilizam-se, as avaliações das disponibilidades de massa seca de forragem e dos demais indicadores, discriminadas por frações (lâmina, colmo, morto, inflorescência e liteira).

Elaboraram-se quatro recursos úteis nessa tela de avaliações. O primeiro deles provê ao usuário a possibilidade de mostrar ou ocultar os campos relacionados ao bloco e aos 8 grupos de indicadores. Apenas os campos pertencentes aos grupos dos marcados serão mostrados no *grid*. Este recurso é importante, pois permite que o usuário do software visualize apenas os campos de seu interesse, evita rolagens horizontais para acessar esses campos e facilita as conferências. Assim que o usuário acessa a tela, o sistema apresenta marcados apenas os campos que tenham relação com a amostragem de interesse.

O segundo recurso dessa tela, embora simples, é bastante útil: a opção de marcar todos ou nenhum dos campos descritos anteriormente. O terceiro possibilita a ordenação das informações por diferentes campos (Piquete, Ponto, Massa_Verde_Total_kg_ha, Teor_MS_total, Massa_Seca_kg_ha, F:C, PMVt, Conf1, Conf2). Além da ordenação ocorre o posicionamento na coluna referente ao campo de ordenação. Uma forma eficiente de efetuar conferências de campos específicos, e evitar rolagens horizontais, é a marcação de “*nenhum*” no segundo recurso e a escolha do campo de ordenação (ou um de mesmo grupo). Dessa forma apenas os campos relacionados ao grupo selecionado serão mostrados. Por fim, ao usuário do software deu-se a opção de filtrar por piquetes e/ou pontos amostrais específicos.

Avaliação da amostragem

ID: 22 Data: 20/10/2011 Moldura: 1

Localização: Embrapa Gado de Corte

Piquete: Ponto:

Mostrar campos dos grupos:

☐ 0 - Bloco ☒ 1 - Verde Tot ☐ 2 - Parcelas Verdes
☐ 3 - Parcelas Secas ☒ 4 - Teor MS ☐ 5 - MS
☒ 6 - PMS e PMV ☒ 7 - MS% ☒ 8 - Conferência

Ordenação:

☒ Piquete ☐ F:C (4)
☐ Ponto ☐ PMVt (6)
☐ Massa_Verde_Total_kg_ha (1) ☐ Conf1 (8)
☐ Teor_MS_total (4) ☐ Conf2 (8)
☐ Massa_Seca_kg_ha (4)

Legenda

Análises Gráficas

Exportar DBF

Piquete	Ponto	Rótulo	(1) Massa_Verde_Total	Massa_Verde_Total_kg_ha	Massa_Verde_Subamostra	(4) Teor_MS_Total	F:C	V:Mpi	Massa_Seca_kg_ha	(6) PMSVpi	PMSf	PMSc	PMSm	PMSi	PMSb	PMSt	PMVt	(7) MSF%p	MSc%p	MSm%p
1	A	PRIMAVERA	392,05	3920,50	328,70	0,6751	1,69	0,32	2646,67	53,20	398,32	236,08	2012,26			2646,67	3920,50	0,1505	0,0892	0,7603
1	B	PRIMAVERA	450,25	4502,50	335,00	0,6460	1,49	0,23	2908,48	40,10	322,55	216,39	2369,54			2908,48	4502,50	0,1109	0,0744	0,8147
1	C	PRIMAVERA	386,80	3868,00	356,40	0,6075	1,05	0,27	2349,67	45,70	254,00	242,02	1853,65			2349,67	3868,00	0,1081	0,1030	0,7889
2	A	PRIMAVERA	500,85	5008,50	345,20	0,7459	1,22	0,22	3736,06	47,20	375,85	308,97	3051,24			3736,06	5008,50	0,1006	0,0827	0,8167
2	B	PRIMAVERA	631,75	6317,50	372,90	0,6731	0,68	0,23	4252,33	47,50	327,00	477,96	3447,79			4252,75	6317,50	0,0769	0,1124	0,8107
2	C	PRIMAVERA	662,90	6629,00	368,70	0,6886	0,62	0,32	4564,97	61,10	419,06	679,72	3466,64			4565,42	6629,00	0,0918	0,1489	0,7593
3	A	PRIMAVERA	208,70	2087,00	300,70	0,6974	3,92	0,37	1455,42	56,60	313,06	79,76	1062,60			1455,42	2087,00	0,2151	0,0548	0,7301
