

**Alexandre Henrique Vieira Soares**

*Ceres<sub>Sefs</sub>*: **Sistema Especialista para o Cálculo da Necessidade de Calagem**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciência da Computação, para obtenção do título de Bacharel

Orientador  
Prof. Carlos Alberto Silva

Lavras  
Minas Gerais - Brasil  
2003



**Alexandre Henrique Vieira Soares**

*Ceres<sub>Sefs</sub>*: **Sistema Especialista para o Cálculo da Necessidade de Calagem**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciência da Computação, para obtenção do título de Bacharel

Avaliada em *09 de dezembro de 2003*

---

Profa. Ana Cristina Rouiller

---

Prof. Carlos Alberto Silva  
(Orientador)

Lavras  
Minas Gerais - Brasil



*Dedico a vitória nesta etapa de minha vida à meus pais e irmãos que sempre estiveram comigo e me apoiaram nos momentos nos quais necessitei de ajuda, conselhos e companhia.*

*Também a meus professores, desde os do primário até os da universidade, pois sem esses eu não teria chegado onde cheguei.*



## **Agradecimentos**

Agradeço a todos aqueles que me acompanharam durante os quatro anos de minha graduação. Especialmente a meus colegas de república Matheus (Malão), João (Custelinha) e André (Torresmo) que conviveram comigo nesse tempo e com os quais compartilhei momentos engraçados, difíceis, obtive e dei conselhos. Com certeza eles foram (e serão) pessoas muito especiais para mim.

Também agradeço aos meus colegas de classe (os melhores colegas que já tive), com os quais pude aprender e “aprontar” muita coisa, além de me divertir bastante. Com certeza serão momentos e pessoas inesquecíveis, principalmente as piadas do Galvão (que queria sempre competir comigo), o nervosismo do Caniggia (“sol quente”), as histórias do Paulo (será que ele achava que nós acreditávamos nas coisas que dizia?), os filmes do Chomsky.

Enfim, agradeço à companhia de todos os meus AMIGOS!



## Resumo

### ***Ceres<sub>SeFs</sub>*: Sistema Especialista para o Cálculo da Necessidade de Calagem**

Este estudo mostra o desenvolvimento de um sistema especialista para realizar o cálculo da necessidade de calagem do solo para diferentes culturas, instaladas em diversos estados brasileiros. O programa desenvolvido pode ser executado tanto pela Internet (como um *applet*) quanto fora dela (como uma aplicação). Um sistema desse tipo torna-se cada vez mais importante e indispensável aos técnicos, de um modo geral, pelo fato de agilizar o processo de recomendação de corretivo, ter facilidade no uso e comodidade (pois pode ser acessado de qualquer lugar, desde que se tenha acesso à Internet). O sistema foi desenvolvido na linguagem de programação Java, usando para modelagem a linguagem UML.

## Abstract

### ***Ceres<sub>SeFs</sub>*: Expert System to Make de Calculation of the Liming Requirement**

This study shows the development of an expert system that makes the calculation of the liming requirement for different crops. The program that was developed can be performed both in (as an applet) and out (as an application) the Internet. A system like this is important and indispensable to an agronomist since it speeds the process of defining the soil acidity corrective dose. By using this computer program, calculus of the liming requirement can be performed in any place — once a connection to the Internet could be made. The system was developed using the programming language Java, and modelled using the language UML.



# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Acidez do solo e calagem</b>	<b>5</b>
2.1	Introdução . . . . .	5
2.2	O que é acidez do solo . . . . .	5
2.3	Neutralização da acidez do solo . . . . .	6
2.4	Capacidade de troca de cátions . . . . .	7
2.4.1	Determinação da CTC . . . . .	7
2.5	Determinação da acidez ativa e potencial dos solos . . . . .	9
2.6	Saturação por bases . . . . .	10
2.7	Saturação por alumínio . . . . .	10
2.8	Cálculo da necessidade de calagem . . . . .	10
2.9	Quantidade de calcário a ser usada . . . . .	14
2.10	Escolha do corretivo a ser utilizado . . . . .	15
2.11	Classificação dos calcários . . . . .	15
2.12	Preço por tonelada . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Sistemas Especialistas</b>	<b>17</b>
3.1	Introdução . . . . .	17
3.2	Definição . . . . .	17
3.3	Arquitetura de um SE . . . . .	18
3.4	A base de conhecimento . . . . .	18
3.4.1	Aquisição de conhecimento . . . . .	19
3.4.2	Representação do conhecimento . . . . .	19
3.4.3	A máquina de inferência . . . . .	22
3.4.4	O quadro negro . . . . .	24
3.4.5	Sistema de justificação . . . . .	25

3.4.6	Mecanismo de aprendizagem . . . . .	25
3.4.7	O sistema de aquisição de conhecimento . . . . .	25
3.4.8	Sistema de consulta . . . . .	25
3.5	Fases do desenvolvimento de um SE . . . . .	25
3.5.1	Fase de identificação . . . . .	26
3.5.2	Identificação dos recursos . . . . .	26
3.5.3	Fase de conceituação . . . . .	26
3.5.4	Fase da formalização . . . . .	27
3.5.5	Fase de implementação . . . . .	27
3.5.6	Fase do teste e avaliação . . . . .	28
3.5.7	Fase de revisão . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento do sistema Ceres<sub>SEfs</sub></b>	<b>31</b>
4.1	Tecnologia empregada . . . . .	31
4.1.1	Linguagem de programação . . . . .	31
4.1.2	Sistema operacional . . . . .	32
4.1.3	Linguagem de modelagem . . . . .	32
4.1.4	Sistema de gerenciamento de bancos de dados . . . . .	33
4.2	Passos iniciais do desenvolvimento do sistema . . . . .	34
4.2.1	Escolha do método para calcular a necessidade de calagem . . . . .	34
4.2.2	Escolha do método para recomendação de corretivo . . . . .	34
4.3	Processo de desenvolvimento . . . . .	34
4.3.1	Modelagem em UML — tentativa . . . . .	34
4.3.2	Modelagem dos dados . . . . .	34
4.3.3	Modelagem do sistema especialista . . . . .	36
4.3.4	Fase de identificação . . . . .	37
4.3.5	Fase de conceituação . . . . .	37
4.3.6	Fase de formalização . . . . .	37
4.3.7	Fases de implementação, teste e avaliação . . . . .	39
4.3.8	Modelagem em UML . . . . .	40
4.4	Distribuição do Ceres <sub>SEfs</sub> . . . . .	40
4.5	Sobre o trabalho desenvolvido . . . . .	40
4.6	O porquê do nome Ceres <sub>SEfs</sub> . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Conclusões e trabalhos futuros</b>	<b>45</b>
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>47</b>

<b>A Modelagem UML</b>	<b>49</b>
A.1 Diagrama de classes . . . . .	49
A.2 Diagrama de casos de uso . . . . .	53
<b>Índice remissivo</b>	<b>55</b>



# Lista de Figuras

2.1	Representação da neutralização da acidez do solo com carbonato de cálcio. . . . .	8
3.1	Arquitetura de um sistema especialista (SE). . . . .	18
3.2	Representação de conhecimento por redes semânticas. . . . .	20
3.3	Representação de conhecimento por quadros. . . . .	21
3.4	Encadeamento progressivo . . . . .	23
3.5	Encadeamento regressivo . . . . .	24
4.1	Ceres, a deusa da agricultura. . . . .	41
4.2	Tela principal do programa Ceres <sub>SeFs</sub> . . . . .	43
A.1	Diagrama das classes usadas pela classe “Ceres.java”. . . . .	49
A.2	Diagrama das classes relacionadas com os cálculos (classe “SistemaEspecialista.java”). . . . .	50
A.3	Diagrama das classes relacionadas com a análise do solo. . . . .	50
A.4	Diagrama das classes relacionadas com o corretivo. . . . .	51
A.5	Diagrama das classes relacionadas com a cultura. . . . .	51
A.6	Diagrama das classes relacionadas o cálculo da NC. . . . .	52
A.7	Diagrama das classes relacionadas o cálculo da QC. . . . .	52
A.8	Diagrama das classes relacionadas o cálculo do custo da calagem. . . . .	53
A.9	Diagrama das classes relacionadas a recomendação de coretivo. . . . .	53
A.10	Diagrama de casos de uso do Ceres <sub>SeFs</sub> . . . . .	54
A.11	Diagrama de casos de uso com relação à integração do Ceres <sub>SeFs</sub> com outros sistemas. . . . .	55



# Lista de Tabelas

2.1	Valor de Y de acordo com a textura do solo . . . . .	11
2.2	Valor de Y de acordo com o valor de fósforo remanescente . . . .	12
2.3	Características do solo do exemplo . . . . .	13

# Capítulo 1

## Introdução

A produção agrícola é essencial para o desenvolvimento sócio-econômico de um país. Com uma população mais saudável, os gastos do governo com saúde poderão ser direcionados para outras áreas. Sabemos que os custos com a prevenção de doenças são bem menores que os gastos com o tratamento, daí a importância de um setor agrícola forte. Uma população bem alimentada é uma população economicamente mais ativa.

Tem-se percebido que, a cada ano, há uma necessidade cada vez maior em se produzirem alimentos em âmbito mundial. Isso só pode ser conseguido com os solos apresentando condições ideais de cultivo para cada cultura. Mais importante que usar, cada vez mais, áreas maiores para plantações, é aproveitar melhor a área já usada, com foco no aumento da produtividade.

O uso constante dos solos, sem reposição dos nutrientes, os tornam pobres e, portanto, inférteis ou com baixíssima produtividade. Felizmente, a pesquisa agropecuária brasileira já disponibilizou para os agricultores diferentes modos de se corrigir e condicionar o solo no sentido de se obterem produções sustentadas ao longo dos anos. Atualmente, é possível corrigir a acidez do solo, incorporar potássio, cálcio, manganês e vários outros micronutrientes, via uso de corretivos e de fertilizantes orgânicos e inorgânicos.

Para que se tenham características edáficas ótimas, não basta aplicar insumos de um modo indiscriminado, sendo necessário que estes sejam adicionados ao solo na dose, forma e tempo recomendados pelos técnicos. Em alguns casos, essa não tem sido a regra, em razão de ser notado em algumas lavouras a aplicação de fertilizantes e corretivos não levando-se em conta a opinião dos profissionais da área. Isso pode ser prejudicial à terra (que pode armazenar excesso de determinados

nutrientes) e às pessoas, porque os produtos aplicados na lavoura podem se misturar à água dos rios, poluindo-os. Antes de se adicionar ao solo qualquer insumo, é necessário que seja feito um estudo de sua fertilidade para ver quanto de cada nutriente será necessário. É com base na análise do solo que poderemos diagnosticar possíveis problemas de fertilidade da terra em relação a excesso ou falta de nutrientes.

Feita a análise do solo em laboratório e com seus resultados à mão, torna-se necessário interpretar os dados obtidos na análise de solo, no sentido de definir quais serão as práticas de adubação e calagem necessárias. Essa fase de interpretação da análise é feita por um ser humano, na maioria das vezes, mas já se está tornando comum o uso de programas de computador para realizar a interpretação do resultado da análise. Tais programas usam os dados da análise e os compara com os da tabela da cultura-região, dando como resposta a interpretação desta: o que falta no solo, quanto falta, onde obter tal composto, como aplicá-lo, qual a época de aplicação dos fertilizantes etc.

A maioria das tabelas e dos boletins de adubação ainda são disponíveis de forma impressa em papel, o que torna o acesso a seus dados mais difícil e demorado. Além disso, um bom tempo é perdido em consultas a várias páginas e em vários cálculos até que o resultado final para a correção do solo seja obtido.

Aproveitando o fato de que a maioria dos profissionais da área já trabalham em campo com seus microcomputadores, a disponibilização desses dados de forma digital, na máquina, tornaria o acesso aos dados e resultados de exames bem mais rápido e fácil.

Com um programa de computador, o técnico apenas tem que inserir os valores obtidos no exame laboratorial do solo e a resposta para a quantidade de corretivo que deve ser aplicada é dada em questão de segundos. Isso agiliza o trabalho do profissional além de minimizar os erros obtidos com cálculos feitos “à mão”. O uso de uma interface gráfica amigável e de gráficos mostrando o estado do solo deixa o trabalho do técnico mais apresentável, além de facilitar o entendimento dos resultados.

Este estudo teve por objetivo desenvolver uma ferramenta que possibilitasse ao agrônomo obter resultados mais rápidos para exames de correção e definição da necessidade de calagem do solo, considerando-se também a exigência nutricional de cada cultura, em diferentes estados brasileiros. Foi tratada a correção apenas da acidez do solo, utilizando-se a técnica de cálculo da necessidade de calagem feita para os estados de MG e SP (Método IAC<sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup>Instituto Agrônomo de Campinas: <http://www.iac.sp.gov.br/>

As culturas, cujas tabelas foram estudadas são as de maior relevância, mais comuns no território brasileiro, como por exemplo soja, milho, feijão, café, cana, algodão, entre outras.

O programa foi baseado na tecnologia de sistemas especialistas, que consiste em desenvolver um programa que desempenhe o papel de um especialista, no caso, um agrônomo (que é o responsável por interpretar a análise do solo). Também foram usadas técnicas de Engenharia de *Software* para que o programa seja facilmente entendido por quem quiser aprimorá-lo ou aproveitar algo do seu desenvolvimento. Assim, o sistema criado é capaz de realizar o cálculo da necessidade para diferentes culturas no formato digital.