3	B	PRIMAVERA	271,25	2712,50	327,90	0,6865	2,75	0,27	1862,10	48,00	291,23	105,95	1465,10			1862,29	2712,50	0,1564	0,0569	0,7867
3	C	PRIMAVERA	142,55	1425,50	248,50	0,7795	3,03	0,32	1111,14	46,70	201,34	66,56	843,25			1111,14	1425,50	0,1812	0,0599	0,7589
4	A	PRIMAVERA	285,60	2856,00	365,30	0,7410	2,34	0,14	2116,40	33,40	182,86	78,10	1855,23			2116,18	2856,00	0,0864	0,0369	0,8767
4	B	PRIMAVERA	396,90	3969,00	397,20	0,6652	1,66	0,22	2640,00	47,90	298,85	179,78	2161,37			2640,00	3969,00	0,1132	0,0681	0,8187
4	C	PRIMAVERA	497,50	4975,00	412,20	0,6766	1,01	0,20	3366,15	45,90	278,72	275,01	2812,08			3365,81	4975,00	0,0828	0,0817	0,8355
5	A	PRIMAVERA	467,65	4676,50	338,40	0,6708	1,78	0,11	3137,01	22,80	201,71	113,25	2822,06			3137,01	4676,50	0,0643	0,0361	0,8996
5	B	PRIMAVERA	638,70	6387,00	356,30	0,6901	1,25	0,17	4407,98	36,20	360,13	288,72	3759,13			4407,98	6387,00	0,0817	0,0655	0,8528
5	C	PRIMAVERA	903,30	9033,00	351,60	0,5671	0,54	0,30	5122,81	46,00	413,41	767,91	3940,98			5122,30	9033,00	0,0807	0,1499	0,7694
6	A	PRIMAVERA	556,10	5561,00	343,80	0,6981	1,56	0,26	3882,02	49,20	485,25	310,56	3086,21			3882,02	5561,00	0,1250	0,0800	0,7950
6	B	PRIMAVERA	635,90	6359,00	351,60	0,6624	1,50	0,18	4212,20	35,70	387,10	258,63	3566,47			4212,20	6359,00	0,0919	0,0614	0,8467
6	C	PRIMAVERA	847,80	8478,00	343,60	0,6959	0,83	0,23	5899,56	45,10	503,23	609,42	4786,91			5899,56	8478,00	0,0853	0,1033	0,8114
7	A	PRIMAVERA	628,65	6286,50	477,40	0,6722	0,69	0,35	4225,68	83,40	449,19	649,06	3127,42			4225,68	6286,50	0,1063	0,1536	0,7401
7	B	PRIMAVERA	832,95	8329,50	351,00	0,5969	1,12	0,32	4971,60	51,10	640,84	571,73	3759,02			4971,60	8329,50	0,1289	0,1150	0,7561
7	C	PRIMAVERA	898,05	8980,50	348,00	0,4773	0,80	0,35	4286,38	43,40	498,08	621,95	3166,35			4286,38	8980,50	0,1162	0,1451	0,7387
8	A	PRIMAVERA	374,15	3741,50	338,50	0,5814	2,20	0,37	2175,26	53,50	406,77	184,68	1584,03			2175,48	3741,50	0,1870	0,0849	0,7281
8	B	PRIMAVERA	527,25	5272,50	367,40	0,5754	1,70	0,51	3033,77	71,40	645,89	378,92	2009,26			3034,07	5272,50	0,2129	0,1249	0,6622
8	C	PRIMAVERA	411,85	4118,50	357,80	0,5799	2,15	0,35	2388,45	54,20	425,86	198,00	1764,59			2388,45	4118,50	0,1783	0,0829	0,7388
9	A	PRIMAVERA	1583,20	15832,00	378,90	0,6485	1,35	0,19	10266,36	39,70	952,72	706,33	8607,31			10266,36	15832,00	0,0928	0,0688	0,8384
9	C	PRIMAVERA	1285,95	12859,50	345,90	0,6247	1,39	0,45	8033,93	67,10	1450,13	1044,41	5539,40			8033,93	12859,50	0,1805	0,1300	0,6895
10	A	PRIMAVERA	1043,40	10434,00	389,10	0,5777	1,08	0,45	6028,18	70,00	973,55	903,62	4151,00			6028,18	10434,00	0,1615	0,1499	0,6886
10	C	PRIMAVERA	1060,70	10607,00	356,10	0,6130	1,97	0,29	6502,41	49,00	968,21	491,58	5042,62			6502,41	10607,00	0,1489	0,0756	0,7755
11	A	PRIMAVERA	1230,65	12306,50	476,60	0,6316	1,04	0,30	7772,25	70,10	921,79	888,37	5962,10			7772,25	12306,50	0,1186	0,1143	0,7671
11	C	PRIMAVERA	972,50	9725,00	443,00	0,6871	1,09	0,22	6682,37	54,60	625,47	572,68	5483,55			6681,70	9725,00	0,0936	0,0857	0,8207
12	A	PRIMAVERA	1571,50	15715,00	342,90	0,6690	0,79	0,30	10513,33	52,50	1062,90	1342,55	8106,83			10512,28	15715,00	0,1011	0,1277	0,7712
12	C	PRIMAVERA	1173,95	11739,50	364,80	0,6464	0,84	0,28	7588,20	51,30	752,75	897,68	5937,00			7587,44	11739,50	0,0992	0,1183	0,7825

Figura 6.12: MSForragem: Tela de avaliações das disponibilidades de forragem.

MSForragem dispõe os resultados da detecção de possíveis *outliers* tanto na forma de tabela (grid) quanto através de plotagem gráfica.

Ao usuário do software deu-se a opção de escolher o desvio limite (%) para detecção dos *outliers*) a ser utilizado para fins de comparação.

A visão *V_Outlier_1* encapsula os cálculos da mediana, para todos os indicadores. Na aplicação implementou-se apenas a comparação se os valores das informações dos indicadores em relação aos valores das respectivas medianas correspondentes àqueles indicadores eram superiores ou não ao desvio limite escolhido pelo usuário.

As figuras 6.13 e 6.14 exemplificam a análise do indicador *Matéria Seca Total* ($Kgha^{-1}$).

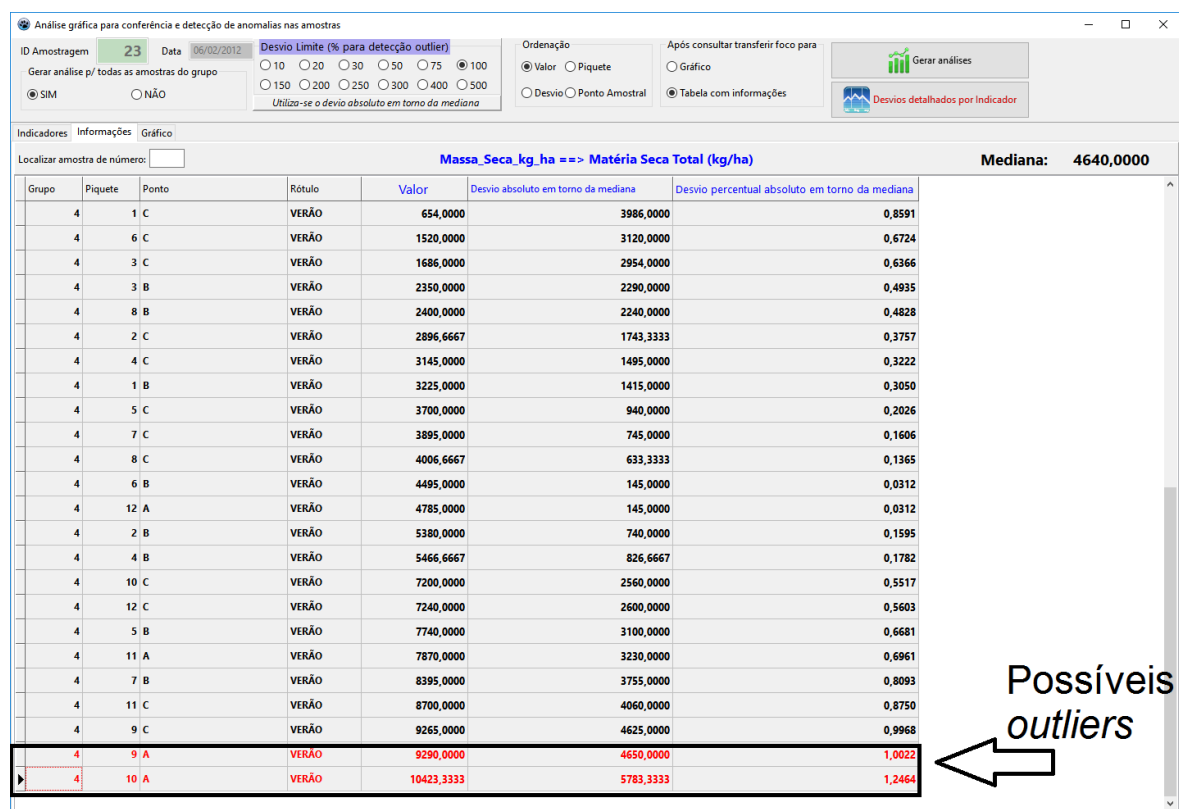


Figura 6.13: *MSForragem*: Análise para conferência e detecção de possíveis anomalias (*outliers*) nas amostras - resultados dispostos no formato de tabela.

A figura 6.13 exemplifica os resultados desta implementação no formato de tabela. Listam-se, para um indicador selecionado, seus valores observados, os desvios absolutos em torno da mediana e o desvio percentual absoluto em torno da mediana, onde as linhas em destaque representam possíveis anomalias nos dados. Nota-se que estas observações são efetuadas *amostra a amostra*, ou seja, consideram-se a combinação dos

atributos: amostragem, piquete, ponto e rótulo.

Na figura 6.14 apresentam-se os resultados graficamente. No eixo das abcissas listam-se as amostras da referida amostragem. Apresentam-se no eixo das ordenadas, para cada amostra, o valor calculado do referido indicador. A reta horizontal em destaque (vermelho) representa a mediana calculada das amostras para o indicador e a amostragem de interesse. A distância vertical entre estes valores e a reta horizontal em destaque (mediana da amostragem) representa o desvio em torno da mediana. Quanto maior for este desvio, mais uma amostra se diferencia da tendência geral daquela amostragem. Desvios absolutos superiores ao desvio limite escolhido pelo usuário são considerados possíveis *outliers* e identificados no gráfico através de barras verticais (em roxo), que ligam o eixo das abcissas à reta horizontal em destaque (vermelho). Caso os desvios percentuais absolutos forem maiores que 250% destacam-se tais barras verticais com a cor vermelha.

Pode-se examinar, ainda na figura 6.14, que são plotadas várias curvas no gráfico. Cada uma delas representa uma amostragem, e todas elas pertencem a um mesmo grupo. Cada grupo pode representar os vários experimentos de um pesquisador ou podem-se agrupar outras amostragens que se desejar comparar.

Disponibilizaram-se ao usuário quatro tipos de ordenação: valor, piquete, ponto amostral e desvio absoluto em relação à mediana. Exemplificam-se essas duas funcionalidades na figura 6.14.

É facultado ao usuário da aplicação gerar as análises para todas as amostragens do grupo ao qual a selecionada pertence ou analisá-la separadamente, como mostrado na figura 6.15.