Esta monografia trata do processo de desenvolvimento do sistema  $Ceres_{Sefs}$ , bem como os problemas encontrados no decorrer do trabalho e as soluções propostas.

No capítulo 2, serão tratados tópicos que dizem respeito ao cálculo da necessidade de calagem; no capítulo 3, serão tratados tópicos que dizem respeito à tecnologia de Sistemas Especialistas; no capítulo 4, serão tratados tópicos que dizem respeito à fase de implementação do sistema  $Ceres_{Sefs}$ ; por fim, no capítulo 5, será mostrada a conclusão obtida com o final desta monografia.

O resultado final do trabalho estará disponível tanto como uma aplicação normal (“off-line”) como uma aplicação para Internet. A idéia de disponibilizar o programa na rede é para que haja um maior alcance das tabelas de recomendação, além de democratizar o acesso a essas. Com a Internet, o programa pode ser acessado de qualquer, desde que se tenha acesso à Internet.



## Capítulo 2

# Acidez do solo e calagem

### 2.1 Introdução

A reação do solo é o primeiro fator que deve ser levado em conta quando se pretende fazer algum cultivo, isso porque se ela não for favorável, medidas corretivas devem ser tomadas, antes do cultivo e do preparo do solo (adubação). No Brasil, a maioria dos solos apresenta acidez elevada, ou seja, potencial de hidrogenização (pH) menor que cinco.

Neste capítulo, vamos tratar do cálculo da necessidade de calagem, que é o cálculo feito para sabermos quanto de calcário devemos usar para uma determinada cultura e faixa de terra.

Será feita uma pequena introdução sobre tópicos que serão utilizados para realizar tal cálculo bem como conceitos associados à recomendação de corretivo.

### 2.2 O que é acidez do solo

A acidificação excessiva do solo consiste na remoção dos cátions básicos —  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  — do solo, e da inserção de cátions ácidos —  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ .

Quimicamente falando, ácidos são substâncias que, quando em solução, liberam prótons (íons hidrogênio) e bases são substâncias que recebem prótons.

A acidez e a basicidade de uma substância são medidas por meio da determinação do pH, que é uma medida usada para representar concentrações muito baixas de íons hidrogênio, e é definida por:

$$pH = -\log H^+ = \log \frac{1}{H^+} \quad (2.1)$$

Por exemplo, 0,00001 M (mol) ou  $10^{-5}$  M de  $H^+$  corresponde a um pH igual a cinco.

A escala de pH varia de zero a 14,0, sendo sete o pH neutro. Um pH menor que sete é dito ácido e maior que sete, básico.

Existem vários tipos de acidez. Dentro eles, serão citadas a acidez ativa, a potencial e a trocável, por serem as de importância para o cálculo da necessidade calagem.

A acidez ativa é a fração ou parte de hidrogênio da solução do solo que está dissociada na forma de  $H^+$  e é medida pelo pH. Já a parte não dissociada é chamada acidez potencial.

A acidez potencial do solo é constituída por hidrogênio e alumínio, ou  $H + Al$ , mas somente o Al é um cátion trocável <sup>1</sup> e por isso o alumínio trocável também é conhecido como acidez trocável.

Denomina-se acidez trocável, aquela relacionada ao Al trocável do solo que, quando em solução, hidroliza e gera íons  $H^+$ .

A acidez do solo está relacionada com a capacidade de troca de íons do solo.

A capacidade de troca iônica expressa a quantidade de cargas ou de ânions retidos, por unidade de peso ou volume de solo. Ela é medida em  $cmol_c/dm^3$ .

“O solo será tanto mais ácido quanto menor parte da capacidade de troca de cátions for ocupada por cátions básicos, tais como cálcio, magnésio, potássio e sódio. A acidificação do solo consiste, portanto, na remoção desses cátions do complexo de troca catiônica, substituindo-os por alumínio trocável e hidrogênio.” ([RAIJ1991], p. 139)

## 2.3 Neutralização da acidez do solo

Para a neutralização da acidez dos solos o corretivo mais utilizado é o calcário. O carbonato de cálcio (calcário,  $CaCO_3$ ) é um sal de baixíssima solubilidade, porém o pouco que é dissolvido quando da presença de gás carbônico ( $CO_2$ ) é suficiente para gerar reações que resultam na neutralização do solo.

A equação que representa a neutralização do solo (omitindo-se reações intermediárias) é a seguinte:



---

<sup>1</sup>Cátions trocáveis são aqueles cuja adsorção às cargas negativas do colóide pela fase sólida do solo é direta, ocorrendo apenas ligação eletrostática.

Temos então que o calcário neutraliza a acidez pela troca de cálcio por íons de caráter ácidos (Al e H). O alumínio é precipitado como hidróxido de alumínio e o gás carbônico é desprendido.

A reação possui velocidade variável que depende do grau de acidez do solo, da granulometria do corretivo e do grau de intimidade da mistura do calcário com o solo.

Solos diferentes possuem necessidades de  $\text{CaCO}_3$  diferentes para que se obtenha um mesmo valor de pH. Com isso, diz-se que os solos diferem em poder tampão, que é a resistência apresentada por eles na variação do pH pela adição de pequenas quantidades de bases ou ácido. A diferença entre os solos se dá por causa da capacidade de troca de cátions, que é diretamente proporcional à quantidade de matéria orgânica (MO) e argila e, ainda, à atividade da argila que predomina no solo.

## 2.4 Capacidade de troca de cátions

A capacidade de troca de cátions (CTC) é muito importante na agricultura porque é ela que faz os solos reterem cátions como cálcio, magnésio, potássio, dentre outros, evitando que as águas de drenagem levem-nos, ao mesmo tempo que os mantém disponíveis para os vegetais.

A CTC geralmente é medida em pH sete e possui valor praticamente constante, não se alterando em curto prazo por práticas agrícolas.

Materiais trocadores de íons são aqueles que apresentam excesso de carga elétrica em sua estrutura, a qual é neutralizada por íons trocáveis de carga oposta, que ficam adsorvidos na superfície<sup>2</sup>.

Temos que o solo é um trocador de cátions e que a carga das superfícies das partículas é negativa.

“A CTC é a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de peso ou volume.” ([RAIJ1991], p. 142)

O número de cátions relativos à CTC é expresso em miliequivalente por unidade de peso ou volume, sendo usada para fertilidade a representação em meq/100  $\text{cm}^3$  de terra ou  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ .

### 2.4.1 Determinação da CTC

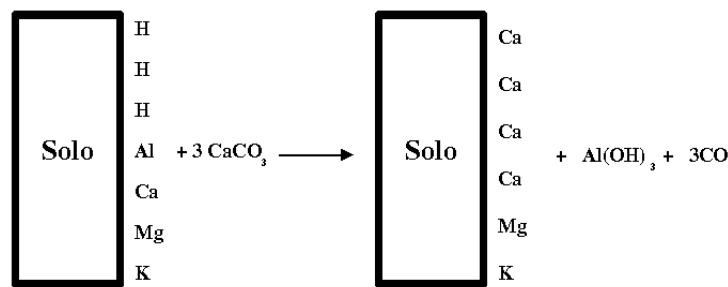
Temos duas formas de calcular a CTC: direta e indireta.

---

<sup>2</sup>Superfície é aquela área que fica exposta na interface sólido-líquido.

“Na determinação direta percola-se uma solução tamponada<sup>3</sup> de sal de amônio, cálcio ou bário, a um valor de pH sete ou 8,2 através do solo e retira-se o excesso de sal. A capacidade de troca fica tomada pelo cátion, que é extraído e determinado.” ([RAIJ1991], p. 143)

A Figura 2.1 é uma ilustração da neutralização da acidez do solo pela adição de  $\text{CaCO}_3$ .



**Figura 2.1:** Representação da neutralização da acidez do solo com carbonato de cálcio.

Fonte: [RAIJ1991]

“A determinação indireta consiste em somar as bases trocáveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , extraídas do solo por soluções salinas ou de ácidos diluídos, com a acidez  $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$ , extraída com uma solução tamponada.” ([RAIJ1991], p. 143)

$$SB^4 = Ca + Mg + K + Na \quad (2.3)$$

$$T^5 = SB + H + Al \quad (2.4)$$

A CTC efetiva (t) é a soma dos cátions trocáveis e não deve ser confundida com a CTC a pH sete (T).

$$t = Al^{3+} + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ \quad (2.5)$$

O hidrogênio corresponde à parte da acidez potencial do solo. Por estar pouco dissociado neste e não participar das reações de troca iônica, não é considerado um cátion trocável.

<sup>3</sup>Solução que possui resistência à variação de pH quando em contato com pequenas quantidades de bases

<sup>4</sup>Soma das bases

<sup>5</sup>CTC a pH 7,0

Mesmo não sendo um cátion trocável, o hidrogênio participa do cálculo da CTC por causa da neutralização da acidez do solo por uma reação semelhante à equação 2.2.

## 2.5 Determinação da acidez ativa e potencial dos solos

“Existem diferenças nas determinações da acidez ativa e potencial dos solos que afetam os resultados e, portanto, alteram as relações entre cátions trocáveis e pH, influenciando na prática de calagem. Por essa razão, há necessidade de discutir os métodos empregados.”([RAIJ1991], p. 145)

Como já foi visto na seção 2.2, o pH representa a acidez ativa. Porém, este pode ser calculado em uma suspensão de terra em água ou sal, possuindo o último valores mais baixos.

Mesmo sendo uma das medidas mais comuns, o pH medido em água pode sofrer muitas variações, seja por causa das diferentes épocas do ano, por manuseio, adubos, dentre outros fatores. Essa variação se dá pelo fato de o pH estar intimamente relacionado com a quantidade de sais no solo.

Uma solução proposta para o problema das variações foi o cálculo do pH em soluções salinas (muito usado o sal  $\text{CaCl}_2$  0,01 M), pelo fato dessas soluções nivelarem o efeito dos sais normalmente existentes em solos não salinos e porque os resultados são pouco afetados pelo estado do solo (como alta fertilidade e bem adubados).

Como o pH em água é muito usado, deve-se saber a relação desse com o medido em solução salina (proporção).

Via de regra, a acidez potencial é calculada integralmente, incluindo hidrogênio e alumínio.([RAIJ1991], p. 146)

Temos várias soluções salinas que são empregadas para o cálculo da acidez potencial, porém será dada maior atenção à solução tampão SMP<sup>6</sup> por ser usada tanto para o cálculo da acidez do solo, quanto para o da necessidade de calagem.

A medida da acidez dos solos com soluções tampão é resultado da neutralização do hidrogênio do solo pela alcalinidade do tampão. Explicando: o solo transfere acidez à solução tampão e esta transfere alcalinidade e cátions trocáveis ao solo, estabilizando-se a suspensão a um pH intermediário.

“Os valores de pH de suspensões de solo na solução tampão têm sido relacionados diretamente com os valores de necessidade de calagem para atingir determi-

---

<sup>6</sup>A sigla deriva do nome dos autores do método, Shoemaker, McLean e Pratt.

nados valores de pH, retirados de curvas de neutralização de solos com carbonato de cálcio.” ([RAIJ1991], p. 147)

A solução tampão SMP é uma mistura de reagentes (p-nitroferol, trietanolamina, cromato de potássio, acetato de cálcio e cloreto de cálcio), em uma proporção tal que a curva de titulação<sup>7</sup> fornece uma reta.

Em laboratório, faz-se o seguinte: o tampão, inicialmente a pH 7,5, é misturado com o solo, agitado, e o pH do equilíbrio resultante é lido. A depressão de pH reflete diretamente a acidez transferida do solo para a solução.

O tampão SMP ainda pode ser usado para determinar diretamente a acidez  $H + Al$  além de determinar a necessidade de calagem (NC).

## 2.6 Saturação por bases

A saturação por bases (V) expressa a parte da CTC ocupada por cálcio, magnésio e potássio. Portanto, temos que:

$$V = \frac{100 SB}{T} \quad (2.6)$$

## 2.7 Saturação por alumínio

A saturação por alumínio (m) é a porcentagem da CTC efetiva ocupada pelo Al trocável.

$$m = \frac{100 Al^{3+}}{SB + Al^{3+}} \quad (2.7)$$

## 2.8 Cálculo da necessidade de calagem

Necessidade de calagem (NC) é a quantidade de corretivo necessário para neutralizar a acidez do solo, de uma condição inicial até uma condição desejada. ([RAIJ1991], p. 152)

O padrão é utilizar  $CaCO_3$  como corretivo padrão por este apresentar fatores que facilitam os cálculos. Por exemplo, um miliequivalente de  $CaCO_3$  por  $cm^3$  de solo representa 0,050 g em peso, o equivalente a uma t/ha para uma camada de vinte cm de solo.

---

<sup>7</sup> Titulação é um método químico de determinação analítica indireto que se baseia na neutralização de um ácido por uma base, ou vice-versa.

No Brasil, são usados três métodos para a determinação da NC, com variações regionais:

1. Método da neutralização do  $Al^{3+}$  e da elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  — Método de Minas Gerais

Nesse método, consideram-se ao mesmo tempo características do solo e exigências das culturas.

O critério do alumínio para o cálculo de calagem é um procedimento adequado para situações em que o consumo de calcário por unidade de área é baixo. ([RAIJ1991], p. 153)

$$NC = \left\{ Y \left[ Al^{3+} - \left( m_t \times \frac{t}{100} \right) \right] \right\} + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \quad (2.8)$$

Onde:

- Y é capacidade tampão do solo, que pode ser definida de acordo com a textura solo conforme a Tabela 2.1:

**Tabela 2.1:** Valor de Y de acordo com a textura do solo

Solo	Argila	Y
	%	
Arenoso	0 a 15	0,0 a 1,0
Textura média	15 a 35	1,0 a 2,0
Argiloso	35 a 60	2,0 a 3,0
Muito argiloso	60 a 100	3,0 a 4,0

Fonte: [CFSEMG1999]

Estes valores de Y, estratificados em relação aos teores de argila, podem ser estimados de forma contínua pela equação:

$$\hat{Y} = 0,0302 + 0,06532Argila - 0,000257Argila^2 \quad (2.9)$$

E também de acordo com o valor de fósforo remanescente (*P-rem*), que é o teor de P da solução de equilíbrio após agitar durante uma hora a TFSA<sup>8</sup> com solução de  $CaCl_2$  dez mmol/L, contendo sessenta mg/L de P, na relação 1:10. Veja Tabela 2.2

<sup>8</sup>TFSA — Terra Fina Seca ao Ar

**Tabela 2.2:** Valor de Y de acordo com o valor de fósforo remanescente

P-rem	Y
mg/L	
0 a 4	4,0 a 3,5
4 a 10	3,5 a 2,9
10 a 19	2,9 a 2,0
19 a 30	2,0 a 1,2
30 a 44	1,2 a 0,5
44 a 60	0,5 a 0,0

Fonte: [CFSEMG1999]

Os valores de Y, estratificados de acordo com os valores de P-rem podem também ser estimados de forma contínua pela equação:

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901P\text{-rem} + 0,001205P\text{-rem}^2 - 0,00000362P\text{-rem}^3 \quad (2.10)$$

- $Al^{3+}$  é a acidez trocável, em  $cmol_c/dm^3$
- $m_t$  é a máxima saturação por  $Al^{3+}$  tolerada pela cultura, em %
- $t$  é a CTC efetiva, em  $cmol_c/dm^3$
- X disponibilidade de Ca e Mg de acordo com as exigências das culturas nestes nutrientes
- $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  são os teores de Ca e Mg trocáveis, em  $cmol_c/dm^3$

O resultado é expresso em t/ha de  $CaCO_3$ .

## 2. Método do tampão SMP

Como já foi visto na seção 2.5, com o pH calculado utilizando-se uma solução tampão SMP ( $pH_{SMP}$ ) conseguimos estabelecer diretamente as quantidades de calcário a aplicar.

## 3. Método baseado na elevação da saturação por bases — Método de São Paulo

Por esse método, a NC visa a elevação da saturação por bases a valores pré-estabelecidos para culturas diferentes. ([RAIJ1991], p. 154)

$$NC = \frac{[(V_2 - V_1) \times T]}{100} \quad (2.11)$$

Onde:

- $V_2$  é a saturação por bases desejada ou esperada
- $V_1$  é a saturação por bases atual do solo
- T é a CTC a pH sete

Pela equação 2.11, tem-se a NC expressa em toneladas por hectare de  $\text{CaCO}_3$  com 100% de eficiência e por vinte cm de profundidade. Para aplicar a fórmula, é preciso saber o valor da acidez potencial e da soma das bases.

Exemplo:

Exemplo de cálculos da NC para o cafeeiro a ser cultivado em solo com as seguintes características (Tabela 2.3):

**Tabela 2.3:** Características do solo do exemplo

Argila %	P-rem mg/L	$\text{Al}^{3+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$H + Al$ cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	SB	t	T	V
60	9,40	0,80	0,10	0,10	7,80	0,21	1,01	8,01	2,6

Fonte: [CFSEMG1999]

$$m_t = 25$$

$$X = 3,5$$

$$V_2 = 60$$

Pelo método 1, considerando o teor de argila e os valores dados acima (Tabela 2.3):

$$\begin{aligned} NC &= 3 \times \left[ 0,8 - \left( 25 \times \frac{1,01}{100} \right) \right] + 3,5 - 0,2 = \\ &= 1,64 + 3,3 = \\ &= 4,94 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

Pelo método 1, considerando Y de acordo com o valor de *P-rem* e os valores da Tabela 2.2:

$$\begin{aligned} NC &= 2,96 \times \left[ 0,8 - \left( 25 \times \frac{1,01}{100} \right) \right] + 3,5 - 0,2 = \\ &= 1,62 + 3,3 = \\ &= 4,92 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

Pelo método 3, considerando os valores dados acima (Tabela 2.3):

$$\begin{aligned} NC &= 8,01 \times \frac{(60 - 2,6)}{100} = \\ &= 4,6 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

## 2.9 Quantidade de calcário a ser usada

A necessidade de calagem calculada com os critérios ou métodos anteriormente apresentados indica a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  ou calcário = 100% a ser incorporado por hectare, na camada de zero a vinte centímetros de profundidade. Portanto, indica a dose de calcário teórica. Na realidade, a determinação da quantidade de calcário a ser usada por hectare deve levar em consideração ([CFSEMG1999], p. 53):

1. A percentagem da superfície do terreno a ser coberta na calagem ( SC, em %)
2. Até que profundidade será incorporado o calcário ( PF, em cm)
3. O poder relativo de neutralização total do calcário a ser utilizado ( PRNT, em %)

Portando a quantidade de calcário a ser usada (QC, em t/ha) será:

$$QC = NC \times \left( \frac{SC}{100} \right) \times \left( \frac{PF}{20} \right) \times \left( \frac{100}{PRNT} \right) \quad (2.12)$$

Por exemplo, a quantidade de calcário ( $PRNT = 90\%$ ) a ser adicionada numa lavoura de café de cinco anos, se a NC é de seis t/ha, a área a ser corrigida (faixa das plantas) é de 75% e, considerando a profundidade de incorporação (pela esparramação) de cinco cm, será:

$$\begin{aligned} QC &= 6 \times \left( \frac{75}{100} \right) \times \left( \frac{5}{20} \right) \times \left( \frac{100}{90} \right) = \\ &= 1,25 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

## 2.10 Escolha do corretivo a ser utilizado

O calcário é comercializado com base no peso do material, portanto a escolha do corretivo a aplicar deve levar em consideração o uso de critérios técnicos (qualidade do calcário) e econômicos. ([CFSEMG1999], p. 54)

Na qualidade, consideramos a capacidade de neutralização da acidez do solo (poder de neutralização — PN), a reatividade do material e o teor de calcário.

O PN avalia o teor de materiais neutralizantes do calcário.

O PN igual a 120% de um calcário indica que cem Kg deste corretivo tem a mesma capacidade neutralizante do que 120 kg de  $\text{CaCO}_3$ .

A reatividade de um calcário depende da granulometria do material, a qual permite estimar a eficiência relativa, ou seja, sua reatividade (RE). A granulometria indica a capacidade de um corretivo reagir no solo e envolve a velocidade de reação e seu efeito residual.

Combinando PN com RE, tem-se o poder relativo de neutralização total (PRNT), que estima o quanto de calcário irá reagir em um período de três anos.

$$PRNT = \frac{(PN \times RE)}{100} \quad (2.13)$$

## 2.11 Classificação dos calcários

Pelos teores de Mg, os calcários podem ser classificados em :

1. Calcíticos — menos de cinco dag/Kg de MgO
2. Magnesianos — entre cinco e 12 dag/Kg de MgO
3. Dolomíticos — mais de 12 dag/Kg de MgO

Pelo PRNT os calcários podem ser classificados em grupos:

1. Grupo A — PRNT entre 45 e 60%
2. Grupo B — PRNT entre 60,1 e 75%
3. Grupo C — PRNT entre 75,1 e 90%
4. Grupo D — PRNT superior a 90%

## 2.12 Preço por tonelada

Baseado nas várias alternativas de qualidade e de preço oferecidos no mercado, devemos decidir qual é a solução mais adequada, considerando o preço por tonelada efetiva do corretivo.

$$\text{Preço por tonelada efetiva} = 100 \times \frac{\text{Preço por tonelada na propriedade}}{PRNT} \quad (2.14)$$

$$\text{Preço por tonelada na propriedade} = \text{Preço por tonelada do corretivo} + \text{frete} \quad (2.15)$$

## Capítulo 3

# Sistemas Especialistas

### 3.1 Introdução

Nesta seção será mostrada a tecnologia de Sistemas Especialistas (SE), que é a tecnologia utilizada no sistema  $Ceres_{Sefs}$ .

Serão explicados alguns tópicos mais importantes relacionados aos SE's. Também serão dados alguns exemplos de SE's utilizados em várias áreas.

### 3.2 Definição

Sistemas especialistas são sistemas computacionais que resolvem problemas de uma maneira bem parecida com um especialista humano. Eles possuem um conhecimento específico profundo sobre campos restritos do conhecimento.

([RABUSKE1995], p. 72)

O que caracteriza um Sistema Especialista (SE) é o seu alto grau de conhecimento sobre uma área específica, sendo então muito eficientes suas as respostas. Os SE's devem também ser capazes de informar ao usuário como obteve a resposta para um determinado problema, para deixá-lo a par de como tal resultado foi obtido.

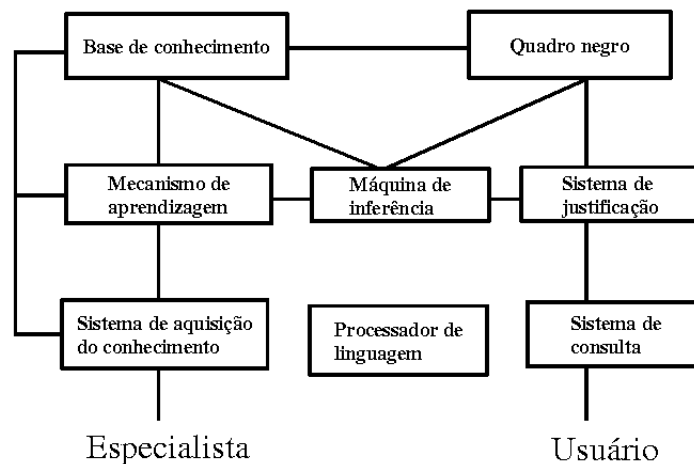
Existem diversos benefícios associados ao desenvolvimento de um SE como, por exemplo, distribuição de conhecimento especializado, memória institucional, flexibilidade no fornecimento de serviços, possibilidade de tratar informações a partir de conhecimentos incompletos ou incertos, entre outros.

Atualmente, os SE's são aplicados nas mais variadas áreas. Abaixo serão dados alguns exemplos ([RABUSKE1995], p. 87):

- Administração: FOLIO — ajuda administradores a determinar metas de investimento de clientes e selecionar portfólios que melhor preenchem essas metas;
- Agricultura: POMME — ajuda no trato de macieiras;
- Geologia: PROSPECTOR — dá suporte de consultor na exploração mineral.

### 3.3 Arquitetura de um SE

Um modelo geral de um SE pode ser representado pela Figura 3.1, porém, essa modelagem pode variar conforme sua aplicação do SE.



**Figura 3.1:** Arquitetura de um sistema especialista (SE).

Fonte: [RABUSKE1995]

Serão dados nas seções seguintes detalhes sobre algumas partes do modelo apresentado.

### 3.4 A base de conhecimento

O grande poder de um SE está em sua base de conhecimento. É nessa base que está tudo necessário para que o sistema possa trabalhar para gerar resultados.

Para montar a base de conhecimentos são necessários dois passos: adquirir conhecimento e modelar o conhecimento adquirido. Em seqüência serão, detalhados um pouco mais esses dois processos.

### **3.4.1 Aquisição de conhecimento**

Essa é a etapa mais difícil na construção de um SE.

O conhecimento de um SE vem de um especialista humano. É necessário que a pessoa passe “tudo” que sabe sobre o assunto a ser tratado a fim de melhor representar o papel do especialista humano.

A aquisição do conhecimento é complexa porque é necessário saber lidar com o especialista, convencê-lo a passar o que sabe, a colaborar.

É nessa fase que podem surgir informações incompletas, porque o especialista pode não ter informado tudo que era necessário, ter omitido algo.

### **3.4.2 Representação do conhecimento**

Representar o conhecimento é a parte mais importante no desenvolvimento de um SE ([BITTENCOURT2001], p. 258), portanto devemos escolher a modelagem<sup>1</sup> de conhecimento que melhor se adeque à nossa aplicação. Alguns modelos serão citados em seguida.

#### **Representação de conhecimento por lógica**

A lógica clássica é usada na maioria dos formalismos de representação de conhecimento, os quais fazem uso de predicado<sup>2</sup> e proposições lógicas<sup>3</sup> e trata fundamentalmente de dois conceitos: a verdade e a prova ([BITTENCOURT2001], p.88). A linguagem de programação Prolog é bastante usada para representações lógicas.