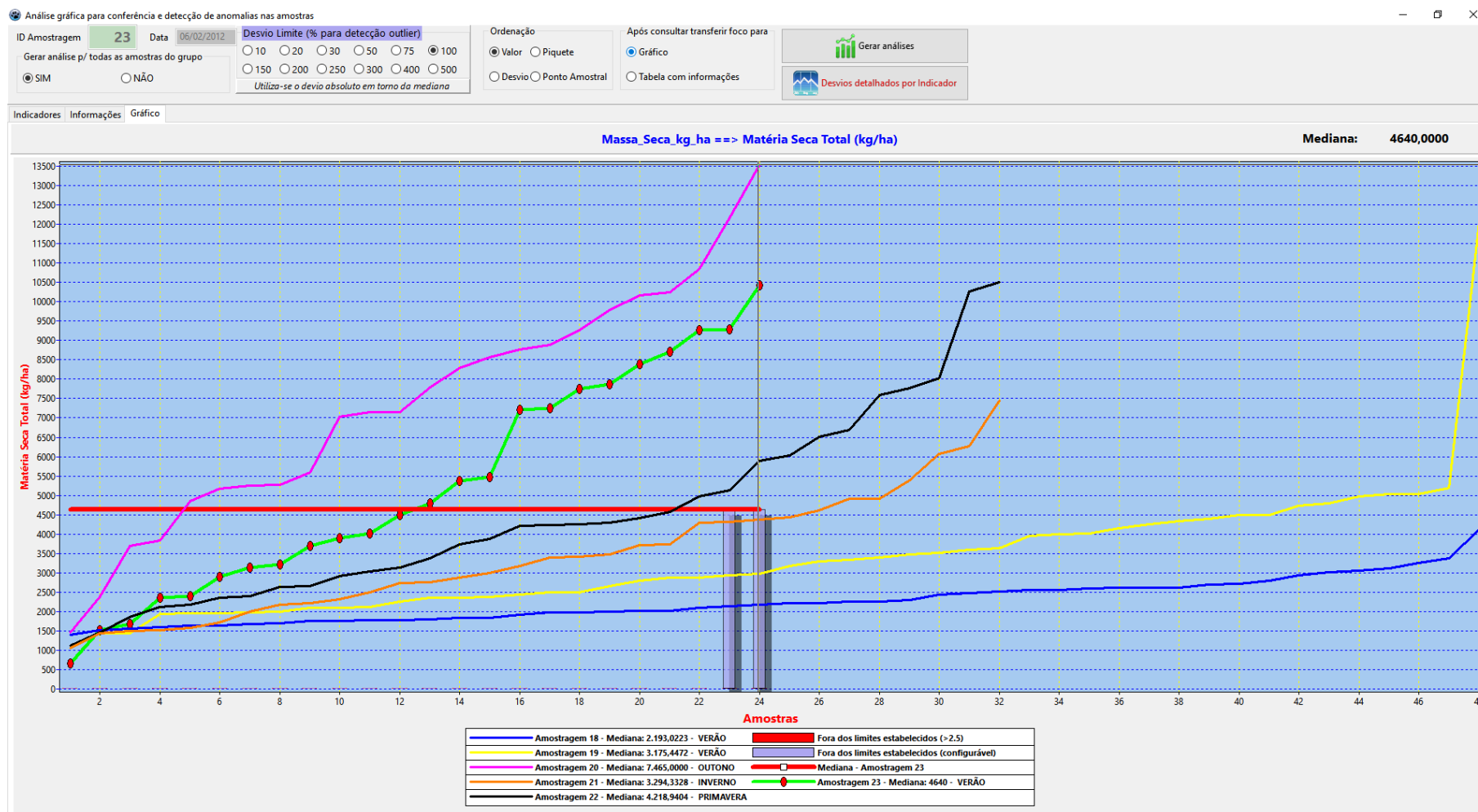


Figura 6.14: *MSForragem*: Análise para conferência e detecção de possíveis anomalias (*outliers*) nas amostras - resultados dispostos no formato de plotagem gráfica.



Figura 6.15: *MSForragem*: Análise para conferência e detecção de possíveis anomalias (*outliers*) nas amostras - sem informações das demais amostragens do grupo.

Desenvolveu-se uma tela que exibe, para todos os indicadores de uma amostragem, os desvios absolutos em torno da mediana, em comparação às medianas das amostras de mesma estação (figura 6.16). Os resultados são apresentados tabular e graficamente. Na forma de tabela listam-se para cada indicador a mediana calculada para ele na referida amostragem, a mediana daquele indicador levando em consideração todas as amostragem de mesma estação do ano, e o desvio percentual absoluto entre os dois anteriores.

Na disposição gráfica da figura 6.16, no eixo das abcissas listam-se os IDs dos indicadores e nos eixos das ordenadas os desvios absolutos percentuais em torno da mediana em comparação com as amostragens de mesma estação do ano.

Na tela representada na figura 6.17 analisam-se de forma gráfica todos os indicadores de uma amostragem, discriminada por estação do ano. O gráfico é composto por cinco séries (linhas), uma para a amostragem de comparação e outras quatro relacionadas a cada estação do ano. No eixo das abcissas listam-se os IDs dos indicadores. Em cada série apresentam-se, no eixo das ordenadas, para cada indicador, a mediana calculada para ele, referida à amostragem de comparação ou à estação do ano.

Dispuseram-se os indicadores na forma de *grid* no canto superior da tela (figura 6.17). Uma barra vertical (em verde) destaca no gráfico o indicador selecionado.

Apresentam-se também, em forma de *grid*, as informações das medianas calculadas para o indicador selecionado, tanto para a amostragem de comparação quanto para as estações do ano. Essas informações e a barra vertical destacada no gráfico são atualizadas quando o usuário navega pelos indicadores.

O usuário do software pode gerar as análises para todos os indicadores ou filtrar apenas aqueles cuja magnitude da mediana calculada para eles seja de uma ordem selecionada. As opções para a ordem da magnitude encontram-se no canto superior esquerdo da figura 6.17. As magnitudes filtradas baseiam-se em intervalos. No referido exemplo, filtram-se magnitudes menores ou iguais a 2; caso o n° escolhido fosse 200, filtrar-se-iam por magnitudes da ordem de 50 (não inclusas) até 200 (inclusas).