Exemplo:

Todo homem é humano. (Proposição verdadeira)  
é humano → predicado

---

<sup>1</sup>Modelar é pegar certas características de um determinado objeto do mundo real e usá-las para representá-lo no ambiente computacional

<sup>2</sup>Predicado é algo que se diz a respeito de um sujeito

<sup>3</sup>Proposições são frases declarativas que podem ser tidas como falsas ou verdadeiras

### Representações de conhecimento por redes semânticas

Uma rede semântica é utilizada para definir um conjunto heterogêneo de sistemas ([BITTENCOURT2001], p. 260). Ela consiste em um conjunto de nós conectados por um conjunto de arcos, sendo que os nós representam objetos e os arcos relações binárias entre os nós.

Exemplo: Considere a rede semântica da Figura 3.2, que representa conceitos relacionados com mobiliário. Os arcos *é-um* e *é-parte* são bastante comuns em sistemas de redes semânticas. Este tipo de arco é utilizado para determinar a herança de propriedades. Os demais arcos (*dono*, *cor*, *estofamento*) são específicos do domínio e representam propriedades de conceitos. Esses são chamados traços.

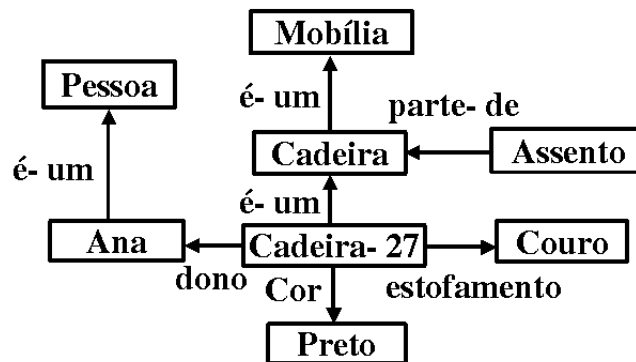


Figura 3.2: Representação de conhecimento por redes semânticas.

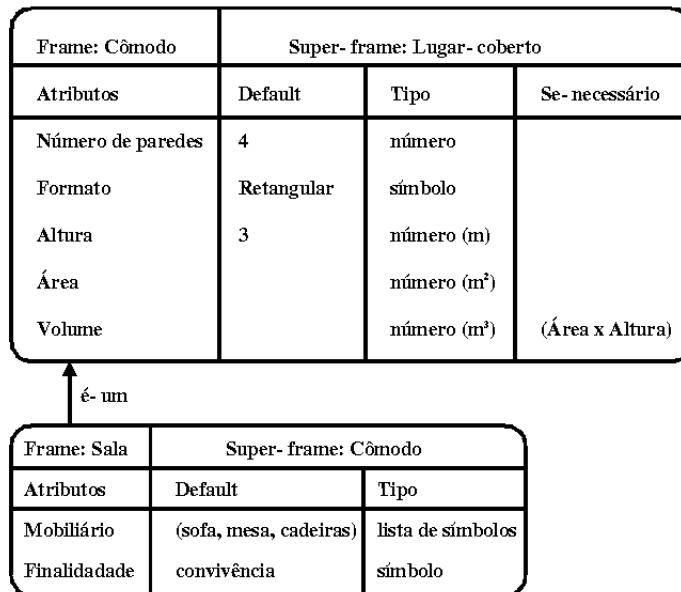
Fonte: [RABUSKE1995]

Na representação por redes semânticas, há possibilidade de herança de propriedade, fato que permite que propriedades de um nó sejam especificadas apenas uma vez e herdadas por todos os conceitos derivados.

### Representação de conhecimento por quadros

Quadros são usados para permitir a expressão das estruturas internas dos objetos, ainda podendo fazer uso de herança, como nas redes semânticas.

Os quadros são conjuntos de atributos que descrevem as características dos objetos representados. Podem haver dependências entre os quadros e hierarquias de especialização entre estes.



**Figura 3.3:** Representação de conhecimento por quadros.

Fonte: [RABUSKE1995]

Uma idéia comum aos sistemas baseados em quadros é o raciocínio guiado por expectativas, o qual ao tentar instanciar um quadro para que este corresponda a uma situação desejada, deve preencher os valores dos atributos com as informações disponíveis na descrição da situação.

Exemplos: Quadros descrevendo um cômodo e uma sala são mostrados na Figura 3.3. Por esta descrição, pode-se concluir que uma sala é um tipo de cômodo, normalmente com quatro paredes e de formato retangular, com um mobiliário específico. As facetas dos atributos especificam os tipos de valores esperados e, se for o caso, procedimentos adequados para calcular o valor do atributo.

### Representação do conhecimento por sistemas híbridos

Sistemas híbridos para representação de conhecimento são aqueles que usam não apenas uma técnica de representação de conhecimento, mas sim uma mistura das técnicas vistas em seções anteriores, de forma intercalada, aproveitando as vantagens de cada uma delas.

### 3.4.3 A máquina de inferência

A máquina (ou motor) de inferência é que cuida da parte de tomada de decisão, analisando os dados da base de conhecimentos e da entrada do programa.

Os motores de inferência possuem várias características (modo de raciocínio, estratégia de busca, resolução de conflitos e representação de incerteza) que serão citadas em seqüência.

#### Modo de raciocínio

Para se tentar imitar o modo de pensar do ser humano quando este se depara com proposições, são usadas regras de produção. Regras de produção são pares de expressões consistindo em uma condição e uma ação ([BITTENCOURT2001], p. 252).

Por exemplo:

Se estiver chovendo, então abra o guarda-chuva.

Com esta regra de produção, tem-se que o início de uma chuva produzirá a abertura do guarda-chuva.

Segundo [BITTENCOURT2001], existem basicamente dois modos de raciocínio aplicáveis às regras de produção: encadeamento progressivo ou encadeamento para a frente ( *forward chaining*), e encadeamento regressivo ou encadeamento para trás ( *backward chaining*).

No encadeamento progressivo (também chamado de encadeamento dirigido por dados), a parte esquerda da regra é examinada e se for válida, a parte direita desta é executada. A Figura 3.4 mostra um exemplo de encadeamento progressivo.

No encadeamento regressivo (também chamado de encadeamento dirigido por objetivos), os atributos dados como entrada são comparados com os atributos do lado direito da regra e as regras que têm atributos iguais são selecionadas. A regra escolhida é a que possui o maior número de atributos iguais, sendo necessário algum tipo de inferência caso os atributos do lado direito da regra não forem todos iguais aos da entrada. A Figura 3.5 mostra um exemplo de encadeamento regressivo.

#### Estratégia de busca

Após escolhido um modo de raciocínio, é necessário escolher um método de busca, que irá escolher as regras a serem executadas entre as várias existentes na memória de trabalho do motor de inferência.

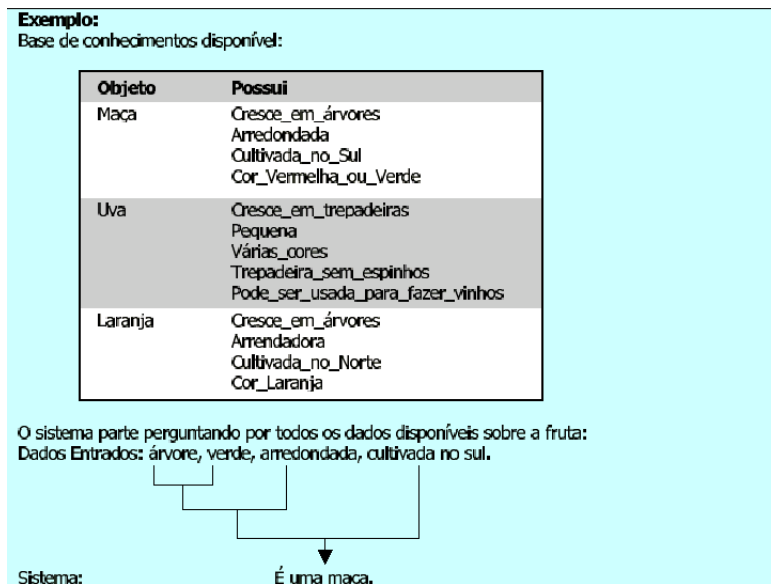
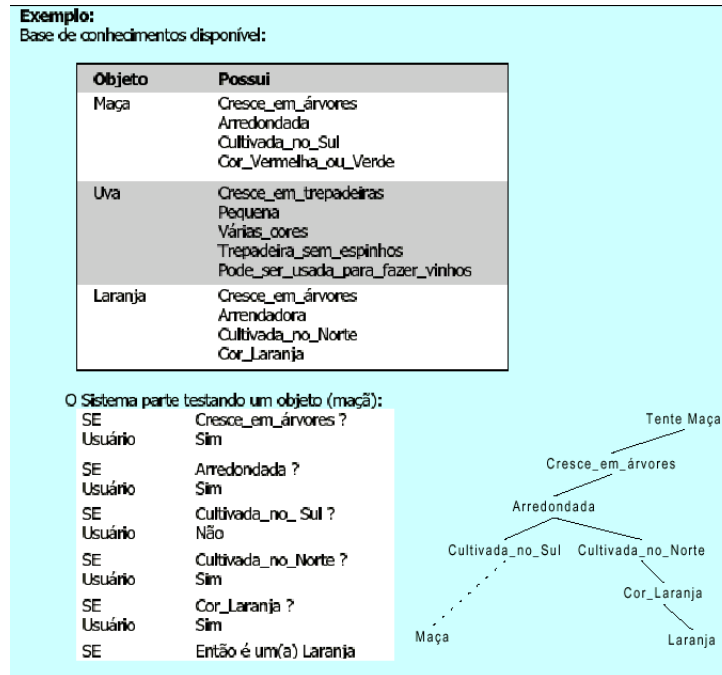


Figura 3.4: Encadeamento progressivo

Existem várias técnicas utilizadas, que podem ser divididas em busca cega (quando não se leva em conta informações específicas sobre o problema a ser resolvido) e busca heurística (quando informações específicas a respeito do problema que permitam um direcionamento aproximado da busca são inseridas). Dentre as técnicas cegas, pode-se citar a busca em largura e a busca em profundidade e dentre as heurísticas encontram-se a busca a\*, mini-max, alfa beta dentre outras. Para maiores detalhes, consulte [BITTENCOURT2001], [RUSSEL1995] e também [NILSSON1998].

### Resolução de conflitos

Ao terminar o processo de busca, o motor de inferência dispõe de um conjunto de regras que satisfazem à situação atual do problema, o chamado conjunto de conflito. Se este for vazio, a execução é terminada; caso contrário, é necessário escolher quais regras serão realmente executadas e em que ordem ([BITTENCOURT2001], p. 273).



**Figura 3.5:** Encadeamento regressivo

### Representação de incerteza

Os SE's se caracterizam por não serem modelados por nenhuma teoria geral, o que implica descrições incompletas, inexatas ou incertas.

Essa incerteza precisa ser tratada para que o resultado do processamento do SE seja o mais correto possível.

Diversos métodos foram propostos para o tratamento de incerteza, entre eles: método Bayesiano [RUSSEL1995], teoria de Dempster-Shafer [RUSSEL1995], teoria dos conjuntos aproximados [UCHOA1998], teoria dos conjuntos nebulosos [RUSSEL1995], entre outros.

### 3.4.4 O quadro negro

O quadro negro é a área de trabalho do sistema especialista. É nele que ficam armazenadas informações e fatos de suporte ao funcionamento do sistema, quando este efetua raciocínios.

### **3.4.5 Sistema de justificação**

O sistema de justificação á uma capacidade de questionamento fornecida aos usuá-rios, seja para repetir uma dedução efetuada, seja para responder a outras questões que o sistema especificamente permita. A justificação é um requerimento obri-gatório nos sistemas especialistas e geralmente tem a capacidade de responder às seguintes perguntas, segundo Rabuske ([RABUSKE1995], p. 76):

- Como chegou a esta conclusão?
- Por que chegou a esta conclusão?
- Por que não chegou a outra conclusão?

### **3.4.6 Mecanismo de aprendizagem**

O mecanismo de aprendizagem é a parte que cuida das alterações na base de conhe-cimento. As alterações podem ser simples como acréscimo de dados ou complexas como depuração da base, reordenação de prioridades, dentre outras.

### **3.4.7 O sistema de aquisição de conhecimento**

O sistema de aquisição de conhecimento é o responsável por dar conhecimento ao SE. A aquisição de conhecimento já foi detalhada na seção 3.4.1.

### **3.4.8 Sistema de consulta**

O sistema de consulta cuida da melhor interação entre o usuário e o programa. É esse módulo que permite ao usuário não ter conhecimento de como o sistema foi desenvolvido. Ele é um elo entre o programa e o usuário.

## **3.5 Fases do desenvolvimento de um SE**

Basicamentem para se desenvolver um SE devemos passar por sete etapas [RABUSKE1995]: identificação, conceituação, formalização, implementação, teste e avaliação e re-visão. Essas etapas serão mais detalhadas nas subseções seguintes.

### **3.5.1 Fase de identificação**

Na fase de identificação é tomado conhecimento de quem vai participar do desenvolvimento do SE, qual seu papel, com o que seu papel deve contribuir. Por exemplo, o especialista é o responsável por dar informações que modelarão a base de conhecimento. Não só o conhecimento das pessoas envolvidas no sistema deve ser tido, mas também o conhecimento de tudo aquilo o que fará parte do projeto, como equipamento, ferramentas de desenvolvimento e outros.

### **3.5.2 Identificação dos recursos**

Neste item, devemos identificar as fontes do conhecimento (especialista, livros, revistas etc.), montar um cronograma básico das atividades, identificar os recursos computacionais (máquinas, programas etc.) e identificar os recursos financeiros. Como citado por Rabuske ([RABUSKE1995]), Hayes-Roth considera os seguintes tópicos para identificar as características do problema:

- Que classes de problemas o sistema deverá resolver?
- Como podem ser caracterizados ou definidos estes problemas?
- Quais os principais subproblemas?
- Quais são os dados?
- Quais os termos importantes e suas interrelações?
- O que é uma solução?
- Que aspectos o perito humano acha importante na solução?
- Que situações costumam impedir a solução?
- Como estas situações afetarão um sistema especialista?

Com estes dados, já é possível formalizar o problema e identificar seu objetivo.

### **3.5.3 Fase de conceituação**

Esta fase consiste em definir a base conceitual do SE. Nela se decidirá quais são os recursos básicos necessários para se descrever o problema e será decidido também o grau de refinamento que será usado na representação do conhecimento ([RABUSKE1995], p. 80).

Como citado por Rabuske ([RABUSKE1995]), Hayes-Roth e outros formularam algumas perguntas que devem ser respondidas nesta fase:

- Que tipos de dados são disponíveis?
- O que é dado e o que é inferido?
- As subtarefas têm nome?
- Hipóteses parciais, comumente usadas, são identificáveis?
- Como se interrelacionam os objetos do domínio?
- Podem-se diagramar relações causais da hierarquia e rótulos, das partes em relação ao todo? Com o que isso parece?
- A solução do problema compreende quais processos?
- Quais são as restrições destes processos?
- Qual é o fluxo da informação?
- Consegue-se distinguir o conhecimento necessário para a solução do problema, do conhecimento para sua justificção?

### **3.5.4 Fase da formalização**

A fase de formalização envolve a expressão de conceitos e de relações-chaves, de uma maneira formal, identificando estruturas de suporte para sua representação e armazenamento. É preciso se preocupar agora com as características que acompanharão os conceitos, como as soluções serão geradas (modelos matemáticos ou empíricos) e com as definições de aspectos como tipos, precisão, consistência, volume e formas de aquisição.

### **3.5.5 Fase de implementação**

A fase de implementação se consuma com a edição do conhecimento e a feitura dos programas que o processam.

O objetivo central desta fase deve ser o teste da adequação da forma de representação escolhida e das estruturas de suporte adotadas ([RABUSKE1995], p. 81-82).

### 3.5.6 Fase do teste e avaliação

O sistema especialista deve ser testado e avaliado freqüentemente, desde a implementação do protótipo inicial ([RABUSKE1995], p. 82).

Existem princípios básicos que devem ser levados em consideração, segundo ([RABUSKE1995], p. 82):

- Processos complexos devem ser avaliados sob diversos prismas e não através de um único número.
- Para que algo possa ser medido, é preciso ter padrões de medida. Os padrões estabelecidos em testes formais freqüentemente não servem, e os próprios testes podem não passar de formidáveis perdas de tempo e desperdício de dinheiro.
- Um erro pode significar um passo maior que um acerto.

É preciso que os testes sejam feitos com freqüência e não sejam tidos como algo não importante, pois o perfeito funcionamento do programa depende desta fase.

#### 1. O que avaliar

É preciso avaliar a correção das respostas, a explicação, a interação homem-máquina, a aceitação do sistema especialista, o cronograma, a qualidade da interação com o usuário, a eficiência, a precisão e a credibilidade do programa ([RABUSKE1995], p. 82).

#### 2. Quando avaliar

Deve-se avaliar em todas as fases e estágios do desenvolvimento do SE, desde o projeto de alto nível até o marketing ([RABUSKE1995], p. 83).

#### 3. Como avaliar

Podemos avaliar o SE baseado em resultados obtidos por ele e resultados obtidos por um especialista humano, confrontando os dois.

Também podem ser usadas ferramentas prontas (desde que possuam fundamentos teóricos) para a avaliação.

Deixar pessoas que não tenham participado do desenvolvimento do sistema usá-lo também é uma boa forma de avaliar, pois elas farão ações que, na maioria das vezes, não foram testadas pelos desenvolvedores do sistema.

### **3.5.7 Fase de revisão**

A revisão deve ser feita, tendo em mente o escopo definido para o sistema. Se nesta fase houver mudanças significativas, possivelmente haverá necessidade uma reavaliação geral do sistema ([RABUSKE1995], p. 84).



## Capítulo 4

# Desenvolvimento do sistema Ceres<sub>SeFs</sub>

### 4.1 Tecnologia empregada

Nesta seção serão mostradas as ferramentas usadas para o desenvolvimento da aplicação, bem como o ambiente de desenvolvimento e na seção 4.2 serão mostrados os passos de desenvolvimento do sistema Ceres<sub>SeFs</sub>.

#### 4.1.1 Linguagem de programação

O sistema foi desenvolvido na linguagem de programação Java (Sun Microsystems) usando o pacote J2SDK 1.4.1 (Java 2 System Development Kit versão 1.4.1) da Sun Microsystems. O pacote é gratuito e está disponível em [JAVASUN].

A linguagem Java foi escolhida por apresentar várias qualidades dentre as quais destacam-se, para o sistema desenvolvido:

- portabilidade de seus fontes;
- portabilidade dos programas gerados;
- facilidade de desenvolvimento de aplicações para a Internet;
- capacidade de um mesmo programa poder ser executado como uma aplicação e um *applet*; <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Aplicação que roda nos navegadores da Internet que suportam Java, como Netscape, Mozilla, Galeon, Opera, Internet Explorer, entre outros

- suporte a *garbage collector*<sup>2</sup>, que encoraja o desenvolvimento de aplicações bastante robustas sem a preocupação do desenvolvedor com a gerência de memória;
- grande quantidade de classes utilitárias (vetor, listas, tabelas hash) intrínsecas à própria linguagem, o que a torna completa, sem a necessidade de utilizar classes e pacotes de terceiros;
- o pacote usado já vem com bibliotecas gráficas;
- facilidade de integração com os mais usados SGBS's<sup>3</sup> disponíveis no mercado.

Maiores detalhes em [DEITEL2001] e [JAVASUN].

#### 4.1.2 Sistema operacional

Por serem portáteis os programas feitos em Java, o sistema operacional não influenciou no projeto do sistema Ceres<sub>SeFs</sub>.

O sistema foi desenvolvido, em grande parte, no Departamento de Computação da Universidade Federal de Lavras (Ufla), numa distribuição Red Hat do sistema operacional GNU/Linux e também no sistema operacional Windows 2000 Professional (Microsoft).

A aplicação também foi testada em outras plataformas GNU/Linux (Conectiva) e Windows (Windows Me).

#### 4.1.3 Linguagem de modelagem

Foi utilizada para a modelagem do sistema Ceres<sub>SeFs</sub> a linguagem UML (Unified Modeling Language), que é uma linguagem gráfica para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de sistemas complexos de software. A UML possui vários diagramas que facilitam na manutenção do projeto além de deixá-lo bem documentado para que alterações futuras possam ser facilmente feitas [BOOCH2000].

Para maiores detalhes sobre UML, veja [UML] e [BOOCH2000].

---

<sup>2</sup>Coletor de lixo — sistema que gerencia a limpeza automática de memória, sem precisar que o programador libere manualmente as variáveis alocadas

<sup>3</sup>SGBD (Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados)

A modelagem foi feita usando o programa ArgoUML distribuído sobre a licença BSD ([LICENCABSD]) e pode ser encontrado em [ARGOUML].

Algumas características pelas quais foi escolhido esse programa:

- é gratuito;
- pode ser executado em qualquer plataforma, pois foi feito em Java;
- é capaz de exportar para vários formatos como "gif", "ps", "eps", "pgml" e "svg";
- suporta UML;
- suporta diagramas da UML, dentre os quais o diagrama de caso de uso e o diagrama de classes, que serão os utilizados na modelagem da aplicação.

A modelagem da base de dados foi feita usando o modelo entidade relacionamento (ER), que é um modelo conceitual para modelagem de bancos de dados que utiliza conceitos como entidades, relacionamentos e atributos para modelar os dados. Para maiores informações veja [DATE2000].

Para a modelagem, foi usada a ferramenta DBDesigner (que pode ser baixada de [FABFORCE]), por esta ser livre e fácil integração com o MySQL. Para maiores detalhes, consulte [FABFORCE].

#### **4.1.4 Sistema de gerenciamento de bancos de dados**

O SGBD utilizado foi o MySQL, disponível em [MYSQL], distribuído sob a licença GPL ([LICENCAGPL]).

Algumas características pelas quais foi escolhido esse SGBD:

- é gratuito;
- funciona em diversas plataformas;
- possui suporte a várias linguagens de programação, inclusive Java;
- suporte a SQL<sup>4</sup>;
- é muito rápido e leve.

---

<sup>4</sup>SQL (Structured Query Language – Linguagem Estruturada de Consulta) – linguagem usada para a comunicação (consultas) com o SGBD

## **4.2 Passos iniciais do desenvolvimento do sistema**

Tendo definido o problema a ser tratado (desenvolvimento de um sistema que fosse capaz de auxiliar no processo de cálculo da necessidade de calagem e recomendação de corretivo), o próximo passo foi estudar o tema e escolher os métodos para o cálculo da NC e da escolha do corretivo.

### **4.2.1 Escolha do método para calcular a necessidade de calagem**

A escolha do método foi baseada no nível de utilização, ou seja, os métodos mais usados no Brasil. Com base nesse critério, os métodos escolhidos foram: método da neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  e da elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  — método de Minas Gerais (veja a seção 2.8, item 1) — e o método baseado na elevação da saturação por bases — método de São Paulo (veja a seção 2.8, item 3).

### **4.2.2 Escolha do método para recomendação de corretivo**

O método para recomendar um corretivo baseia-se no preço por tonelada efetiva (veja a seção 2.12).

## **4.3 Processo de desenvolvimento**

### **4.3.1 Modelagem em UML — tentativa**

Escolhidos os métodos a serem usados, o próximo passo dado foi tentar fazer a modelagem em UML (diagrama de classe e de caso de uso) do sistema *Ceres<sub>Sefs</sub>*.

Pela falta de experiência em modelagem, foi encontrada uma grande dificuldade em abstrair o problema para os diagramas da UML. Como ainda não estava bem definida a estrutura do sistema foi preferido deixar a modelagem para o final, quando o sistema já estivesse pronto e deixar as classes serem criadas naturalmente, conforme precisão.

### **4.3.2 Modelagem dos dados**

#### **Modelagem dos resultados da análise química do solo**

Na análise do solo, os dados que são coletados dividem-se em dois tipos: dados que dizem respeito à propriedade e dados que dizem respeito à análise química do solo.

Dados que dizem respeito à propriedade:

- nome da propriedade;
- nome do proprietário;
- município da propriedade;
- CEP da propriedade;
- Estado da propriedade.

Dados que dizem respeito à análise do solo:

- teor de  $\text{Al}^{3+}$
- teor de H + Al
- teor de  $\text{Ca}^{2+}$
- teor de  $\text{Mg}^{2+}$
- teor de  $\text{K}^+$
- teor de  $\text{Na}^+$
- teor de argila
- teor de fósforo remanescente (P-rem).

### **Modelagem da cultura**

Para a cultura, os dados modelados foram:

- nome da cultura;
- máxima saturação por  $\text{Al}^{3+}$  tolerado pela cultura ( $M_t$ );
- disponibilidade de Ca e Mg de acordo com a exigência da cultura nesses nutrientes (x);
- valor da saturação por bases que se deseja atingir pela calagem ( $V_e$ );
- observação sobre a cultura.

### **Modelagem do corretivo**

Para o modelo de corretivo, foram usados os dados:

- nome do corretivo;
- marca do corretivo;
- se já possui PRNT;
- poder relativo de neutralização total do calcário (PRNT);
- poder de neutralização (PN);
- o preço por tonelada;
- o preço do frete;
- teor de MgO;
- teor de CaO;
- porcentagem das partículas que ficam retidas na peneira ABNT<sup>5</sup> n<sup>o</sup> 10<sup>6</sup>;
- porcentagem das partículas que passam na peneira ABNT n<sup>o</sup> 10 e ficam retidas na peneira ABNT 20;
- porcentagem das partículas que passam na peneira ABNT n<sup>o</sup> 20<sup>7</sup> e ficam retidas na peneira ABNT 50;
- porcentagem das partículas que passam na peneira ABNT n<sup>o</sup> 50<sup>8</sup>;
- grau de confiança, que indica o quanto o corretivo é confiável. Por exemplo, se o calcário já foi usado uma vez e obteve bons resultados, seu grau de confiança é alto.

#### **4.3.3 Modelagem do sistema especialista**

Para modelar o sistema especialista, foram seguidas as fases apresentadas na seção 3.5. Em seqüências, serão mostradas as etapas que foram seguidas para o desenvolvimento do sistema *Ceres<sub>Sefs</sub>*.