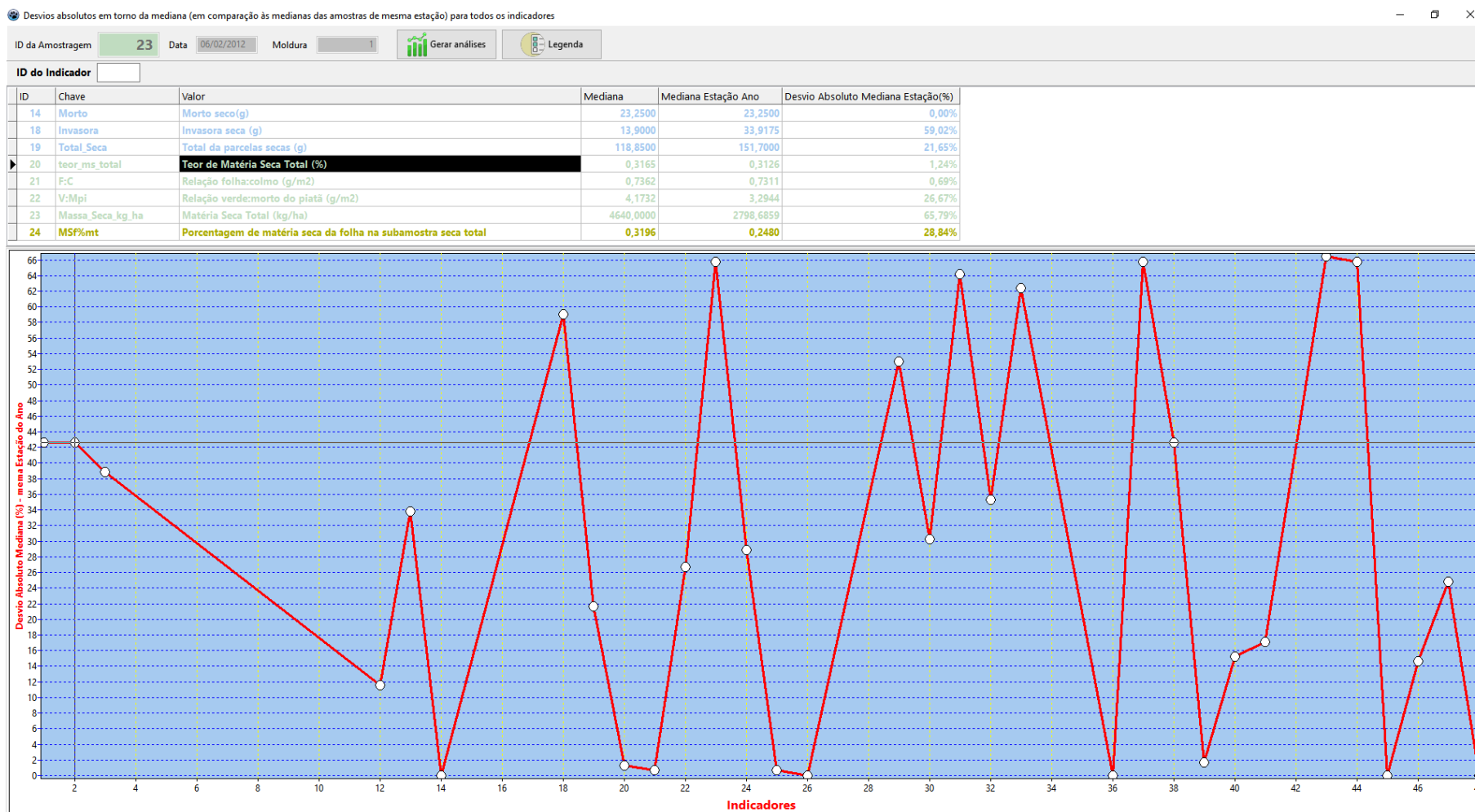


Figura 6.16: *MSForragem*: Desvios absolutos em torno da mediana (em comparação às medianas das amostras de mesma estação) para todos os indicadores.

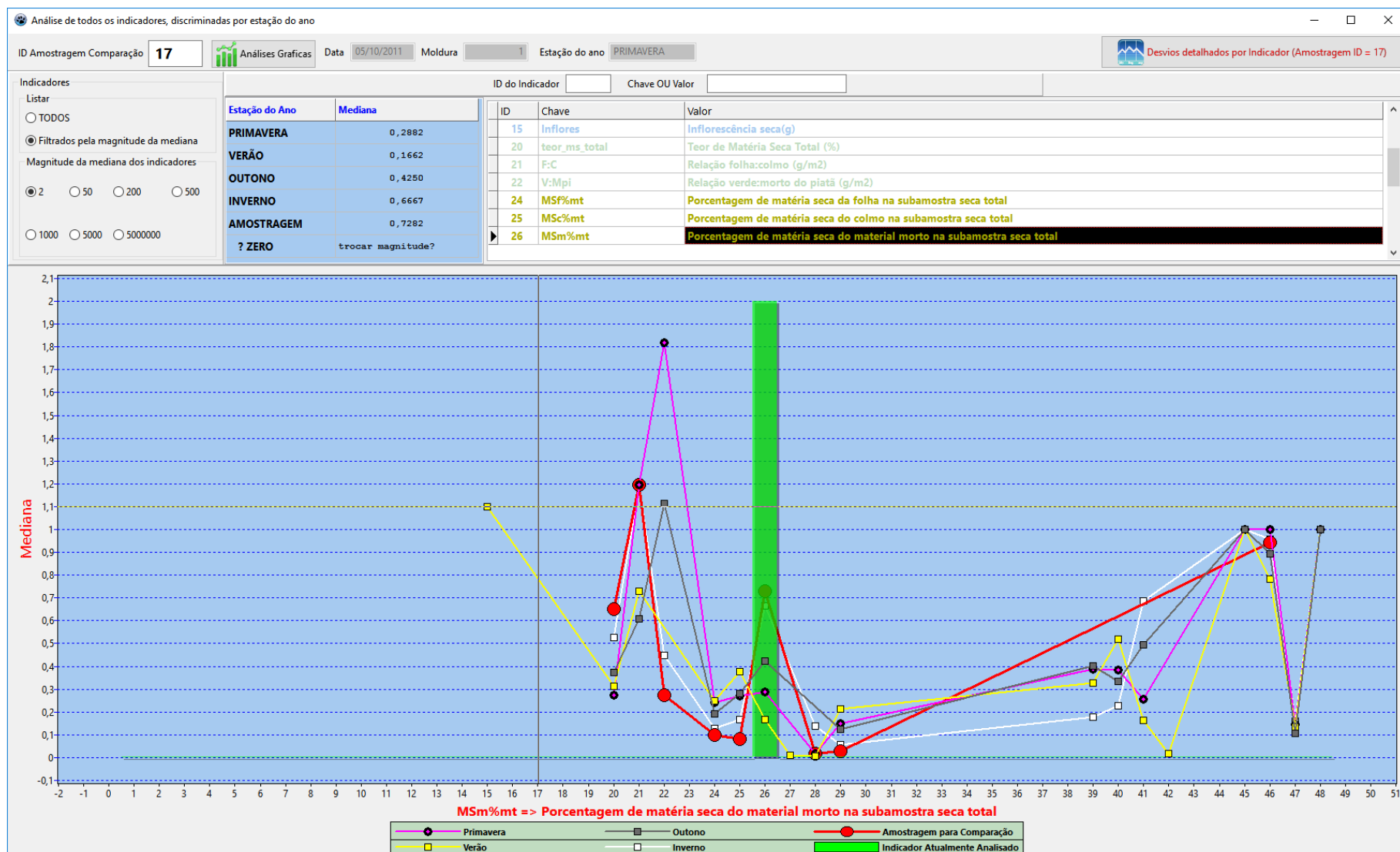


Figura 6.17: *MSForragem*: Análise de todos os indicadores, discriminada por estação do ano.

As técnicas de virtualização de dados mostraram-se efetivas e eficientes.

A construção da tabela *Legenda* (4.3) e as visões a elas associadas resultou em grande flexibilidade para gerenciamento dos indicadores e permitiu disponibilizar as avaliações de disponibilidades de uma forma genérica, padronizando assim a escrita e facilitando as manutenções.

A abstração, e em especial o encapsulamento, são duas características notórias do *MSForragem*. Pelo encapsulamento obteve-se flexibilidade, facilidade de modificação e relevante simplificação na escrita de consultas SQL e de forma incremental geraram-se as informações necessárias para a aplicação. Argumentos semelhantes são descritos em [25] como fatores de produtividade.

O encapsulamento pode ser notadamente observado nas consultas à *VDesvio_Amostragem_Indicador*, como o exemplo do Comando/Código 6.1. Se por um lado o plano de execução, gerado pelo SGBD e ilustrado em suas primeiras linhas nas figuras 6.18 e 6.19, é relativamente grande (2965 linhas) e para resolvê-la continua sendo necessário executar várias operações (junções, agregações, filtros, uniões, cálculos matemáticos e estatísticos, conversões de tipo), por outro lado a escrita desta consulta é simples.