---

<sup>5</sup>Associação Brasileira de Normas Técnicas

<sup>6</sup>peneira de 2 mm

<sup>7</sup>peneira de 0,84 mm

<sup>8</sup>peneira de 0,30 mm

#### 4.3.4 Fase de identificação

Identificando os recursos, as pessoas envolvidas no projeto foram duas: prof. Dr. Carlos Alberto Silva (especialista na área agrária, de onde o conhecimento do SE será extraído) e Alexandre Henrique Vieira Soares (que conhece da área de informática, responsável por determinar as tecnologias e equipamentos usados).

O conhecimento do SE foi obtido de livros e, uma grande parte, do professor referido acima.

Identificando as características do problema, temos que os três componentes básicos serão a análise do solo, a cultura e o corretivo, pois estes são as bases para se realizarem todos os cálculos necessários. Temos também que as análises químicas podem ter unidades dos elementos diferentes (por exemplo o teor de argila ora pode se medido em porcentagem, ora em g/Kg).

O sistema precisará acessar um banco de dados para gravar as análises, corretivos e culturas e poderá ser acessado pela Internet.

#### 4.3.5 Fase de conceituação

Os dados disponíveis para tratamento do SE são os citados nos tópicos de modelagem da cultura, do corretivo e da análise do solo.

Os objetos do domínio relacionam-se da seguinte forma: para se realizar o cálculo da NC, é necessário que se tenham preenchidos os dados da cultura e da análise do solo. Em cima dos dados coletados são feitos cálculos e a NC é obtida. Para fazer uma recomendação de corretivo, é preciso preencher os dados do corretivo e ter calculado a NC. Feito esses passos, já é possível fazer uma recomendação de calcário. Para se calcular a quantidade de calcário (QC) é necessário ter antes calculado a NC e ter um corretivo. Para se calcular o custo da calagem é necessário ter um corretivo e ter calculado a QC.

A distinção do conhecimento necessário para a solução do problema, do conhecimento para sua justificação é possível e foi implementada.

#### 4.3.6 Fase de formalização

Os dados das culturas, análises e corretivos serão armazenados numa base de dados, que pode ser local (caso o  $Ceres_{SEfs}$  esteja sendo executado como aplicação) ou remota (caso o  $Ceres_{SEfs}$  esteja sendo executado como *applet*).

Para se realizarem os cálculos da NC e QC o SE apenas tem que pegar os dados necessários e substituí-los nas fórmulas referentes a cada cálculo.

Para o cálculo da NC foram usadas as equações 2.8 e 2.11.

Para o cálculo de Y foram usadas as equações 2.10 e 2.9.

Para se recomendar um calcário, o *Ceres<sub>SeFs</sub>* segue certos passos:

1. escolhe o corretivo que possui o menor preço por tonelada efetiva (PPTE);
2. se houver mais de um corretivo com o mesmo PPTE, escolhe-se o de maior PRNT;
3. se houver mais de um corretivo com o mesmo PRNT, escolhe-se o com maior grau de confiança.

Para se realizar o cálculo do custo da calagem, dado que um corretivo foi escolhido, o *Ceres<sub>SeFs</sub>* executa os seguintes passos:

1. realiza o cálculo da quantidade de calagem (equação 2.12);
2. calcula o custo efetivo do corretivo (equação 2.14);
3. aplica a fórmula:

$$\text{Custo da calagem} = \text{Preço por tonelada efetiva} \times \text{quantidade de calcário} \quad (4.1)$$

Baseado na arquitetura apresentada na seção 3.3, abaixo estão caracterizadas algumas partes do SE desenvolvido:

- base de conhecimentos: o conhecimento é representado usando-se a lógica clássica;
- máquina de inferência: o modo de raciocínio usado no *Ceres<sub>SeFs</sub>* foi o encadeamento progressivo usando busca em profundidade como estratégia de busca e para resolução de conflitos foi usado o grau de confiança no produto;
- quadro negro: o quadro negro será a base de dados;
- sistema de justificação: o sistema de justificação mostra como foram obtidos os cálculos realizados (desmembramento passo-a-passo das equações), recomendações (informações do tipo: “como foi obtido o valor *valor* para a necessidade de calagem, e . . . o calcário recomendado é o *nome\_do\_calcário* ) classificações (por exemplo, da argila, no mesmo estilo da explicação das recomendações);

- mecanismo de aprendizagem: não há mecanismo de aprendizagem;
- sistema de aquisição de conhecimento: a aquisição de conhecimento não é dinâmica no Ceres<sub>sefs</sub>, e sim estática. O conhecimento só pode ser inserido na hora da confecção do sistema (código fonte);
- sistema de consulta: o sistema de consulta é a interface gráfica do sistema.

#### 4.3.7 Fases de implementação, teste e avaliação

Primeiro foram implementadas as funções que realizam os cálculos, da NC e da QC, sem fazer a interface com o usuário.

Quando terminada a função para o cálculo da NC, testes foram feitos para ver se os valores achados coincidiam com os valores calculados “à mão”. Verificados os resultados, deu-se início a parte de desenvolvimento da função de cálculo da QC.

Do mesmo modo feito com o cálculo da NC, ao fim da implementação desta função, testes foram feitos para verificar sua correteude antes de ser iniciada a próxima fase.

Com as funções para calcular NC e QC prontas, deu-se início a fase de construção da interface gráfica com o usuário (interface sem refinamento, apenas um protótipo). Itens como posicionamento de botões, disposição de janelas, dentre outros detalhes, foram inspirados em outros programas de computador, não necessariamente relacionados com calagem.

Feita a interface gráfica básica, foram feitos testes para ver se os valores recebidos como entrada (dados necessários relativos à cultura, corretivo e análise do solo como nome da cultura, valor do teor de argila, nome da propriedade etc) estavam sendo armazenados corretamente.

Verificada a correteude dos dados coletados, deu-se início a etapa da recomendação do corretivo. Os passos mostrados na fase de formalização do SE foram implementados e foram feitos testes para verificar se o calcário recomendado era realmente o mais indicado (baseado no cálculos e na opinião do especialista).

Até então, os dados manipulados pelo Ceres<sub>sefs</sub> estão todos em memória RAM<sup>9</sup>. O próximo passo foi armazenar os dados coletados numa memória persistente. Isso foi feito armazenando os dados num banco de dados.

Com todas as etapas terminadas, foram feitos mais alguns testes que visavam verificar a correteude do sistema, agora como um todo.

<sup>9</sup>Random Access Memory — memória volátil de acesso aleatório.

### 4.3.8 Modelagem em UML

A modelagem simplificada em UML pode ser vista no Apêndice A.

## 4.4 Distribuição do Ceres<sub>Sefs</sub>

A fim de divulgar os resultados desse projeto, será mantida uma página na Internet, onde ficará a versão em *applet* do sistema bem como sua documentação e informações sobre o sistema e sobre fertilidade do solo.

Será disponibilizada uma versão que ficará sob a responsabilidade do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (Ufla), para que a universidade possa usufruir dos benefícios gerados pelo sistema e para que o desenvolvimento da aplicação possa ser expandido com o acréscimo de outras utilidades.

## 4.5 Sobre o trabalho desenvolvido

O desenvolvimento do Ceres<sub>Sefs</sub> foi um trabalho proposto pelo professor Carlos Alberto Silva, haja visto que ele estava sentindo falta de um programa que fizesse uma interpretação dos dados da análise do solo e fosse de propriedade da universidade, um produto acadêmico.

Com base nessa necessidade, o Ceres<sub>Sefs</sub> foi desenvolvido de forma a atender os requisitos propostos pelo professor e também com alguns itens não pedidos, mas que foram vistos poderem ser úteis em algum momento.

Dificuldades foram encontradas para modelar os dados da cultura, corretivo e análise do solo por não haver um padrão para se expressarem, classificarem tais itens. Por exemplo, os calcários hora vêm com o valor do PRNT, hora com os teores de CaO e MgO e a granulometria.

É bom salientar que o sistema ainda não está terminado sendo mais um protótipo, faltando melhorar alguns aspectos como interface com o usuário, módulo para Internet e geração de relatório.

## 4.6 O porquê do nome Ceres<sub>Sefs</sub>

Nome do sistema desenvolvido (Ceres<sub>Sefs</sub>) é composto por duas partes: *primeria* (Ceres) é uma homenagem à deusa romana Ceres, considerada a deusa da agricultura. A Figura A.1 mostra uma litografia da deusa romana.



**Figura 4.1:** Ceres, a deusa da agricultura.

Segue abaixo um breve comentário sobre a deusa Ceres, extraído de [NOMISMATIKE]:

“A deusa cultuada pelos romanos sob o nome de Ceres é a mesma Deméter dos gregos, divindade identificada com a agricultura e a fecundidade da Terra. Deusa do trigo, que dá o pão, e de todos os outros cereais, Ceres é também, por extensão, a deusa do casamento. Filha de Saturno (Cronos, para os gregos) e de Cibele (Vesta), irmã de Júpiter (Zeus) e mãe de Prosérpina (Perséfone), Ceres tem seu nome, de provável origem itálica, relacionado ao verbo creare ou, talvez, ao substantivo cereal, principal riqueza das regiões agrícolas na antiguidade. Nos

primeiros tempos da civilização romana, Ceres era cultuada juntamente com a deusa Gaia ou Gê (a Terra). Em janeiro, por ocasião da sementeira, era oferecido a ambas o sacrifício de uma porca, com a finalidade de expiar as transgressões e omissões cometidas quanto aos deveres piedosos em relação aos mortos. A figura e o culto de Ceres se revigoraram nos primeiros anos da república romana, quando houve uma grande carestia e os oráculos sugeriram aplacar a ira de três deuses gregos, entre os quais Deméter. Assim, a deusa grega se justapôs à romana Ceres. O culto de Ceres preservou as características gregas originais do culto a Deméter: eram gregas as sacerdotisas do templo e grega a língua usada nos rituais. As principais festas da deusa eram as Cereálias, com jogos celebrados primitivamente em ocasiões extraordinárias e depois, anualmente, de 12 a 19 de abril. Destinava-se a comemorar o retorno de Prosérpina, filha de Ceres, à Terra. As oferendas incluíam doces de mel, leite e o sacrifício de uma porca. No mês de agosto havia outra festa, da qual só participavam mulheres.”

A segunda parte (Sefs) é uma sigla para “**S**istema **E**specialista em **F**ertilidade de **S**olos”.

A Figura 4.2 mostra a tela principal do Ceres<sub>Sefs</sub>.



**Figura 4.2:** Tela principal do programa Ceres<sub>S<sub>e</sub>f<sub>s</sub></sub>.



## Capítulo 5

# Conclusões e trabalhos futuros

Com o trabalho realizado, pode-se concluir que a calagem é uma prática agrícola complexa em seus efeitos e que promove a diminuição da acidez dos solos, com insolubilização de elementos tóxicos.

Os vários cultivares possuem comportamentos diferentes frente à calagem porque as várias espécies vegetais existentes apresentam tolerância variada a acidez, o que não permite que sejam feitas generalizações fáceis, dificultando o estabelecimento de faixas de pH adequadas para as culturas.

Para corrigir a acidez do solo é necessário a escolha de um produto que tenha um conjunto de atributos que satisfaçam as necessidades do solo e das culturas em estudo.

Pôde-se perceber que o campo da recomendação de corretivos e fertilizantes ainda é uma área com carência de ferramentas para auxílio na recomendação do uso desses insumos.

Muitas foram as dificuldades encontradas no decorrer do desenvolvimento do sistema, dentre as quais, a principal foi a falta de um padrão para classificação de corretivos (quando pesquisado em cooperativas agrícolas, os vendedores não sabiam informar as características do corretivos e as embalagens nas quais os produtos estavam não continham essas informações tão importantes para a escolha de um calcário) e resultados de análises química (foi difícil achar um conjunto de atributos que caracterizassem bem a análise e que fossem o mínimos possíveis), o que dificultou a modelagem dos dados.

Outra dificuldade encontrada foi no uso da linguagem Java. Por ser acostumado a trabalhar com a linguagem Delphi (*object pascal*) houve uma certa dificuldade ao realizar ações simples nesta (como por exemplo limitar o número de casas

decimais e pegar apenas números decimais nos campos de preenchimento) que em Java necessitavam de manipulações mais complexas, como o uso de expressões regulares.

Com um sistema como o *Ceres<sub>SeFs</sub>* em pleno funcionamento, muitas pessoas poderão se beneficiar com seus recursos pois poderão acessá-lo de onde estiverem, através da Internet ou não.

Por ser um produto acadêmico, a cada incremento que for feito, mais tecnologia será inserida no programa tornando-o cada vez mais poderoso e eficaz para os fins que lhe foram atribuídos.

Para trabalhos futuros, pretende-se incrementar o *Ceres<sub>SeFs</sub>* para realizar cálculo da adubação e recomendação de fertilizantes, tornando-se um sistema mais completo e útil para os agrônomos. Também é proposto o desenvolvimento dele para ser possível seu acesso através de aparelhos móveis como celulares e computadores de bolso, visto que isso ampliará ainda mais o alcance dos benefícios do sistema.

# Referências Bibliográficas

- [ARGOuml] — Tigris.org. <http://argouml.tigris.org> . Visitada em 22/11/2003
- [BITTENCOURT2001] BITTENCOURT, G. — *Inteligência artificial — Ferramentas e teorias*. 2 ed., Florianópolis, UFSC, 2001.
- [BOOCH2000] BOOCH, G; RUMBAUGH J.; JACOBSON, I. — *UML — guia do usuário*. Rio de Janeiro, Campus, 2000.
- [CFSEMG1999] COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS — *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a aproximação*. Viçosa, Antônio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito G. Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., 1999.
- [DATE2000] DATE, C. J. — *Introdução a Sistemas de Bancos de Dados*. Rio de Janeiro, Campus, 2000.
- [DEITEL2001] DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. — *Java, como programar*. 3 ed., Porto Alegre, Bookman, 2001.
- [FABFORCE] — FabFORCE.net. <http://www.fabforce.net> . Visitada em 22/11/2003.
- [JAVASUN] — Sun Microsystems. <http://www.java.sun.com> . Visitada em 22/11/2003.
- [LICENCABSD] — Open Source. <http://opensource.org/licenses/bsd-license.html> . Visitada em 22/11/2003.
- [LICENCAGPL] — GNU Project. <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html> . Visitada em 22/11/2003.

- [MYSQL] — MySQL. <http://www.mysql.org> . Visitada em 22/11/2003.
- [NETO2001] NETO, A. E. F. “e outros” — *Fertilidade do solo*. Lavras, Ufla/Faepe, 2001.
- [NILSSON1998] NILSSON, N. J. — *Artificial Intelligence: a new syntesis*. San Fracisco, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1998.
- [NOMISMATIKE] — Nomismatike. <http://www.nomismatike.hpg.ig.com.br> . Visitada em 22/11/2003.
- [RABUSKE1995] RABUSKE, R. A. — *Inteligência artificial*. Florianópolis, UFSC, 1995.
- [RAIJ1991] RAIJ, B. van — *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo, Agronômica Ceres Ltda, 1991.
- [RUIZ1988] RUIZ, J. A. — *Metodologia Científica - Guia para eficiência nos estudos*. São Paulo, Atlas S. A., 1998.
- [RUSSEL1995] RUSSEL, S. J.; NORVING, P. — *Artificial intelligence — A modern approach*. New Jersey, Prentice Hall, 1995.
- [UCHOA1998] UCHÔA, J. Q. — *Representação e Indução de Conhecimento Usando Teoria de Conjuntos Aproximados*. São Carlos, EdUFSCAR, 1998. Dissertação de mestrado.
- [UML] — Object Managment Group. <http://www.uml.org> . Visitada em 22/11/2003.

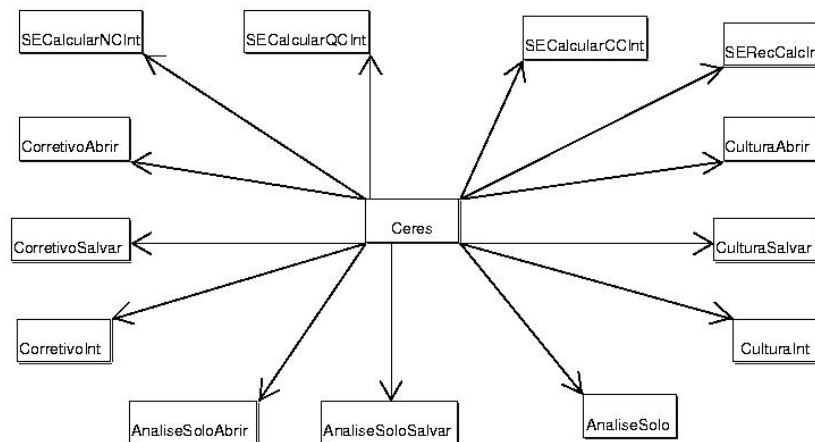
## Apêndice A

# Modelagem UML

Neste apêndice serão mostrados os diagramas de classe (sem os atributos e métodos das classes) e o de casos de uso do sistema *Ceres<sub>Sefs</sub>*.

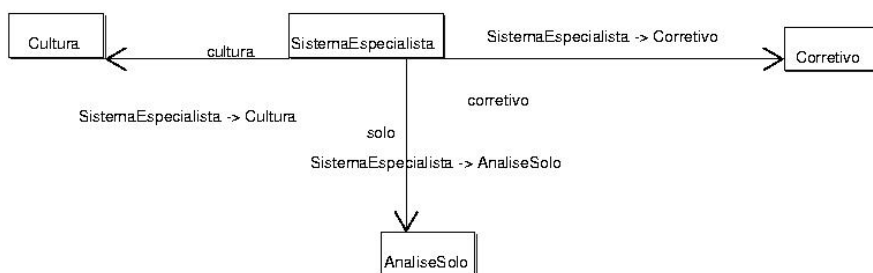
### A.1 Diagrama de classes

A Figura A.1 mostra o diagrama de classe do sistema *Ceres<sub>Sefs</sub>* da parte central do sistema, ou seja, das classes que se relacionam com a classe “Ceres.java”.



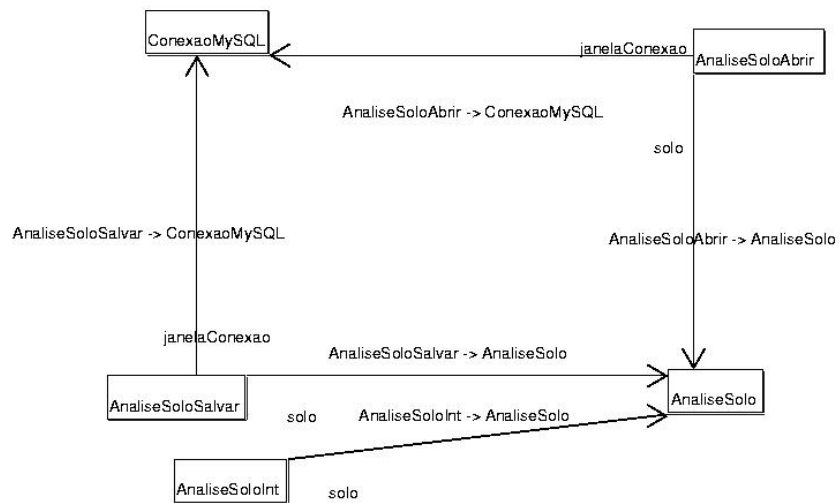
**Figura A.1:** Diagrama das classes usadas pela classe “Ceres.java”.

A Figura A.2 mostra o diagrama de classe do sistema Ceres<sub>SeFs</sub> da parte que se relaciona como sistema especialista, ou seja, com a classe “SistemaEspecialista.java”.



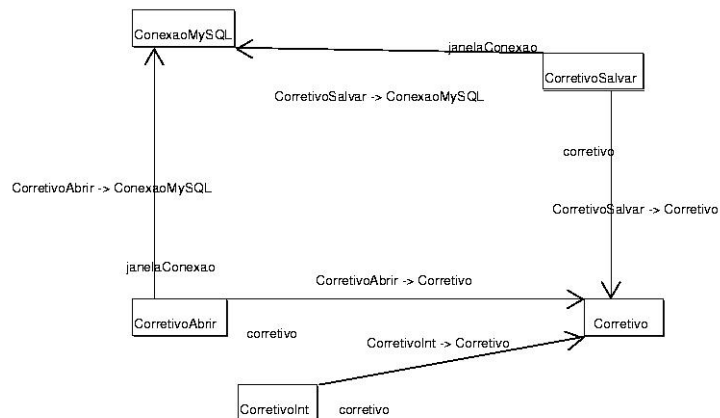
**Figura A.2:** Diagrama das classes relacionadas com os cálculos (classe “SistemaEspecialista.java”).

A Figura A.3 mostra o diagrama de classe do sistema Ceres<sub>SeFs</sub> da parte relacionada com a análise química do solo.



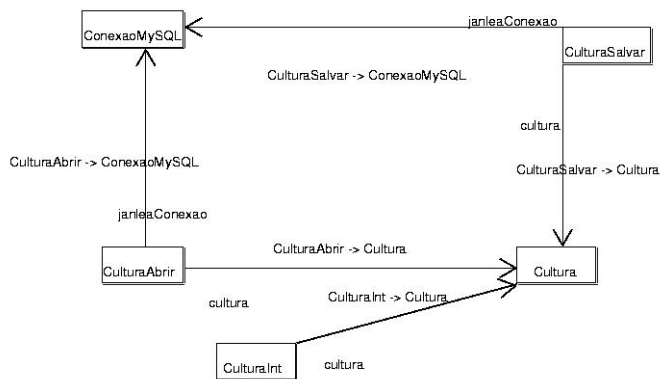
**Figura A.3:** Diagrama das classes relacionadas com a análise do solo.

A Figura A.4 mostra o diagrama de classe do sistema Ceres<sub>SeFs</sub> da parte relacionada com o corretivo.



**Figura A.4:** Diagrama das classes relacionadas com o corretivo.

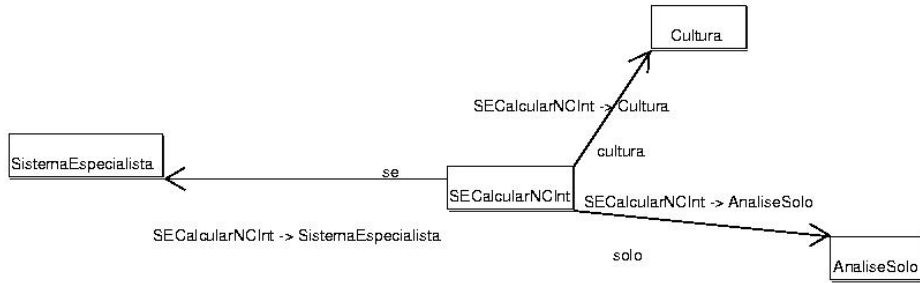
A Figura A.5 mostra o diagrama de classe do sistema Ceres<sub>SeFs</sub> da parte relacionada com a cultura.



**Figura A.5:** Diagrama das classes relacionadas com a cultura.

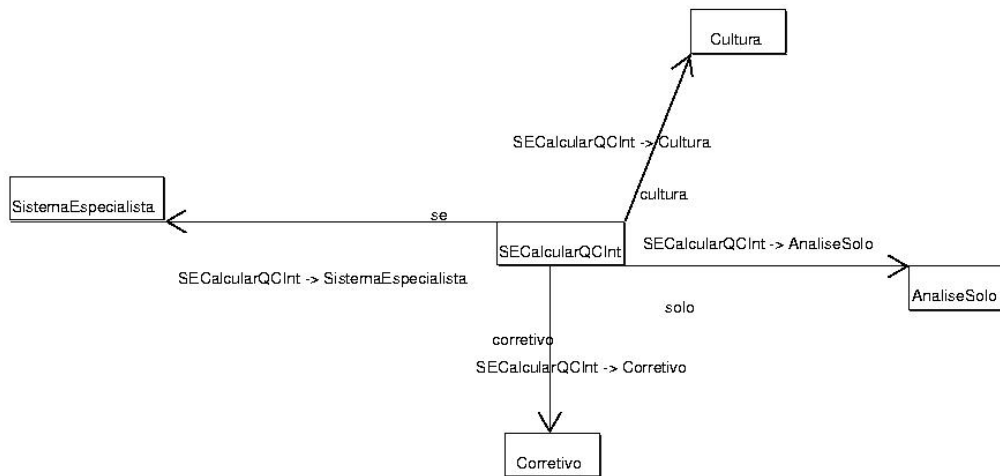
A Figura A.6 mostra o diagrama de classe do sistema Ceres<sub>SeFs</sub> da parte rela-

cionada com o cálculo da necessidade de calagem.



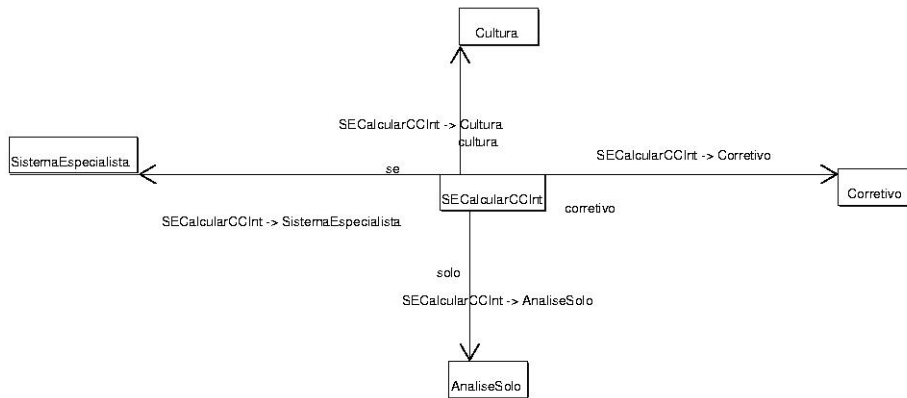
**Figura A.6:** Diagrama das classes relacionadas o cálculo da NC.

A Figura A.7 mostra o diagrama de classe do sistema Ceres<sub>SEfs</sub> da parte relacionada com o cálculo da quantidade de calcário.