Comando/Código 6.1: Consulta SQL das medianas observadas no primeiro experimento para os grupos de indicadores de nº 4 e 5.

```
1 SELECT grupo, id_amostragem, chave, valor, data, estacao, mediana,
2     mediana_estacao, desvio
3 FROM VDesvio_Amostragem_Indicador
4 WHERE id_amostragem IN (select id from amostragem where agrupamento =
    1) AND grupo in (4,5)
```

A edição dos dados das avaliações (figura 6.11) em conjunto com os assistentes para geração automática de novas amostras e exclusão múltipla de amostras tornou o preenchimento dos dados das avaliações consideravelmente mais simples e eficiente do que nas planilhas.

Nela as conferências das informações de disponibilidade podem ser feitas pelo pesquisador mais rapidamente do que nas planilhas.

Generalizou-se o processo de análises gráficas de maneira que o usuário escolhe quaisquer indicadores para efetuar a análise.

```

"QUERY PLAN"
"GroupAggregate (cost=3883.85..3912.44 rows=103 width=380)"
"  Group Key: vmédiana_amostragens.id_legenda, vmédiana_amostragens.estacao, vmédiana_amostragens.chave, vmédiana_amostragens.valor, vmédiana_amostragens.grupo"
"  -> Sort (cost=3883.85..3884.11 rows=103 width=380)"
"    Sort Key: vmédiana_amostragens.id_legenda, vmédiana_amostragens.estacao, vmédiana_amostragens.chave, vmédiana_amostragens.valor, vmédiana_amostragens.grupo"
"    -> Subquery Scan on vmédiana_amostragens (cost=3879.12..3880.41 rows=103 width=380)"
"      -> Sort (cost=3879.12..3879.38 rows=103 width=380)"
"        Sort Key: médiana.chave, médiana.médiana"
"        -> Hash Join (cost=3871.53..3875.68 rows=103 width=380)"
"          Hash Cond: (a.id = médiana.id_amostragem_aux)"
"          -> Sort (cost=54.70..55.18 rows=192 width=44)"
"            Sort Key: a.data"
"            -> Nested Loop (cost=15.04..47.42 rows=192 width=44)"
"              Join Filter: ((a.data >= e1.inverno) AND (a.data <= e1.primavera))"
"              -> Sort (cost=15.04..15.20 rows=64 width=24)"
"                Sort Key: e1.inverno"
"                -> HashAggregate (cost=12.48..13.12 rows=64 width=24)"
"                  Group Key: e1.id, e2.id, e1.inverno, e1.primavera, ('INVERNO'::character varying(9))"
"                  -> Append (cost=1.36..11.68 rows=64 width=24)"
"                    -> Hash Left Join (cost=1.36..2.76 rows=16 width=24)"
"                      Hash Cond: (e1.id = (e2.id - 1))"
"                      -> Seq Scan on estacao_ano e1 (cost=0.00..1.16 rows=16 width=20)"
"                      -> Hash (cost=1.16..1.16 rows=16 width=4)"
"                        -> Seq Scan on estacao_ano e2 (cost=0.00..1.16 rows=16 width=4)"
"                      -> Hash Left Join ...
"                    ...
"                  -> Materialize (cost=0.00..1.41 rows=27 width=8)"
"                  -> Seq Scan on amostragem a (cost=0.00..1.27 rows=27 width=8)"
"                -> Hash (cost=3815.54..3815.54 rows=103 width=348)"
"                  -> Subquery Scan on médiana (cost=3814.26..3815.54 rows=103 width=348)"
"                    -> Sort (cost=3814.26..3814.51 rows=103 width=360)"
"                      Sort Key: ""SELECT* 1"" id_amostragem_aux, l.chave"
"                      -> Hash Join (cost=3802.55..3810.81 rows=103 width=360)"
"                        Hash Cond: (('Massa_Verde_Total'::text) = (l.chave)::text)"
"                        -> Sort (cost=3800.47..3801.55 rows=429 width=53)"
"                          Sort Key: ""SELECT* 1"" id_amostragem_aux, ('Massa_Verde_Total'::text)"
"                          -> HashAggregate (cost=3777.43..3781.72 rows=429 width=53)"
"                            Group Key: ""SELECT* 1"" id_amostragem_aux, ('Massa_Verde_Total'::text), ""SELECT* 1"" médiana"
"                            -> Append (cost=64.73..3774.21 rows=429 width=53)"
"                              -> Subquery Scan on ""SELECT* 1"" (cost=64.73..66.76 rows=7 width=9)"
"                                -> GroupAggregate (cost=64.73..66.69 rows=7 width=9)"
"                                  Group Key: vavaliacao_ini.id_amostragem, 'Massa_Verde_Total'::text"
"                                  -> Subquery Scan on vavaliacao_ini (cost=64.73..64.82 rows=7 width=9)"
"                                    -> Sort (cost=64.73..64.75 rows=7 width=52)"
"                                      Sort Key: a_1.id_amostragem, a_1.piquete, rotulo.rotulo, ponto.ponto"
"                                      -> Hash Join (cost=3.89..64.63 rows=7 width=52)"
"                                        Hash Cond: (a_1.id_rotulo = rotulo.id)"
"                                        -> Nested Loop (cost=2.69..63.33 rows=7 width=18)"
"                                          -> Nested Loop (cost=2.55..61.73 rows=7 width=18)"
"                                            -> Hash Join (cost=2.42..60.11 rows=7 width=19)"
"                                              Hash Cond: (a_1.id_amostragem = am.id)"
"                                              -> Seq Scan on avaliacao_ponto_amostragem a_1 (cost=0.00..56.95 rows=180 width=19)"
"                                                Filter: ((massa_verde_total <> '0'::numeric) AND ((((((lamina_seca - lamina_saco) +
"                                                  (colmo_seco - colmo_saco)) +
"                                                    (morto_seco - morto_saco)) +
"                                                      (inflorescencia_seca - inflorescencia_saco)) +
"                                                        (sorgo_seco - sorgo_saco)) +
"                                                          (liteira_seca - liteira_saco)) +
"                                                            (invasora_seca - invasora_saco)) > '0'::numeric))
"                                                )"
"                                              -> Hash (cost=2.40..2.40 rows=1 width=4)"
"                                                -> Hash Join (cost=1.02..2.40 rows=1 width=4)"
"                                                  Hash Cond: (am.id_localizacao = l_1.id)"
"                                                  -> Seq Scan on amostragem am (cost=0.00..1.27 rows=27 width=8)"
"                                                  -> Hash (cost=1.01..1.01 rows=1 width=4)"

```

Figura 6.18: Primeiras 55 linhas (de um total de 2965) do plano de execução da consulta relacionada ao Comando/Código 6.1 - representação tabular.