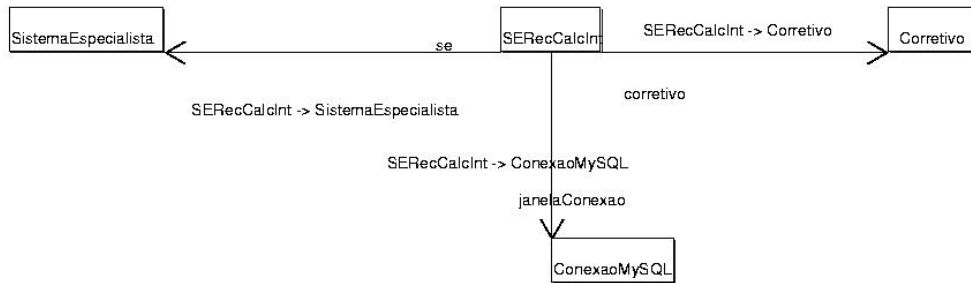
**Figura A.7:** Diagrama das classes relacionadas o cálculo da QC.

A Figura A.8 mostra o diagrama de classe do sistema Ceres<sub>SEfs</sub> da parte relacionada com o cálculo do custo da calagem.



**Figura A.8:** Diagrama das classes relacionadas o cálculo do custo da calagem.

A Figura A.9 mostra o diagrama de classe do sistema *Ceres<sub>SEfs</sub>* da parte relacionada com a recomendação de corretivo.

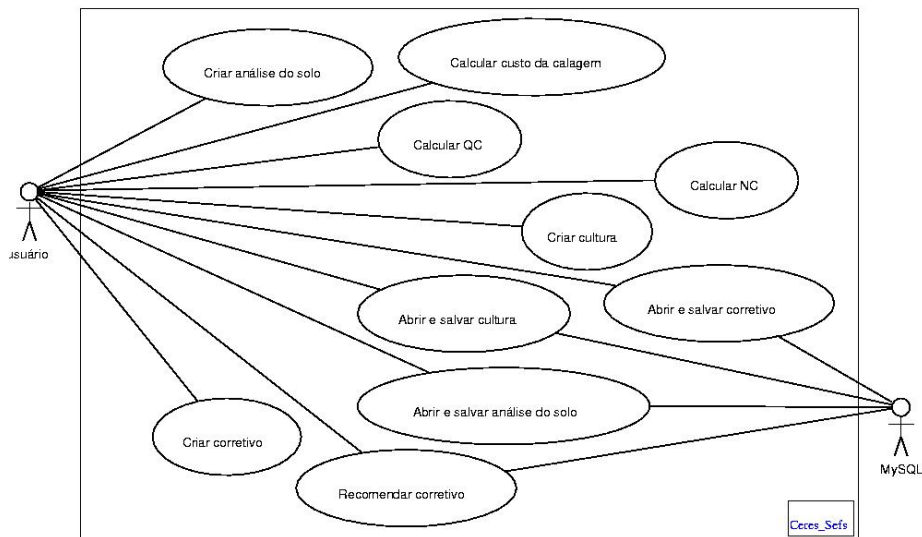


**Figura A.9:** Diagrama das classes relacionadas a recomendação de corretivo.

## A.2 Diagrama de casos de uso

Nesta seção será mostrado o diagrama de caso de usos do *Ceres<sub>SEfs</sub>*.

A Figura A.10 mostra o diagrama de casos de uso do *Ceres<sub>SEfs</sub>*.



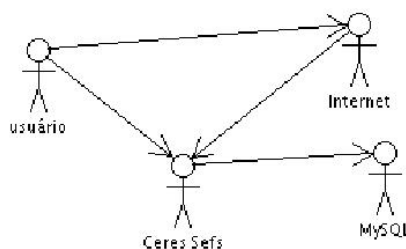
**Figura A.10:** Diagrama de casos de uso do Ceres<sub>Sefs</sub>.

Onde:

- Abrir e salvar análise química cuida da parte de recuperação e armazenamento ,respectivamente, de uma análise química. Ambas necessitam de uma conexão com SGBD MySQL.
- Criar análise química dá opção de preencher os dados de uma análise para poder usá-los para efetuarem cálculos.
- Abrir e salvar cultura cuida da parte de recuperação e armazenamento ,respectivamente, de uma cultura. Ambas necessitam de uma conexão com SGBD MySQL.
- Criar cultura dá opção de preencher os dados de uma cultura para poder usá-los para efetuarem cálculos.
- Abrir e salvar corretivo cuida da parte de recuperação e armazenamento ,respectivamente, de um corretivo. Ambas necessitam de uma conexão com SGBD MySQL.
- Criar corretivo dá opção de preencher os dados de um corretivo para poder usá-los para efetuarem cálculos.

- Calcular NC é para se calcular a NC para uma determinada análise química e cultura.
- Calcular QC é para se calcular a QC para uma determinada análise química, cultura e corretivo.
- Calcular custo da calagem é para se calcular o custo da calagem numa determinada propriedade para uma determinada cultura usando um determinado corretivo.
- Recomendar corretivo é para se recomendar um corretivo para ser usado na prática da calagem.

A Figura A.11 mostra o diagrama de caso de uso do Ceres<sub>SeFs</sub> com relação à integração deste com outros sistemas (usuário, Internet e SGBD).



**Figura A.11:** Diagrama de casos de uso com relação à integração do Ceres<sub>SeFs</sub> com outros sistemas.

Este diagrama (Figura A.11) mostra que o usuário pode utilizar o sistema sem o uso da Internet com a seguinte integração: usuário → Ceres<sub>SeFs</sub> → MySQL. E também com o uso da Internet com a seguinte integração: usuário → Internet → Ceres<sub>SeFs</sub> → MySQL.

# Índice Remissivo

- ácidos
  - o que são, 5
- é-parte
  - arco da rede semântica, 20
- é-um
  - arco da rede semântica, 20
- acidez ativa
  - o que é, 6
- acidez do solo
  - o que é, 5
- acidez potencial
  - o que é, 6
  - o que faz parte, 8
- acidez trocável, 12
  - o que é, 6
- acidificação do solo
  - o que é, 6
- ArgoUML, 33
- atributos, 22
- backward chaining
  - modo de raciocínio, 22
- base conceitual do SE, 26
- Base de conhecimento
  - como montar, 18
- bases
  - o que são, 5
- cálculo da NC, 5, 37
  - exemplo, 13
- Ca e Mg trocáveis, 12
- CaCO<sub>3</sub>
  - necessidade de, 7
- Caculo de Y pelo teor de argila
  - tabela, 11
- Caculo de Y pelo teor de P-rem
  - tabela, 11
- calagem
  - conclusão, 45
- Calcários
  - classificação, 15
    - Calcíticos, 15
    - Dolomíticos, 15
    - Grupo A, 15
    - Grupo B, 15
    - Grupo C, 15
    - Grupo D, 15
    - Magnesianos, 15
- capacidade de troca de cátions(CTC)
  - importância, 7
- capacidade de troca iônica
  - o que é, 6
- Ceres<sub>SeFs</sub>, 3, 17
  - base de conhecimentos, 38
  - distribuição, 40
  - máquina de inferência, 38
  - mecanismo de aprendizagem, 39
  - quadro negro, 38

sistema de aquisição de conhecimento, 39  
 sistema de consulta, 39  
 sistema de justificação, 38  
 sistema desenvolvido, 3  
 tecnologia usada, 31  
     linguagem de modelagem, 32  
     linguagem de programação, 31  
     sistema operacional, 32  
 conhecimento de um SE  
     de onde vem, 19  
 CTC, 7  
     como é expressa, 7  
     o que é, 7  
 CTC a pH sete, 13  
 CTC efetiva, 12  
     equação, 8  
 custo da calagem  
     passos dados pelo Ceres<sub>sefs</sub>, 38  
  
 DBDesigner, 33  
 determinação direta da CTC, 8  
 determinação indireta da CTC, 8  
 disponibilidade de Ca e Mg, 12  
  
 elevação da saturação por bases, 12  
 encadeamento progressivo  
     modo de raciocínio, 22  
 encadeamento dirigido por dados  
     modo de raciocínio, 22  
 encadeamento dirigido por objetivos  
     modo de raciocínio, 22  
 encadeamento para a frente  
     modo de raciocínio, 22  
 encadeamento para trás  
     modo de raciocínio, 22  
 encadeamento regressivo  
     modo de raciocínio, 22  
  
 Engenharia de *Software*, 3  
 ER  
     modelo, 33  
 escolha do corretivo, 15  
 especialista humano, 19  
  
 fósforo remanescente, 11  
 Fase de conceituação, 37  
 Fase de formalização, 37  
 forward chaining  
     modo de raciocínio, 22  
  
 GNU/Linux, 32  
 granulometria do corretivo, 7  
 grau de confiança, 38  
  
 Java  
     applet, 31  
     classes utilitárias, 32  
     garbage collector, 32  
     J2SDK, 31  
     Sun Microsystems, 31  
  
 licença BSD, 33  
 licença GPL, 33  
  
 $m_t$ , 12  
 máxima saturação por  $Al^{3+}$ , 12  
 Método de Minas Gerais, 34  
     cálculo da NC, 11  
     equação, 11  
 Método de São Paulo, 34  
     cálculo da NC, 12  
     equação, 12  
 Método IAC, 2  
 matéria orgânica  
     MO, 7  
 memória de trabalho, 22  
 Microsoft, 32

Modelagem da cultura, 35  
 Modelagem do corretivo, 36  
 Modelagem do sistema especialista,  
     36  
     fase de formalização, 37  
     fase de identificação, 37  
     fase de implementação, 39  
     Fase teste e avaliação, 39  
 Modelagem dos dados, 34  
     análise do solo, 34  
     corretivo, 36  
     cultura, 35  
 modelo entidade relacionamento, 33  
 MySQL, 33  
  
 NC, 37  
     cálculo  
         o que é, 10  
         métodos para a determinação, 11  
 Necessidade de calagem  
     cálculo  
         o que é, 10  
 neutralização da acidez dos solos  
     o que usado, 6  
 neutralização do solo  
     equação, 6  
  
 P-rem, 11, 12  
 peneira ABNT n<sup>o</sup> 10, 36  
 peneira ABNT n<sup>o</sup> 20, 36  
 peneira ABNT n<sup>o</sup> 50, 36  
 PF, 14  
 pH, 5  
     o que é, 5  
 pH em água, 9  
 PN, 15, 36  
 poder de neutralização, 36  
 poder relativo de neutralização total  
     cálculo da QC, 14  
 poder relativo de neutralização total  
     do calcário, 36  
 portabilidade, 31  
 preço por tonelada, 16  
 preço por tonelada efetiva, 16  
 preço por tonelada na propriedade, 16  
 predicado, 19  
 PRNT, 14, 36, 40  
     equação, 15  
     o que é, 15  
 profundidade  
     cálculo da QC, 14  
 Prolog, 19  
 proposições lógicas, 19  
  
 QC, 37  
     equação, 14  
 quantidade de calcário  
     como calcular, 14  
  
 reação do solo, 5  
 reatividade  
     escolha do corretivo, 15  
 recomendação de calcário  
     passos dados pelo Ceres<sub>SeFs</sub>, 38  
 Red Hat, 32  
 Rede semântica  
     arcos, 20  
     exemplo, 20  
     herança de propriedade, 20  
     herança de propriedades, 20  
     nós, 20  
     quadros  
         o que são, 20  
 Redes semânticas  
     raciocínio guiado por expectati-  
         vas, 21

Representação de incerteza, 24  
 representação do conhecimento, 26  
 representações lógicas, 19

Saturação por alumínio  
   equação, 10  
   o que é, 10

Saturação por bases  
   equação, 10  
   o que é, 10

SC, 14

SGBD, 33

Sistemas Especialistas  
   arquitetura, 18  
   definição, 17

Sistemas especialistas  
   aquisição de conhecimento, 25  
   aquisição do conhecimento, 19  
   base de conhecimento, 18  
   conjunto de conflito, 23  
   exemplos de, 17  
   fases de desenvolvimento  
     fase de formalização, 27  
     fase de identificação, 26  
     fase de implementação, 27  
     fase de revisão, 29  
     fase de teste e avaliação, 28  
     identificação dos recursos, 26  
   máquina de inferência, 22  
   métodos de busca, 22  
   mecanismo de aprendizagem, 25  
   motor de inferência, 22  
   quadro negro, 24  
   regras de produção, 22  
   Representação do conhecimento  
     por  
       lógica clássica, 19  
       quadros, 20  
       rede sermântica, 20  
       Sistemas híbridos, 21  
       sistema de aquisição de conhecimento, 25  
       sistema de consulta, 25  
       sistema de justificação, 25  
       tratamento de incerteza, 24  
       método Bayesiano, 24  
       teoria de Dempster-Shafer, 24  
       teoria dos conjuntos aproximados, 24  
       teoria dos conjuntos nebulosos, 24  
   sistemas especialistas, 3  
   solo  
     Arenoso, 11  
     Argiloso, 11  
     Muito argiloso, 11  
     Textura média, 11  
   Solo ácido  
     caracterização, 6  
   solução tampão SMP, 9  
     o que é, 10  
   SQL, 33  
   superfície do terreno a ser coberta  
     cálculo da QC, 14

T, 13  
 t, 12  
 teor de calcário  
   escolha do corretivo, 15

TFSA, 11

Titulação  
   o que é, 10

traços, 20

trocadores de íons  
   o que são, 7

UML  
    Unified Modeling Language, 32

Windows 2000 Professional, 32

X, 12

Y, 11