Figura 6.19: Primeiras 32 linhas (de um Total de 2965) do plano de execução da consulta relacionada ao Comando/Código 6.1 - representação gráfica.

Tabela 6.1: Resultado da consulta relacionada ao Comando/Código 6.1.

Grup	ID	Chave (Sigla)	Valor (Descrição do Indicador)	Data	Estação Ano	Mediana	Mediana Estação	Desvio(%)
4	2	teor_ms_total	Teor de Matéria Seca Total (%)	2010-01-19	VERÃO	0,8555	0,3126	173,6584
4	3	teor_ms_total	Teor de Matéria Seca Total (%)	2010-05-11	OUTONO	0,2178	0,3747	41,8681
4	1	teor_ms_total	Teor de Matéria Seca Total (%)	2009-08-31	INVERNO	0,2736	0,5254	47,9322
4	2	F:C	Relação folha:colmo	2010-01-19	VERÃO	0,6724	0,7311	8,0358
4	1	F:C	Relação folha:colmo	2009-08-31	INVERNO	1,5757	1,1897	32,4424
4	3	F:C	Relação folha:colmo	2010-05-11	OUTONO	1,5675	0,6091	157,3387
4	2	V:Mpi	Relação verde:morto do piatã	2010-01-19	VERÃO	17,0441	3,2945	417,3580
4	1	V:Mpi	Relação verde:morto do piatã	2009-08-31	INVERNO	456,5000	0,4495	101468,5838
4	3	Massa_Seca_kg_ha	Matéria Seca Total (kg/ha)	2010-05-11	OUTONO	1929,2641	4697,1321	58,9268
4	1	Massa_Seca_kg_ha	Matéria Seca Total (kg/ha)	2009-08-31	INVERNO	6027,0068	3294,3328	82,9508
4	2	Massa_Seca_kg_ha	Matéria Seca Total (kg/ha)	2010-01-19	VERÃO	24327,2574	2798,6859	769,2386
5	1	MSf%mt	Porcentagem de matéria seca da folha na subamostra seca total	2009-08-31	INVERNO	0,4237	0,1289	228,6656
5	2	MSf%mt	Porcentagem de matéria seca da folha na subamostra seca total	2010-01-19	VERÃO	0,2635	0,2481	6,2084
5	3	MSf%mt	Porcentagem de matéria seca da folha na subamostra seca total	2010-05-11	OUTONO	0,5468	0,1930	183,3161
5	2	MSc%mt	Porcentagem de matéria seca do colmo na subamostra seca total	2010-01-19	VERÃO	0,4319	0,3754	15,0526
5	1	MSc%mt	Porcentagem de matéria seca do colmo na subamostra seca total	2009-08-31	INVERNO	0,2768	0,1681	64,6831

Continua na próxima página

Tabela 6.1 – Continuação da página anterior

Grup	ID	Chave (Sigla)	Valor (Descrição do Indicador)	Data	Estação Ano	Mediana	Med. Estação	Desvio
5	3	MSc%mt	Porcentagem de matéria seca do colmo na subamostra seca total	2010-05-11	OUTONO	0,3456	0,2801	23,4065
5	2	MSm%mt	Porcentagem de matéria seca do material morto na subamostra seca total	2010-01-19	VERÃO	0,0384	0,1662	76,8884
5	1	MSm%mt	Porcentagem de matéria seca do material morto na subamostra seca total	2009-08-31	INVERNO	0,0017	0,6667	99,7450
5	3	MSb%mt	Porcentagem de matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total	2010-05-11	OUTONO	0,1071	0,1250	14,3429
5	1	MSb%mt	Porcentagem de matéria seca da braquiária invasora na subamostra seca total	2009-08-31	INVERNO	0,2588	0,0574	351,2642

Capítulo 7

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A discriminação do solo, do material morto, do material verde e da moldura metálica, em imagens digitais de pastagens, retiradas a campo, e a separação da forragem de um fundo da cor magenta, em imagens digitais de pastagens retiradas num ambiente controlado, foram consideradas bastante satisfatórias pelos pesquisadores da Embrapa.

Claramente, a inadequação dos métodos não destrutivos preditores de estimativa de massa seca de forragem em pastagens tropicais e o dispêndio financeiro e de tempo na utilização do método convencional, justificam o estudo feito a respeito de segmentação de imagens de folhas e colmos de gramíneas através de filtros no domínio da frequência, que requer maior aprimoramento.

Conclui-se também que os objetivos gerais e específicos relacionados ao *MSForragem*, que era a concepção e o desenvolvimento de um produto de software para cálculo da massa seca de forragem, para pastagens tropicais, e de diversos indicadores quantitativos a ela associados; a carga de dados históricos de experimentos anteriores (de ILPF), providos pela Embrapa Gado de Corte, e a identificação de possíveis *outliers* nas amostras, foram alcançados e validados satisfatoriamente.

Dentre os principais requisitos não funcionais atingidos no software desenvolvido destacam-se:

- O *encapsulamento*, que esconde a complexidade das construções dos objetos e simplifica a codificação;
- O *baixo acoplamento* entre a aplicação e os objetos do banco de dados, que possibilita mínima interferência na aplicação quando da implementação de

melhorias e/ou correções nos esquemas do banco de dados, e garante portanto, maior *manutenibilidade*;

- A *usabilidade*, ou facilidade de uso e aprendizagem da ferramenta pelos pesquisadores usuários do software;
- A *portabilidade* da aplicação e do SGBD, que proporciona a compilação/execução deles em diferentes arquiteturas, tais como Windows, Linux e MacOSX.

Dentre as propostas para trabalhos futuros relacionadas ao *MSForragem* elencam-se:

1. Incorporação das avaliações de valores nutritivos das frações;
2. Geração de saídas automáticas para pacotes estatísticos: SAS e SISVAR;
3. Pré-configuração do desvio limite (%) para detecção dos *outliers*) a ser utilizado para fins de comparação, individualizado por indicador, e geração de relatórios;
4. Retirada supervisionada dos outliers.

Pretende-se também desenvolver um método preditor automático da massa seca de forragem para pastagens tropicais, por meio de ferramentas computacionais, em especial o processamento digital de sinais ópticos obtidos de faixas espectrais além da banda visível.

Referências Bibliográficas

- [1] P. C. de Faccio Carvalho, “Métodos de avaliação de massa de forragem em pastagens de capim-estrela submetidas a intensidades de pastejo,” Ciência Rural, vol. 41, no. 11, pp. 2004–2009, 2011.
- [2] C. B. d. Pellegrini, E. L. Moojen, J. H. S. d. Silva, M. G. d. Rocha, M. d. S. Brum, e F. S. Gravina, “Precisão da estimativa da massa de forragem com discos medidores em pastagem nativa; Accurate estimate of forage mass with discs meter in native pasture,” Ciência rural, vol. 40, no. 1, pp. 163–169, 2010.
- [3] M. J. R. Lacerda, K. R. Freitas, e J. W. d. Silva, “Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional,” Bioscience Journal, vol. 25, no. 3, 2009.
- [4] G. d. SOUZA, A. d. A. NOGUEIRA, e J. RASSINI, “Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico.,” Embrapa Pecuária Sudeste - Circular técnica do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, vol. 33, 2002.
- [5] K. Kawamura, K. Betteridge, I. D. Sanches, M. P. Tuohy, D. Costall, e Y. Inoue, “Field radiometer with canopy pasture probe as a potential tool to estimate and map pasture biomass and mineral components: a case study in the Lake Taupo catchment, New Zealand,” New Zealand Journal of Agricultural Research, vol. 52, no. 4, pp. 417–434, 2009.
- [6] J. M. Serrano, J. O. Peça, P. Palma, J. R. Silva, e M. Carvalho, “Calibração e validação de um medidor de capacitância num projeto de agricultura de precisão em pastagens,” Revista de Ciências Agrárias, vol. 32, no. 2, pp. 85–96, 2009.
- [7] A. das Graças Amaral, “Massa seca de forragem, composição morfológica e composição bromatológica de cinco gramíneas tropicais submetidas a duas doses de nitrogênio e potássio, sob irrigação e sequeiro,” Dissertação de Mestrado, 2006.

- [8] K. Kawamura, Y. Sakuno, Y. Tanaka, H.-J. Lee, J. Lim, Y. Kurokawa, e N. Watanabe, "Mapping herbage biomass and nitrogen status in an italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) field using a digital video camera with balloon system," Journal of Applied Remote Sensing, vol. 5, no. 1, pp. 053562–053562, 2011.
- [9] L. R. S. De Souza, Toni Carbalho, P. T. L. de Oliveira, e H. S. Soares, "Produção de matéria seca do capim-aruanã irrigado e adubado com diferentes doses de nitrogênio," Simpósio Nordestino de Produção Animal, 2008.
- [10] G. Cauduro, P. d. F. Carvalho, C. Barbosa, R. Lunardi, A. Pilau, F. d. Freitas, e J. d. Silva, "Comparação de métodos de medida indireta de massa de forragem em pasto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam)," Ciência Rural, vol. 36, no. 5, 2006.
- [11] L. A. Z. Machado e A. N. Kichel, Ajuste de lotação no manejo de pastagens. Embrapa Agropecuária Oeste; Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte: Seprotur: Repasto, 2004.
- [12] C. P. Rodrigues, "Estudo do fluxo de carbono utilizando geotecnologias," Dissertação de Mestrado, 2010.
- [13] R. G. Almeida, J. H. de Albuquerque Rangel, A. C. C. Rodrigues, e F. V. Alves, "Sistemas silvipastoris: produção animal com benefícios ambientais," 2015.
- [14] R. G. Almeida, "Integração Lavoura-Pecuária-Floresta," 2º Seminário da Pós-Graduação em Agricultura Tropical, 2010.
- [15] R. G. Almeida, R. A. Barbosa, A. H. Zimmer, e A. N. Kichel, "Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração," 2012.
- [16] R. Ramakrishnan e J. Gehrke, Sistemas de gerenciamento de banco de dados - 3.ed.:. McGraw Hill Brasil, 2008.
- [17] R. Elmasri e S. Navathe, Sistemas de banco de dados. PEARSON BRASIL, 2011.
- [18] M. R. Borth, J. C. Iacia, H. Pistori, e C. F. Ruviaro, "A visão computacional no agronegócio: aplicações e direcionamentos," 7º Encontro Científico de Administração, Economia e Contabilidade (ECAECO), 2014.
- [19] R. Polikar, ECE 0909.351 Digital Signal Processing. Rowan University, <http://engineering.rowan.edu/polikar/CLASSES/> acessado em 16/07/2016.

- [20] A. K. Kuzuo, “Análise e Síntese de Filtros Digitais FIR,” Revista Científica da UFPA <http://www.ufpa.br/revistaic>, 2002.
- [21] J. Dongarra e F. Sullivan, “Guest editors’ introduction: The top 10 algorithms,” IEEE Computing in Science & Engineering, vol. 2, no. 1, pp. 22–23, 2000.
- [22] G. Strang, “Wavelets,” American Scientist, vol. 82, no. 3, pp. 250–255, 1994.
- [23] C. G. S. Pedreira, J. C. de Moura, S. C. da Silva, e V. P. de Faria, Teoria e Prática da Produção Animal em Pastagens - Anais do 22º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. 2005.
- [24] R. Pressman, Engenharia de software. McGraw-Hill, 2006.
- [25] L. Burns, Building the Agile Database: How to Build a Successful Application Using Agile Without Sacrificing Data Management. Technics Publications, LLC, 2011.
- [26] P. J. Rousseeuw e C. Croux, “Alternatives to the median absolute deviation,” Journal of the American Statistical association, vol. 88, no. 424, pp. 1273–1283, 1993.
- [27] R. Murch, Rapid Application Development Lifecycle - RAD - The Complete Guide. No. ASIN: B008NC0NLI, eBook Kindle, 2012.
- [28] J. V. Tavares, B. W. Nelson, e D. d. M. Valeriano, “Separação espectral de alvos do dossel florestal a partir das bandas de uma câmera portátil com bandas Azul, Verde & IVP,” Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 1–6, 2013.